



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería Agrícola**

**Estudio de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer requerimientos hídricos con fines de riego del cantón Catamayo.**

Trabajo de Integración Curricular  
previo a la obtención del título de  
Ingeniera Agrícola

**AUTORA:**

Carmen Vanessa Castillo Jaramillo

**DIRECTOR:**

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo. Mg, Sc

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 24 de febrero de 2023

Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer requerimientos hídricos con fines de riego del Catón Catamayo**, previo a la obtención de título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Carmen Vanessa Castillo Jaramillo**, con cedula de identidad Nro. **1150311585**. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la universidad nacional de Loja, para el efecto, autorizo, la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**JORGE LUIS  
JARAMILLO CONDOLO**

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Carmen Vanessa Castillo Jaramillo**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital institucional - Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cedula de identidad:** 1150311585

**Fecha:** 03 de julio del 2024

**Correo electrónico:** carmen.v.castillo@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0986777420

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Carmen Vanessa Castillo Jaramillo** declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer requerimientos hídricos con fines de riego del cantón Catamayo**, provincia de Loja, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con Inés académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del presente Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a tres días del mes de julio del dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autor:** Carmen Vanessa Castillo Jaramillo

**Cedula:** 1150311585

**Dirección:** Gonzanamá, Loja, Ecuador

**Correo electrónico:** carmen.v.castillo@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0986777420

#### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg,  
Sc

## **Dedicatoria**

Dedico con todo mi corazón mi trabajo de investigación, de manera especial a mi madre Gloria Herlinda Jaramillo aunque no esté conmigo físicamente siempre recuerdo y tengo presente, quien con su esfuerzo supo sembrar en mí la humildad, responsabilidad y trabajo, con sus sabios consejos y mucho amor. A mis hermanos Francisco, José, Gabriela, Carlos y demás familiares por siempre estar presentes con su apoyo y buenos consejos, los mismos que me ayudaron a no decaer en mis estudios y cumplir mis sueños. A mis sobrinas queridas Sofía Y Lupita quienes ha sido mi pilar fundamental de motivación e inspiración, ya que sin ello no hubiese sido posible culminar este trabajo. A mis compañeros y amigos que de alguna forma estuvieron presentes brindándome una mano amiga y compartiendo conmigo alegrías y tristezas.

*Carmen Vanessa Castillo Jaramillo*

## **Agradecimiento**

Agradezco de manera especial a Dios por ser mi guía en el transcurso de mi vida y carrera profesional.

A mi amor eterno Gloria Jaramillo con todo mi amor y cariño que en paz descanse, por ser mi inspiración por su modelo de perseverancia, trabajo, humildad y triunfo en mi vida. A mis sobrinas, hermanos, familiares y a mi pareja por poner su confianza en mí y ser quienes siempre están para mí, apoyándome con sus palabras de aliento, cariño y compañía siendo mi fortaleza y motivación para culminar este importante logro en mi vida.

Al ingeniero Jorge Jaramillo Condolo, tutor del trabajo del Trabajo de Integración Curricular, muchas gracias por la paciencia, apoyo, confianza y sobre todo por sus consejos y orientación impartida que permitieron que se lleve a cabo este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a todos los docentes que impartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación, a la Universidad Nacional de Loja, en especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, por brindarme grandes conocimientos y valores que me sirvieron para desarrollarme profesionalmente.

*Carmen Vanessa Castillo Jaramillo*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas .....	x
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Anexos.....	xii
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. La agricultura, el clima y el riego. ....	6
4.1.1. La agricultura .....	6
4.1.2. El clima .....	6
4.1.3. Riego .....	7
4.2. Ciclo Hidrológico.....	7
4.3. Evapotranspiración .....	7
4.3.1. Evaporación .....	8
4.3.2. Transpiración .....	8
4.4. Tipos de evapotranspiración .....	8
4.4.1. Evapotranspiración real .....	8
4.4.2. Evapotranspiración potencial (ETo) .....	8
4.4.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia.....	9
4.5. Factores climáticos para la determinación de la ETo y Pe .....	9
4.5.1. Temperatura .....	9
4.5.2. Humedad relativa .....	10
4.5.3. Precipitación .....	10
- Precipitación efectiva.....	10
4.5.4. Radiación solar.....	10
4.5.5. Velocidad del viento .....	10
4.6. Métodos de cálculo de la Evapotranspiración potencial.....	11
4.6.1. Método de Penman Monteith.....	11
4.6.2. Método de Penman-Monteith modificado .....	12

4.6.3.	Método de Hargreaves .....	12
4.7.	Método para la estimación de Precipitación efectiva .....	13
4.7.1.	USDA (P/ET).....	14
4.8.	Datos faltantes.....	14
4.8.1.	Software QGIS.....	14
4.8.2.	Software R y RStudio .....	14
4.8.3.	Software Clinwat .....	15
4.8.4.	Software Cropwat .....	15
4.8.5.	Base de datos Chelsa Climate .....	15
4.8.6.	Software Saga Gis.....	15
4.8.7.	Análisis de doble masa.....	16
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>17</b>
5.1.	Localización del área de estudio .....	17
5.2.	Método de investigación .....	18
5.3.	Materiales y equipos .....	18
5.4.	Metodología para el primer objetivo.....	18
5.4.1.	Recopilación de información disponible .....	18
5.4.2.	Tabulación de datos climáticos del INAMHI .....	19
5.4.3.	Relleno de datos faltantes .....	19
5.4.3.1.	Media aritmética .....	20
5.4.3.2.	Método de Jansa Guardiola.....	20
5.4.3.3.	Método de la razon normal .....	20
5.4.4.	Validación de datos de las estaciones meteorológicas.....	21
5.5.	Metodología para el segundo objetivo .....	21
5.5.1.	Cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con datos del INAMHI.....	22
5.5.1.1.	Determinación de la Evapotranspiración potencial .....	22
5.5.1.2.	Determinación de la Precipitación efectiva (Pe).....	22
5.5.2.	Cálculo de Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con datos de Chelsa Climate .....	23
5.5.3.	Correlación entre información INAMHI Y CHELSEA .....	24
5.5.3.1.	Coefficiente de correlación de Pearson .....	24
5.5.4.	Elaboración de mapas de valores continuos .....	25
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>26</b>
6.1.	Resultados para el primer objetivo .....	26
6.1.1.	Recopilación y tabulación de información climática.....	26

6.1.2.	Validación de datos de las estaciones meteorológicas.....	26
6.1.2.1.	Precipitación .....	26
6.1.2.2.	Temperatura máxima .....	27
6.1.2.3.	Temperatura mínima.....	28
6.1.2.4.	Temperatura media .....	29
6.2.	Resultados para el segundo objetivo.....	30
6.2.1.	Determinación de la evapotranspiración potencial (ETo) .....	30
6.2.1.1.	Evapotranspiración potencial- INAMHI.....	30
6.2.1.2.	Evapotranspiración potencial- CHELSA CLIMATE .....	33
6.2.1.3.	Evapotranspiración potencial- Método de Penman Monteith..	36
6.2.1.4.	Comparación INAMHI y Chelsea Climate de datos de ETo ...	37
6.2.2.	Determinación de la Precipitación efectiva (Pe).....	38
6.2.2.1.	Precipitación efectiva- INAMHI.....	38
6.2.2.2.	Precipitación efectiva- CHELSA CLIMATE .....	41
6.2.3.	Coefficiente de correlación de Pearson o factor de corrección.	44
<b>7.</b>	<b>Discusiones.....</b>	<b>46</b>
7.1.	Discusiones para el primer objetivo.....	46
7.2.	Discusiones para el segundo objetivo.....	48
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>51</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>53</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>60</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>ETo promedio regiones agroclimáticas (mm día<sup>-1</sup>)</i> .....	9
<b>Tabla 2.</b> <i>Estaciones meteorológicas analizadas para el área de estudio</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> <i>Valores de coeficiente de correlación de Pearson</i> .....	24
<b>Tabla 4.</b> <i>Estaciones climáticas con influencia en el área de estudio</i> .....	26
<b>Tabla 5.</b> <i>Validación de datos- Precipitación</i> .....	27
<b>Tabla 6.</b> <i>Validación de datos climáticos- Temperatura máxima</i> .....	28
<b>Tabla 7.</b> <i>Validación de datos climáticos- Temperatura mínima</i> .....	29
<b>Tabla 8.</b> <i>Validación de datos climáticos- Temperatura media</i> .....	30
<b>Tabla 9.</b> <i>Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (INAMHI)</i> ...31	
<b>Tabla 10.</b> <i>Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (CHELSA)</i> 34	
<b>Tabla 11.</b> <i>Área que cubre la Pe del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (INAMHI)</i> ...39	
<b>Tabla 12.</b> <i>Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (CHELSA)</i> 42	
<b>Tabla 13.</b> <i>Correlación de Pearson- Evapotranspiración potencial</i> .....	45
<b>Tabla 14.</b> <i>Correlación de Pearson: Precipitación efectiva</i> .....	45

## Índice de Figuras

<i>Figura 1. Ubicación geográfica del cantón Catamayo</i> .....	17
<i>Figura 2. Análisis de la consistencia de datos- Precipitación</i> .....	27
<i>Figura 3. Análisis de consistencia de datos- Temperatura máxima</i> .....	28
<i>Figura 4. Análisis de consistencia- Temperatura mínima</i> .....	28
<i>Figura 5. Análisis de consistencia de datos- Temperatura media</i> .....	29
<i>Figura 6. Evapotranspiración potencial (mm)- INMAHI</i> .....	30
<i>Figura 7. Mapas de Evapotranspiración potencial del cantón Catamayo con datos del INAMHI</i> .....	32
<i>Figura 8. Evapotranspiración potencial (mm)- CHELSEA CLIMATE</i> .....	33
<i>Figura 9. Mapas de evapotranspiración potencial del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE</i> .....	35
<i>Figura 10. Mapas de evapotranspiración potencial- CHELSEA CLIMATE</i> .....	36
<i>Figura 11. Mapas de Evapotranspiración del cantón Catamayo</i> .....	36
<i>Figura 12. Comparación de datos de evapotranspiración potencial</i> .....	37
<i>Figura 13. Precipitación efectiva (mm), información climática- INAMHI</i> .....	38
<i>Figura 14. Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- INAMHI</i> .....	40
<i>Figura 15. Precipitación efectiva- INAMHI</i> .....	41
<i>Figura 16. Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE</i> ...	43
<i>Figura 17. Correlación de datos de precipitación efectiva</i> .....	44

## Índice de Anexos

<i>Anexo 1. Base de datos de Precipitación</i> .....	60
<i>Anexo 2. Base de datos de Temperatura máxima</i> .....	61
<i>Anexo 3. Base de datos de Temperatura mínima</i> .....	62
<i>Anexo 4. Base de datos de Temperatura media</i> .....	63
<i>Anexo 5. Análisis de consistencia de Precipitación, Tmax, min, media.</i> .....	63
<i>Anexo 6. Análisis de la curva de doble masa de Precipitación</i> .....	64
<i>Anexo 7. Análisis de la curva de doble masa de Temperatura máxima</i> .....	65
<i>Anexo 8. Análisis de consistencia de datos de Temperatura mínima</i> .....	65
<i>Anexo 9. Duración máxima diaria media de las horas de insolación N</i> .....	66
<i>Anexo 10. Factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la ETo</i> .....	66
<i>Anexo 11. Factor de ajuste c</i> .....	67
<i>Anexo 12. Presión de saturación del valor (ea) en mbar</i> .....	67
<i>Anexo 13. Efecto de temperatura f(T) sobre la radiación de onda larga (Rnl)</i> .....	67
<i>Anexo 14. Efecto entre el número real y el máximo de horas de insolación f(n/N)</i> .....	67
<i>Anexo 15. Efecto de la presión real del vapor de agua f(ed)</i> .....	67
<i>Anexo 16. Radiación extraterrestre R, en equivalente de evaporación de agua en mm/día.</i> .68	
<i>Anexo 17. Mapas de Evapotranspiración potencial de Catamayo con datos del INAMHI</i> ....	69
<i>Anexo 18. Mapas de evapotranspiración potencial del cantón Catamayo- CHELSEA</i> .....	70
<i>Anexo 19. Mapas de Evapotranspiración de Catamayo-Penman Monteith- CHELSA</i> .....	71
<i>Anexo 20. Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- INAMHI</i> .....	72
<i>Anexo 21. Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE</i> ....	73
<i>Anexo 22. Mapas de Temperatura máxima del cantón Catamayo</i> .....	74
<i>Anexo 23. Mapas de Temperatura mínima del catón Catamayo</i> .....	75
<i>Anexo 24. Mapas de Temperatura media del cantón Catamayo</i> .....	76
<i>Anexo 25. Mapas de Temperatura media del cantón Catamayo</i> .....	77

## **1. Título**

**Estudio de la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer requerimientos hídricos con fines de riego del cantón Catamayo.**

## 2. Resumen

Este estudio se enfoca en la determinación de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) y la precipitación efectiva (P<sub>e</sub>) para una gestión eficiente de los recursos hídricos en el cantón Catamayo. Se utilizaron dos bases de datos, información de los anuarios meteorológicos del INAMHI y las series espaciales de Chelsea Climate en un periodo de 24 años (1990-2013), para analizar las variables meteorológicas que influyen en la ET<sub>o</sub> y P<sub>e</sub>. Se aplicó métodos empíricos como Penman Monteith y Hargreaves simplificado, encontrando que el segundo se ajusta mejor a las condiciones climáticas del valle de Catamayo. Según datos del INAMHI, los valores de ET<sub>o</sub> oscilan entre 4,49 mm/día en junio y 5,52 mm/día en octubre.

Con respecto a CHELSEA, los valores oscilan entre 3,13 mm/día y 3,82 mm/día. En cuanto a la P<sub>e</sub>, los valores mínimos se dan en mayo (46,32 mm) y octubre (45,03 mm), y los máximos van desde noviembre (55,36 mm) hasta marzo (119,15 mm), según el INAMHI. Para CHELSEA, los meses de menor Precipitación efectiva son junio (61,03 mm) y agosto (25,11 mm), y los de mayor P<sub>e</sub> van desde septiembre (116,95 mm) hasta marzo (146,12 mm). Además, se estableció un factor de corrección de Pearson para las dos bases de datos con un  $R^2=0,54$  mediante Hargreaves y 0,55 Hargreaves- Penman, mostrando una gran homogeneidad en los meses de mayor y menor presencia de los dos componentes. Este estudio proporciona información para la planificación y sostenibilidad de los recursos hídricos en el cantón Catamayo.

**Palabras claves:** Evapotranspiración, precipitación efectiva, requerimientos hídricos, Chelsea, Hargreaves.

## **Abstract**

This study focuses on the determination of potential evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and effective precipitation (Pe) for efficient management of water resources in the Catamayo canton. Two databases, information from the INAMHI meteorological yearbooks and the Chelsea Climate spatial series, were used to analyze the climatic variables that influence ET<sub>o</sub> and Pe over a period of 23 years (1990-2013). Empirical methods such as Penman Monteith and simplified Hargreaves were applied, finding that the second best fits the climatic conditions of the Catamayo Valley. According to INAMHI, ET<sub>o</sub> values vary between a minimum of 4.49 mm/day in June and a maximum of 5.52 mm/day in October.

Regarding CHELSEA, the values range between a of 3.13 mm/day and a of 3.82 mm/day. Regarding Pe, the values occur in May (46.32 mm) and October (45.03 mm), and the values range from November (55.36 mm) to March (119.15 mm), according to the INAMHI. For CHELSA, the months with the lowest presence of Pe are June (61.03 mm) and August (25.11 mm), and those with the highest presence range from September (116.95 mm) to March (146.12 mm). Furthermore, a Pearson correction factor was established for the two databases with an R<sup>2</sup>=0.54 using Hargreaves and 0.55 Hargreaves-Penman, showing great homogeneity in the months with the highest and lowest presence of the two components. This study provides information for the planning and sustainability of water resources in the Catamayo canton.

**Keywords:** Evapotranspiration, effective precipitation, water requirements, Chelsea, Hargreaves.

### 3. Introducción

La evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) es una de las principales pérdidas de agua a la atmósfera en regiones áridas y semiáridas. La ET<sub>o</sub> y precipitación efectiva (Pe) son componentes relacionados con el clima, que forman parte del ciclo hidrológico, los cuales se centran en la cuantificación de los recursos hídricos para el balance del agua y energía en las plantas para su óptimo desarrollo (Muñoz, 2015). Su estimación es importante para el análisis del balance de los requerimientos hídricos de los cultivos, identificando la demanda de agua de acuerdo a las características propias y su interrelación con las variables climáticas y de los suelos en los que las especies se desarrolla (Rodríguez, 2017).

En la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, la ET<sub>o</sub> se expresa como la tasa de referencia la cual es aplicada para cada tipo de cultivo y según a las condiciones de las zonas (Veto. Cl, 2020). De esta manera, La ET<sub>o</sub> y Pe como referencia proveen de información para la aplicación de sistemas y métodos para un buen manejo del agua para riego de las zonas agrícolas (Vasquez, 2021).

En el Ecuador por la influencia de la cordillera de los Andes de acuerdo a la ubicación y altitud, tiene tres regiones claramente definidas, además de una accidentada topografía, creando microclimas de hermosos paisajes y diversidad de flora y fauna para cada región (Larco, 2015).

La provincia de Loja se caracteriza por un abrupto y caótico relieve al fenómeno de déficit hídrico, aproximadamente el 49% del territorio sufre de estrés hídrico, con mayor intensidad en los cantones Zapotillo, Macara, parte baja de Cécica, Pidal, Paltas y Catamayo (Vasquez, 2023). El déficit hídrico que ha ocurrido en Loja, se ha agudizado con el paso de los años, conforme transcurre el tiempo van disminuyendo el agua de las vertientes que son la principal fuente para abastecer de agua a sus cultivos, animales y para consumo de humano; lo que provoca una gran preocupación en los moradores de los cantones que tienen menor disponibilidad de este recurso (Arias, 2013).

Existen dos estaciones del año bien marcadas, siendo la de verano la temporada más cálida y seca y el invierno el más frío o húmedo, donde en ciertas zonas presenta abundantes recursos en algunos meses, en comparación a otras zonas que son escasos. Esto relacionado con la presencia o ausencia de las precipitaciones en la provincia de Loja y sus 16 cantones. En el cantón Catamayo se evidencia las dos estaciones, donde el verano empieza en los meses de mayo a agosto y el invierno de octubre a marzo; de esta manera se evidencia que en Catamayo presenta déficit hídrico en las parroquias de Guayquichuma, Zambí, San Pedro de

la Bendita, Catamayo y El Tambo las mismas que son netamente productivas, por su alta producción agrícola (GAD cantonal Catamayo, 2019).

El riego por lo general, se realiza sin los conocimientos técnicos o se usa métodos inadecuados, que permitan el óptimo aprovechamiento del agua provocando un riego ineficiente. Debido a la variabilidad climática que existe en el cantón Catamayo, nace la importancia de la cuantificación del agua para riego, ayudada de la estimación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para determinar la dosis adecuada para la aplicación, estableciendo los tiempos exactos para saber cuándo y cuánto regar cubriendo el déficit hídrico que existe en varios meses del año donde no hay presencia de lluvias. (GAD cantonal Catamayo, 2019).

De tal manera que, permita identificar los métodos que se pueden utilizar para conseguir un equilibrio entre la energía que se utiliza dentro de los procesos productivos (López, 2016), por lo que es necesario identificar el balance existente entre el suelo y agua, para establecer parámetros específicos en cuanto a la funcionalidad que existe entre las características del cultivo de acuerdo al terreno y al clima donde se desarrollan (Cenicaña, 2015).

Dentro de las consideraciones establecidas se pudo entrever que al ser la provincia de Loja en el transcurso de la historia ha sido afectada por las sequías, a causa de su ubicación; de tal manera que en la zona de estudio se debe buscar el acercamiento de manera muy precisa los valores de la evapotranspiración real  $E_{To}$  en los cultivos predominantes haciendo uso de datos provenientes tanto de imágenes satelitales como de datos de campo (Gao, 2014). Con estas consideraciones, se propuso estudiar la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer los requerimientos hídricos con fines de riego del cantón Catamayo; y para efectuar el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

Estimar la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Catamayo, para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos

### **Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con la información de los años disponibles.
- Estimar la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Catamayo, mediante diferentes métodos empíricos con datos observados y de reanálisis.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. La agricultura, el clima y el riego.**

#### **4.1.1. La agricultura**

La agricultura a nivel global es la actividad humana que más uso hace del agua en las labores productivas, con el 70% de consumo del total de los recursos hídricos (Garrido, 2021); La agricultura bajo sistema de riego constituye el 20% de la extensión de sembríos y tributa el 40% de la productividad total de los alimentos consumidos en el mundo (BANCOMUNDIAL, 2021). A nivel nacional, la provincia de Loja aporta con el 1,5% del total de la producción y economía del país. Donde, entre las principales acciones generadoras de recursos en la provincia de Loja, la agricultura se encuentra en el sexto lugar (Quezada, 2019).

De esta manera se contrasta la relevancia de la agricultura, la cual representa un mecanismo para incrementar la economía campesina; además, es “la explotación familiar campesina la que conforma la unidad primaria básica de la sociedad y la economía” Shanin, 1976 citado en (Martinez, 2013).

Dicho esto, en la agricultura de precisión la evapotranspiración y la precipitación efectiva son parámetros importantes los cuales permiten definir los periodos de déficit o exceso hídrico, permitiendo la cuantificación del agua del suelo y así, determinar la aplicación de tecnologías apropiadas para cada temporada y mejorar la producción de los cultivos (Choque, 2021).

En consecuencia, las políticas agrometeorológicas nacionales y regionales deben transformarse en un objetivo de los gobiernos, y analizar el impacto que la producción agropecuaria tiene no solo en la economía en términos de PBI, sino también en la alimentación de la población

#### **4.1.2. El clima**

La eficacia de la producción agrícola depende principalmente de cientos factores como la clase de semilla, la naturaleza del suelo, la actividad del hombre y el clima. Por tanto, el estudio del clima es una variable clave, por ende, se debe contribuir en la dotación de información para el mejor aprovechamiento de los recursos de la naturaleza (Cardoso, 2018).

La carencia de agua y los espacios de tiempo en que hay el recurso agua acortan cada vez más la productividad. El cambio climático requerirá una nueva visión en la gestión y uso de los recursos hídricos disponibles, con el objetivo de enfrentar los impactos del incremento

de las precipitaciones, o ausencia de las mismas en ciertos meses del año, lo que provocará tasas más elevadas de evapotranspiración en los ecosistemas (GreenFacts, 2020).

#### **4.1.3. Riego**

El déficit hídrico presente en la región sur del Ecuador, se debe a la desigual distribución territorial del recurso, donde el 80% de la lluvia está concentrada en unos pocos meses del año. Por ello es menester el establecimiento de estrategias que permitan un mejor control administrativo de los recursos hídricos (López, 2016).

Dentro de algunas estrategias resalta la innovación técnica de riego, la cual mediante la incorporación de técnicas y métodos cuantitativos permiten ejercer un mayor control en la ejecución de las labores agrícolas, por lo tanto, la programación del riego direcciona el cuanto, cuando y como regar los cultivos con mayor eficiencia y productividad del agua (Intagri, 2015).

#### **4.2. Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso) como en su forma (superficial, subsuperficial, subterránea, etc.). Es un proceso mediante el cual transporta el agua en movimiento recirculatorio o permanente, por varias etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y evaporación (Ordoñez, 2011).

#### **4.3. Evapotranspiración**

Según estudios la FAO (2006) manifiesta que se conoce como evapotranspiración (ET) a la composición de los dos métodos aislados por los que el agua se disipa a través del espacio superficial del suelo, estos procesos conocidos como evaporación y transpiración de la siembra (cultivos). En el primer estadio de los cultivos, el agua se desaprovecha primariamente por gasificación directa del suelo, pero con su progreso y posteriormente cuando este envuelve todo el suelo, la transpiración se cambia al proceso principal. La evapotranspiración se pronuncia regularmente en milímetros (mm) por unidad temporal, ejemplo, 1 mm día<sup>-1</sup> es equivalente a 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

#### **4.3.1. Evaporación**

Feader (2018), hace la consideración que la evaporación del agua es un proceso natural de orden físico, es así que al suceder este fenómeno físico el agua adopta otro estado y pasa de líquida a gaseosa (vapor de agua), este fenómeno aumenta debido a la radiación solar es decir cuando incrementa la temperatura por la exposición solar, alcanzado la superficie la que sufre un alza de temperatura ambiental, incide sobre la velocidad del viento, y en la superficie se percibe el vapor de agua, y de no darse este fenómeno, nos referiríamos al incremento de la humedad atmosférica.

Las medidas más utilizadas de vaporización del agua estarán, dadas en medidas de volumen tales como, litros por dispersos en metro cuadrado durante el día (milímetros por día), metros cúbicos utilizados en una hectárea y campaña, entre otros.

#### **4.3.2. Transpiración**

La transpiración se la puede definir como la pérdida de líquidos (agua) en las plantas por medio de vapor, Rodríguez y Ovalles (2019). Aunque la pérdida de cantidades reducidas del vapor de agua por medio de los poros vegetales denominadas lenticelas ubicados en la corteza del tallo y en las ramas jóvenes, el límite más alto conseguido llega a más del 90 %, que es donde se origina en las hojas como lo determina Sánchez y Aguirreola (2013); este proceso es conocido como un fenómeno que solo ocurre en la superficie, por lo que su valoración no corresponde a la capacidad evaporativa de la atmosfera, sino también del tipo de cultivo, el desarrollo vegetativo, vigor de la vegetación, manejo de los cultivos y los microclimas que se hayan creado dentro de la cubierta vegetal.

### **4.4. Tipos de evapotranspiración**

#### **4.4.1. Evapotranspiración real**

Es la cantidad de agua que realmente se evapora del suelo y transpira de las plantas, acorde al contenido de humedad del suelo y cobertura vegetal en condiciones reales de cada sector (Sánchez, 2008).

#### **4.4.2. Evapotranspiración potencial (ETo)**

La Evapotranspiración considerada como la medida de la pérdida de agua debido a la evaporación (agua evaporada de las superficies) y la transpiración (agua extraída del suelo y utilizada por las plantas para luego ser evaporada) en un área particular del suelo (Rodrigo,

2021). Donde la ETP sólo se ve afectada por parámetros climáticos y no tiene en cuenta las características del cultivo, tales como el índice foliar, altura de la vegetación, entre otros; ni por factores del suelo (Allen 2006, citado por Monterroso Rivas, 2021).

#### 4.4.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia

Los datos obtenidos de la evapotranspiración de un determinado cultivo de referencia se consiguen de los resultados meteorológicos obtenidos en la zona de estudio, y constituyen la evapotranspiración potencial en el lugar de cultivos que no posee carencia de agua. (Sánchez, 2008).

La ETo se aprecia a partir de múltiples variables atmosféricas para lo cual constan varios procedimientos. Este indicador expresa el poder evaporativo que ejerce la atmósfera en una determinada zona y estación del año, y sin tomar en consideración la tipología de los cultivos, ni la clase de suelos y su composición (Contreras, 2015).

La consideración del uso de esta metodología se centra en la aproximación de los resultados que arroja de la ETo de cualquier zona analizada, como se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**

*ETo promedio regiones agroclimáticas (mm día<sup>-1</sup>)*

Regiones	Temperatura promedio del día (°C)		
	Templada ~10°C	Moderada 20°C	Caliente >30°C
<b>Trópicos y subtrópicos</b>			
Húmedo y subhúmedo	2 - 3	3 - 5	5 - 7
Áridos y semiáridos	2 - 4	4 - 6	6 - 8
<b>Regiones templadas</b>			
Húmedo y subhúmedo	1 - 2	2 - 4	4 - 7
Áridos y semiáridos	1 - 3	4 - 7	6 - 9

Tomado de Allen et al., 2006.

#### 4.5. Factores climáticos para la determinación de la ETo y Pe

##### 4.5.1. Temperatura

La temperatura del aire es un factor importante, causante de las variaciones que experimentan el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos agrícolas. El valor que abarca el mayor porcentaje del cantón Catamayo con el 24,68%, el cual ocupa un área de 160,90 km<sup>2</sup> que oscila los 19- 20°C (PDOT-CATAMAYO, 2021).

#### **4.5.2. Humedad relativa**

La humedad relativa es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica del cuerpo vivo frente a cierto ambiente. En el cantón Catamayo los valores presentes dan incidencia mayormente en las parroquias noroccidentales en las que la presencia de precipitaciones es alta, donde los valores de humedad relativa oscilan entre 72-84% (PDOT-CATAMAYO, 2021).

#### **4.5.3. Precipitación**

Los periodos de lluvias son cortos y escasos presentes en los meses de marzo –abril, las precipitaciones son mínimas con alteración en los años donde existe la presencia del fenómeno del niño, en las zonas altas del cantón Catamayo, donde varían entre 1000 a 1500 mm/año. Las zonas de precipitación con el rango 600-70 mm se encuentra entre las parroquias San Pedro de la Bendita, Catamayo y el tambo (WEATHER, 2022).

##### **- Precipitación efectiva**

De acuerdo a Hershfield (1964) la precipitación efectiva la define como la parte de la precipitación total disponible para satisfacer las necesidades de agua durante la etapa de crecimiento del cultivo y de usos no consuntivos, como: encharcamiento y lixiviación de sales; mientras que el Servicio de Conservación de suelos del USDA (1967) no incluye los usos no consuntivos como la escorrentía superficial o perdidas por percolación profunda (Hershfield & SCS del USDA, 2019). La FAO (2021) estima que el total de agua que existe en el Ecuador es de 424,4 km<sup>3</sup> de recursos hídricos renovables.

#### **4.5.4. Radiación solar**

La radiación solar determina la demanda de vapor de agua de la atmosfera, y es por tanto un condicionante para las necesidades de agua y riego del cultivo; los valores de radiación solar presente en el cantón Catamayo fluctúan entre 11 h (Alvarez, et al, 2018).

#### **4.5.5. Velocidad del viento**

La velocidad y la dirección del viento sirven para monitorear y predecir los patrones meteorológicos y el clima de la zona. En el cantón Catamayo se presencia un viento catabatico (a partir de un nivel más elevado); estos vientos, cuando afectan a grandes regiones (vientos de otoño), sus valores oscilan entre más de 100 km/h (WINDFINDER, 2022).

## 4.6. Métodos de cálculo de la Evapotranspiración potencial

La metodología utilizada para la evapotranspiración potencial, están dados por la disponibilidad de información climática presente en un área determinada. Donde cada método nos permite identificar las variables climáticas útiles para los diferentes cálculos.

### 4.6.1. Método de Penman Monteith

El método de Penman Monteith es el más completo para estimar de la ETo, el cual únicamente puede utilizarse en sitios en donde existe suficiente información climatológica dado que en la ecuación hace uso de un gran número de variables, de tal manera que en varios casos es conveniente su uso y en otros no, su ecuación es la siguiente (Allen et al., 2006).

$$ET_o = c [W * R_n + (1 - W) * f(u) * (e_a - e_d)] \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Eto: evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en mm/día.

W: factor de ponderación, que depende de la temperatura y de la altitud (Tabla 1)

c: factor de ajuste que depende de valores de la humedad y del viento (Tabla 2)

e<sub>a</sub>: presión saturante del vapor de agua, expresada en milibares

e<sub>d</sub>: presión real del vapor de agua, expresada en milibares

$$f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{u}{100}\right) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

u: velocidad del viento expresada en km/día, a 2 m de altura.

$$R_n = 0,75R_s - R_{nl} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

R<sub>n</sub> = Radiación neta total, expresada en equivalente de evaporación en mm/día

$$R_s = \left(0,25 + 0,5 \frac{n}{N}\right) R_a \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

R<sub>s</sub>: radiación solar que llega a la superficie de la tierra

N: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes

n/N: relación entre las horas reales o heliofanía (n) y las horas máximas posibles (N) de insolación fuerte (Tabla 3)

R<sub>a</sub>: radiación extraterrestre que se recibe antes de llegar a la atmósfera.

$$R_{nl} = f(T) * f(e_d) * f\left(\frac{n}{N}\right) \text{ Tablas (4,56) (Ecuación 5)}$$

Donde:

T: Temperatura media mensual en (°C)

ed: presión real del vapor de agua, expresada en milibares

n/N: relación entre las horas reales o heliofanía (n) y las horas máximas posibles (N) de insolación fuerte.

#### 4.6.2. Método de Penman-Monteith modificado

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado con la definición del cultivo de referencia. Se trabaja con datos de radiación solar diaria, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima y velocidad de viento, para estimar la evapotranspiración de referencia, se utilizó la ecuación (Allen et al., 2006).

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u^2 * (ea-ed)}{\Delta + \gamma(1+0,34u^2)} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

$\Delta$ : pendiente de la curva de saturación de vapor/temperatura, expresada en kPa/°C;

$\gamma$ : constante psicrométrica, expresada en kPa/°C

Rn: radiación neta, expresada en mm/día;

G: flujo de calor del suelo, expresada en mm/día.

T: temperatura media diaria

u = velocidad del viento expresada en km/día

ea: presión saturante del vapor de agua, expresada en milibares

ed: presión real del vapor de agua, expresada en milibares

#### 4.6.3. Método de Hargreaves

Este método representa una ecuación de balance de energía para estimar ET potencial (ETP), la cual permite calcular el uso consuntivo mensual, en función de datos de temperatura (media, máxima y mínima), la humedad relativa media y duración del día dependiendo de la latitud (Toro, et al, 2015).

Cuando no hay disponibilidad de datos meteorológicos de radiación solar, humedad relativa o velocidad del viento, se puede calcular la ETo con la siguiente ecuación:

$$ETo = 0,0135 (tmed + 17,78)Rs \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

ETo= Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmed= Temperatura media, °C

Rs= Radiación solar incidente en mm/día

#### 4.6.3.1. Radiación Solar Incidente

Según Samani (2000), propone la siguiente expresión:

$$Rs = Ro * KT * (tmax - tmin)^{0.50} \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

Rs: Radiación solar incidente

Tmin: Temperatura Mínima diaria, °C

Tmax: Temperatura máxima diaria, en °C

Ro: Radiación solar extraterrestre, mm/d

KT: Coeficiente (para regiones de la sierra: 0,162)

#### 4.6.3.2. Método Hargreaves Simplificado

En la sustitución del valor de Rs de (ecuación 5) en la expresión inicial (ecuación 4), y tomado para el coeficiente KT el valor medio de 0,162 para regiones de la sierra, resulta la expresión de la ecuación:

$$ETo = 0,0023(Tmedia + 17,78) Ro (tmax - tmin)^{0.50} \text{ (Ecuación 9)}$$

**Donde:**

ETo= Evapotranspiración potencial mensual

Ro= Radiación solar extraterrestre, mm/d

T= media, máxima y mínima

#### 4.7. Método para la estimación de Precipitación efectiva

En el cálculo de la precipitación efectiva se lo realiza mediante la ayuda de métodos y formulas empíricas.

#### 4.7.1. USDA (P/ET)

Esta variable se define como la fracción de la precipitación total para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos; las mismas que no consideran la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo. El método USDA Soil Conservation Service, desarrollado a partir de balances hídricos, relacionados a los ingresos de agua por precipitación con las salidas por escurrimiento superficial y percolación, así como el agua retenida en la zona radicular de los cultivos, el cual, se usa para cuantificar los recursos hídricos (Villazón, 2021).

En el cálculo de la precipitación efectiva se lo realizó mediante ecuaciones empíricas, tales como:

$$Pe = Pt \left( 125 - 0,2 \frac{Pt}{125} \right) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$Pe = 125 + 0,1Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva

Pt: Precipitación total mensual

#### 4.8. Datos faltantes

En los anuarios de las estaciones meteorológicas es común encontrar datos incompletos en las series estadísticas, debido a fallas de los dispositivos de registro, lo que impide la correcta realización de estudios climáticos e hidrológicos, por ello se realiza el relleno de datos, con ayuda de diversos métodos, como la media aritmética, Jansa Guardiola y el de la razón normal o regresión lineal Softwares para el procesamiento de información climática (Juárez, 2020).

##### 4.8.1. Software QGIS

Es un software abierto que se utiliza para construir un sistema de información geográfico SIG de código abierto. El cual está constituido por un gran conjunto de aplicaciones con funciones básicas, de tal manera que permite crear datos, mapas, modelos, aplicaciones y sirve para visualizar imágenes satelitales (Rodríguez, 2021)

##### 4.8.2. Software R y RStudio

Es un software de código abierto, diseñado para hacer análisis estadísticos y graficas. Este programa es muy usado por que la curva de aprendizaje es muy sencilla, en comparación

con otros softwares, es fácil de compartir el código lo que es muy importante para realizar investigaciones a nivel mundial (Gonzalez R. , 2019).

#### **4.8.3. *Software Clinwat***

Es una base de datos agroclimáticos que trabaja en conjunto con cropwat, posee información de 5 mil estaciones, que permite calcular los requerimientos hídricos en base a información medio mensual provista por clinwat de las principales variables climáticas como: temperatura, precipitación, evapotranspiración, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar (FAO, 2021) .

#### **4.8.4. *Software Cropwat***

Cropwat es un programa de uso libre creado por la FAO, está compuesto por cinco modelos para el ingreso de la información, tiene como finalidad determinar las necesidades hídricas de los cultivos y usa el método de Penman- Monteith, para determinar la evapotranspiración de referencia (Rodriguez, 2021).

#### **4.8.5. *Base de datos Chelsa Climate***

La base de datos Chelsa Climate proporciona información de manera global que usando imágenes satelitales para proveer información de regiones con accidentada topografía, para zonas donde no existe gran variedad de información climatológica, con promedios diarios, mensuales y anuales de las variables climáticas de temperatura, precipitación, entre las principales, la resolución es alrededor de 1 km<sup>2</sup> por pixel, estas resoluciones son conseguidas mediante imágenes satelitales; creado con la finalidad de proporcionar acceso a los datos climáticos de forma gratuita, donde incluyen capas climáticas para diversos periodos de tiempo, con el fin de contribuir a investigaciones con datos actualizados constantemente (Colmenero & Manzaneda, 2019).

#### **4.8.6. *Software Saga Gis***

SAGA son las siglas del sistema de análisis geo-científicos automatizados, es un sistema de información geográfica de uso libre, con el transcurso del tiempo se ha convertido en un paquete solido de análisis geoespacial con códigos abiertos que permite analizar y editar datos científicos, además que se actualiza periódicamente, lo que ayuda a que se busquen y se corrijan los errores con rapidez (Fisher et al., 2017)

#### ***4.8.7. Análisis de doble masa***

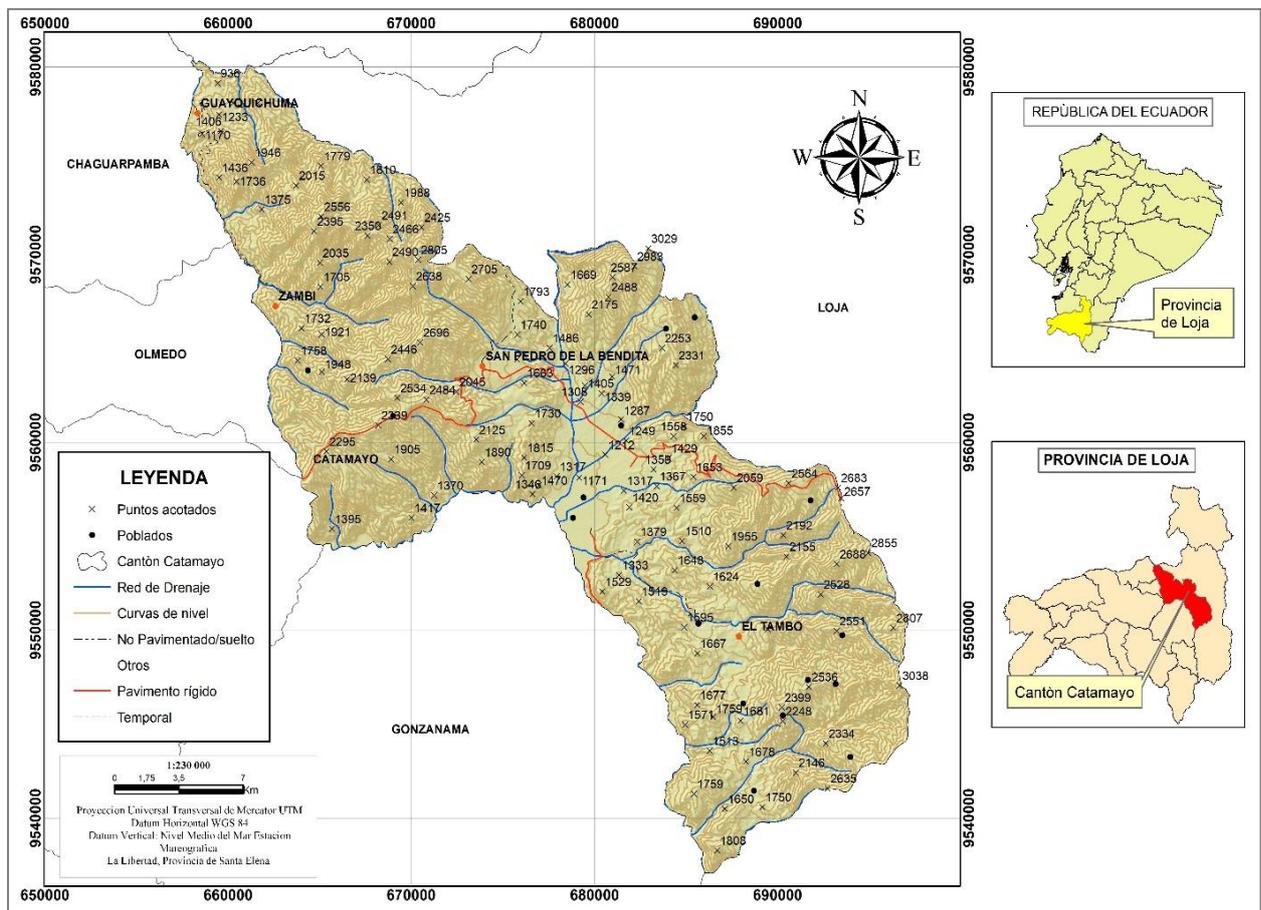
Es un método gráfico de curva de doble masa el cual permite conocer el comportamiento a lo largo del tiempo de datos estadísticos, en este caso de las variables climáticas analizadas, permitiendo comprobar la fiabilidad de la información de las estaciones en estudio, para poder realizarlo se utiliza una estación de base o de referencia, para contrastar con otras estaciones que tengan vacíos en la información climática, donde  $R^2$  será mayor a 0,7 para ser información fiable con un ajuste lineal moderado, siendo que 1 es el máximo valor aceptado, y así represente homogeneidad con los datos comparados (Fernández, 2019)

## 5. Metodología

### 5.1. Localización del área de estudio

La investigación se desarrolló en el cantón Catamayo, Provincia de Loja; el mismo se encuentra ubicado en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S: 9557710 - 9576090 y Norte: 666530 - 694330; con una altitud promedio de 1238 m.s.n.m. Tiene una superficie de 651,89 km<sup>2</sup>, la precipitación promedio es de 676 mm, una temperatura promedio de 22°C, se encuentra en un piso climático montano bajo. Limita al norte con el cantón Loja y El Oro, al sur con Gonzanamá y Loja, al este con Loja y al oeste con Chaguarpamba, Paltas y Olmedo, tal como se observa en la Figura 2.

**Figura 1. Ubicación geográfica del cantón Catamayo**



Fuente: Cartografía Instituto geográfico Militar (IGM) descargados 2022

Elaboración: Autora

Para la obtención de los resultados se usó varios métodos y se realizó distintos análisis que se detallan en este capítulo, así como los materiales que se utilizó para cumplir los objetivos

## **5.2. Método de investigación**

El presente trabajo está enmarcado en la investigación cuantitativa, la cual, tiene como objetivo el adquirir los conocimientos fundamentales y optar por el modelo más adecuado a las condiciones presentes en el área de estudio, lo que permita percibir la realidad de manera imparcial, esto a través de la recolección y análisis de datos obtenidos de distintas fuentes, con el uso de herramientas estadísticas, informáticas y matemáticas para la obtención de resultados, usando como medio los conceptos y variables medibles.

## **5.3. Materiales y equipos**

En el proceso investigativo se utilizó materiales:

- Los anuarios meteorológicos del INAMHI de las estaciones Catamayo (M245), Nambacola (M1214), El Tambo (M759), El Cisne (M542), Chaguarpamba (M143), Cariamanga (M146), Malacatos (M143), Gonzanamá (M134) y Catacocha (M515) que influyen en el área de estudio.
- Materiales de oficina
- Software Clinwat y Cropwat
- Software: QGIS, R y RStudio
- Servidor climático: Chelsea Climate

## **5.4. Metodología para el primer objetivo**

*“Evaluar la dinámica de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con la información de los años disponibles”*

### **5.4.1. Recopilación de información disponible**

Para dar cumplimiento al primer objetivo planteado, se analizó las estaciones meteorológicas que tienen influencia en el área de estudio; utilizando la información climática disponible de las variables de temperatura máxima, mínima y media, así mismo, de la precipitación de los anuarios meteorológicos publicados por el Instituto Geográfico de Hidrología y Meteorología (INAMHI) de las siguientes estaciones meteorológicas (Tabla 2):

**Tabla 2.**

*Estaciones meteorológicas analizadas para el área de estudio*

CÓDIGO	ESTACIÓN	ALTITUD	COORDENADAS	COORDENADAS	PERIODO DE INFORMACION
		(m.s.n.m)	N (m)	E (m)	
M065	Catamayo	1238	9516395	617744,8	1990-2013
M148	Nambacola	1820	9546646	616120,9	2004-2013
M759	El Tambo	1580	9557710	666530	1990-2013
M151	El Cisne	2340	9515422	584421,5	1990-2013
M149	Chaguarpamba	1950	9557760	638770	1976-2001
M146	Cariamanga	1950	9520900	638710	1990-2013
M143	Malacatos	1470	693067	9533871	1990-2013
M134	Gonzanamá	1870	9520850	666460	1990-2013
M515	Catacocha	1808	9552000	650824,1	1965-2013

Fuente: INAMHI 2023

Elaboración: Autora

#### **5.4.2. Tabulación de datos climáticos del INAMHI**

Se descargó y digitalizo la información climática disponible de los anuarios meteorológicos del INMAHI de cada uno de las estaciones analizadas influyentes a la zona de estudio, posterior, se realizó la tabulación de los datos de las variables necesarias para el cálculo de la ETo y Pe, finalmente se llevó a cabo el relleno de datos de los casos que fue necesario (Vincenti et al, 2012).

#### **5.4.3. Relleno de datos faltantes**

En las publicaciones de las instituciones meteorológicas existen falencias o irregularidades en la información climática, es por eso, que al encontrarse con datos faltantes de un periodo afecta en la fiabilidad de los datos, de tal manera que para obtener una homogeneidad en los mismos se realiza interpolaciones o rellenos de vacíos en la base de datos de las estaciones analizadas. En este caso, se evidencio datos faltantes, de tal manera que se realizó la evaluación con el método que mejor se adaptó a la tendencia de la información observada. Según Juárez (2020) manifiesta que los métodos utilizados para el relleno de datos son los siguientes:

#### 5.4.3.1. Media aritmética

Este método se aplicó en los datos estadísticos de las variables climáticas de Precipitación, Temperatura máxima, mínima y media, dado que en la base de datos difiere en menos del 10%, por lo que se representa en la siguiente ecuación obteniendo siguiente el dato faltante. Este método se usó en la información climática de las estaciones meteorológicas de Catamayo, Malacatos, El tambo, Gonzanamá, Cariamanga, Nambacola y Chaguarpamba.

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{n} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

n= tamaño de la muestra (estaciones analizadas)

Xn= número de estaciones estudiadas

X1= Valor de cada estación

#### 5.4.3.2. Método de Jansa Guardiola

Se dio uso de este método en la investigación al encontrarse ciertos casos en que en la base de datos falta un término; donde se debe encontrar un valor probable que lo sustituya, para lo cual, se realizó la interpolación de dos datos anteriores y posteriores al dato faltante, y de esa manera obtener el dato requerido, este método es aplicable cuando la estadística difiere en menos del 8%. Aplicado para las variables de Precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de Gonzanamá, Cariamanga, Nambacola, Chaguarpamba y Catacocha.

$$Df = c \left( \frac{a}{a+b} \right) + \text{menor valor} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

D(f): Dato faltante

a: diferencia de dos datos anteriores al dato faltante

b: diferencia de dos datos posteriores al dato faltante

c: diferencia de valores que lo limitan al dato faltante

#### 5.4.3.3. Método de la razon normal

Este método se utilizó cuando los datos climáticos de las estaciones analizadas difieren en más del 10%, usado para estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio y la estación más cercana, que cuente con una estadística consiente y observada. Para ello se establece una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la que tiene carencia de datos mediante una ecuación lineal (Herrera, 2017).

Este método fue el más usado en la investigación, principalmente en información climática de las estaciones de Catamayo, El Cisne, El Tambo, Gonzanamá, Carimanga y Nambacola:

$$h_{px} = \frac{1}{n} \left[ \frac{p_x}{p_1} h_{p1} + \frac{p_x}{p_2} h_{p2} + \dots + \frac{p_x}{p_n} h_{pn} \right] \text{ (Ecuación 14)}$$

$h_{px}$ : altura de precipitación faltante en la estación de estudio.

$h_p$ : altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar  $i$

$p_i$ : precipitación media anual en la estación auxiliar  $i$

$p_x$ : precipitación media anual en la estación en estudio.

$n$ : número de estaciones auxiliares (con datos completos).

#### **5.4.4. Validación de datos de las estaciones meteorológicas.**

##### **Análisis de consistencia de datos**

Una vez realizado el relleno de datos, se verificó que los datos climáticos sean correctos y guarde relación en la estadística, para ello, se utilizó el análisis de consistencia de datos el mismo que permite validar los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI, de tal manera que se verificó si los datos generados mediante el relleno son fiables logrando que los datos válidos faciliten una mayor aproximación de la realidad del estudio. Consiguiendo que los valores de  $R^2$  estén dentro del rango aceptado, cercano a 1 (Carrera, et al., 2016).

Mediante tablas de Excel se ordenó toda la información de cada variable de las estaciones seleccionadas, posterior a ello, se colocó el acumulado de las estaciones en estudio en el eje  $x$  y en el eje  $y$  se ubicó el acumulado de la estación en estudio, en relación a las demás estaciones; este proceso se aplicó en todas las variables climáticas de precipitación y temperatura máxima, mínima y media.

Consecutivamente, mediante la gráfica se determinó la tendencia de la información y el valor de  $R^2$ , el cual, debe estar en un rango de 0,5 o muy cercano a 1, para tener homogeneidad en la base de datos climática de la zona de estudio.

#### **5.5. Metodología para el segundo objetivo**

*“Estimar la evapotranspiración y precipitación efectiva del cantón Catamayo, mediante los diferentes métodos empíricos con datos observados y de reanálisis”*

Para dar cumplimiento con el segundo objetivo específico, se utilizó toda la información disponible, que incide en la determinación de los componentes climáticos de Evapotranspiración potencial y Precipitación efectiva, principalmente con datos de temperatura (máxima, mínima, media).

### **5.5.1. Cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con datos del INAMHI**

Luego de la verificación de la fiabilidad de la información climática, se estimó la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, usando la información necesaria de las variables climáticas. Para determinar la ETo y Pe se empleó las siguientes ecuaciones (ecuación 9 Hargreaves- Simplificado, ecuaciones 8 y 9 USDA) empíricas que se ajustan a la disponibilidad de datos climáticos de la zona de estudio.

#### **5.5.1.1. Determinación de la Evapotranspiración potencial**

En la estimación de la evapotranspiración potencial se utilizó el método de Hargreaves Simplificado (1985), el cual, fue el método que se ajustó a tendencia de la información de las variables climáticas de temperatura máxima, mínima, media de las estaciones meteorológicas, previamente ordenados en una base de datos y el valor de Ro (radiación extraterrestre), que corresponden a una latitud de 3°Catamayo del Anexo 3, proporcionando valores para cada mes. Y posteriormente se los represento en la ecuación 9.

##### **- Método Hargreaves Simplificado**

$$ETo = 0,0023(Tmedia + 17,78) Ro (Tmax - Tmin)^{0.50} \text{ (Ecuación 9)}$$

##### **Donde:**

ETo: Evapotranspiración (mm/d)

Ro: Radiación solar extraterrestre, (mm/d)

Tmed: temperatura media (°C)

Tmáx: temperatura máxima diaria °C

T mín: temperatura mínima diaria °C

#### **5.5.1.2. Determinación de la Precipitación efectiva (Pe)**

En la determinación de la precipitación efectiva, se utilizó el método de la USDA Soil Conservation Servic desarrollada por la USCS (1967), donde dicha ecuación hace uso de información de la variable climática de precipitación total, expresando dos ecuaciones con precipitaciones totales, una usada para casos en las que las precipitaciones sean mayores a 250

mm y otra para precipitaciones menores a 250 mm. Con la información disponible de la precipitación, se realizó la base de datos y de acuerdo a los valores correspondientes a cada mes se representó en la ecuación y se estimó los datos de precipitación efectiva (Villazón, 2021).

$$Pe = Pt \left( 125 - 0,2 \frac{Pt}{125} \right) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$Pe = 125 + 0,1Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva mensual (mm)

Pt: Precipitación total mensual (mm)

### 5.5.2. *Cálculo de Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con datos de Chelsea Climate*

Una vez realizado la determinación de Evapotranspiración potencial y Precipitación efectiva a través de métodos empíricos con información del INAMHI, se continuo el análisis de información climática obtenida de la base de datos Chelsea Climate. Lo cual permita correlacionar los valores resultantes de las dos metodologías usadas.

La página de Chelsea Climate es un conjunto de datos climáticos de forma global de alta resolución (30s de arco de 1 km) sobre la superficie de la terrestre; la cual trabaja con datos espaciales y climáticos de GSODR Y GSORdata (Hengl & Sparks, 2016).

Para la obtención de la información se realizó el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se ingresó a la plataforma de Chelsea Climate versión 2.1, Chelsea V2.1. Technical Specifications, opción daily.
- Se descargó la información de las variables climáticas de precipitación, temperatura máxima, mínima y media de cada mes, desde el año 1990 al 2013 en un periodo de 23 años; esto con la finalidad de trabajar con el mismo periodo de años, que se usó en la información del INAMHI.
- Mediante el uso de SIGs se realizó el recorte y extracción de la información climática de las imágenes satelitales dadas en forma global para cada una de las variables climáticas del cantón Catamayo.
- Seguidamente, con ayuda de los SIGs se realizó el desescalado o reducción de escala de las imágenes satelitales de alta resolución correspondiente a 1 km a un modelo digital de 30 m=0,000271° para el cantón Catamayo.

- Luego se realizó el cambio de unidades de cada variable: precipitación  $Prec=raster/100$  con unidades en mm; en la temperatura máxima, mínima y media con la ecuación  $T_{m\grave{a}x}=raster -^{\circ}K/10$  con unidades en  $^{\circ}C$ , para el posterior calculo y los datos se encuentren en las unidades correspondientes para un mayor entendimiento.
- Finalmente, con los mapas de Chelsea Climate, se sacó un promedio de los 23 años de cada mes, para luego relacionarlos con los valores de Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva obtenidos mediante los datos del INAMHI.

Este procedimiento se lo realizo para el cálculo de la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, mediante la fórmula de Hargreaves simplificado y Penman Monteith.

### 5.5.3. *Correlación entre información INAMHI Y CHELSEA*

Una vez analizada y determinada la información del INAMHI y de Chelsea Climate, se realizó una correlación entre las dos bases de información y se determinó un coeficiente de correlación o factor de ajuste, que debe tener un margen de error mínimo 0,5 y muy cercano a 1 para que la información sea fiable, con la finalidad de poder usar la información de Chelsea para las zonas donde no existan datos climáticos de observación directa o no exista estaciones meteorológicas cercanas, esto se realizó a través del coeficiente de correlación de Pearson (García, 2015).

#### 5.5.3.1. Coeficiente de correlación de Pearson

Para determinar el coeficiente se utilizó los datos de ETo que se obtuvo por el método de Hargreaves simplificado de la base de datos del INMAHI y Chelsea Climate, se tabulo en el Excel y luego se subió a la herramienta estadística Infostad, el cual determina de manera automática el coeficiente de Pearson.

**Tabla 3.**

*Valores de coeficiente de correlación de Pearson*

<b>Coeficiente</b>	<b>Interpretación</b>
R= 1	Correlación perfecta
0,8 < r < 1	Muy alta
0,6 < r < 0,8	Alta
0,4 < r < 0,6	Moderada
0,2 < r < 0,4	Baja

---

$0 < r < 0,2$	Muy baja
$r = 0$	Nula

---

**Fuente:** (Saravia, 2015).

#### **5.5.4. *Elaboración de mapas de valores continuos de datos climáticos***

Con la base de datos obtenidos de evapotranspiración potencial y precipitación efectiva mediante los SIGs y programas estadísticos se generó mapas temáticos del área de estudio, la cual servirá para generar la base de datos de consulta.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el primer objetivo

*“Evaluar la dinámica de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con la información de los años disponibles”*

#### 6.1.1. Recopilación y tabulación de información climática del INAMHI

Durante el proceso de búsqueda de información se obtuvo la base de datos de los anuarios de las estaciones de las principales variables meteorológicas; precipitación, temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía, con disponibilidad del año 1990 hasta el 2013, en un periodo de 23 años, para las estaciones de Catamayo, El Cisne, El Tambo, Malacatos, Gonzanamá, Cariamanga, Nambacola, Chaguarpamba, Catacocha. Previo el análisis, se descartó las variables que no se utilizaron para el cálculo, dado que, en existían datos faltantes en las series estadísticas.

**Tabla 4.**

*Estaciones climáticas con influencia en el área de estudio*

CÓDIGO	ESTACIÓN	VARIABLE CLIMATICA			Precp.	PERIODO
		Temperatura				
		Max	Min	Med		
M065	Catamayo	x	x	x	x	1990-2013
M148	Nambacola	x	x	x	x	2004-2013
M759	El Tambo				x	1990-2013
M151	El Cisne				x	1990-2013
M149	Chaguarpamba	x		x	x	1976-2001
M146	Cariamanga	x			x	1990-2013
M143	Malacatos	x	x	x	x	1990-2013
M134	Gonzanamá	x	x	x	x	1990-2013
M515	Catacocha	x			x	1965-2013

Elaboración: Autora

#### 6.1.2. Validación de datos de las estaciones meteorológicas

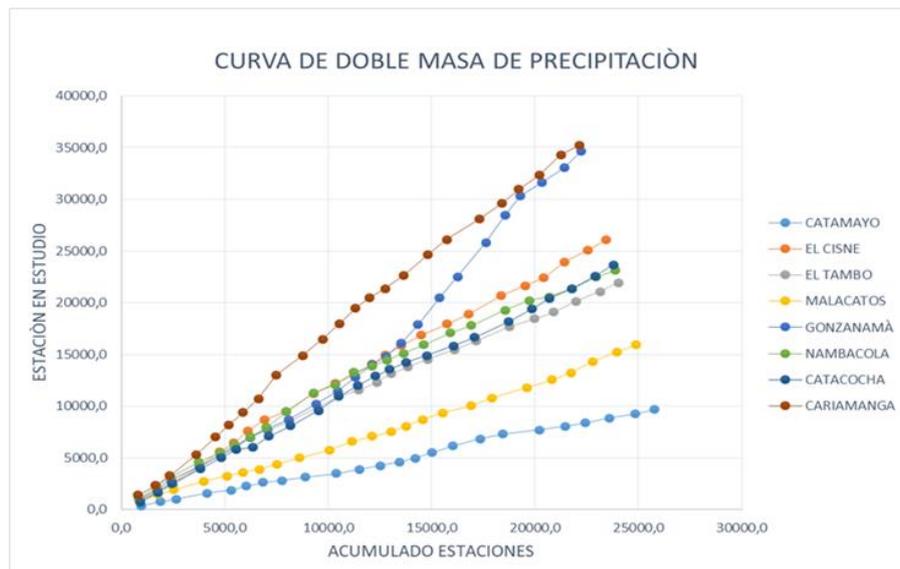
##### 6.1.2.1. Precipitación

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la precipitación del periodo 1990-2013, donde existe gran fiabilidad en los datos en relación a las demás estaciones analizadas, debido a que el valor del coeficiente  $R^2$  es muy cercano a 1 en todas las estaciones; para las estaciones

de Catamayo, El Cisne, El tambo, Malacatos, Catacocha y Cariamanga corresponde a un coeficiente de ( $R^2 = 0,99$ ), debido a que son las estaciones más cercanas a la zona de estudio, por su parte, para la estación de Nambacola el  $R^2$  es de 0,98, por último, para la estación de Gonzanamá se obtuvo un coeficiente de  $R^2 = 0,96$  encontrándose más alejada a la zona de estudio (Tabla 5); ver en el anexo 1.

**Figura 2.**

*Análisis de la consistencia de datos- Precipitación*



**Tabla 5.**

*Validación de datos- Precipitación*

Estación	M-065	M-151	M-759	M-143	M-134	M-148	M-515	M-146
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,98	0,99	0,99

Estaciones: M065- Catamayo, M151- El Cisne, M759- El Tambo, M143- Malacatos, M134- Gonzanamá, M148- Nambacola, M515- Catacocha, M146- Cariamanga.

Elaboración: autora

### 6.1.2.2. Temperatura máxima

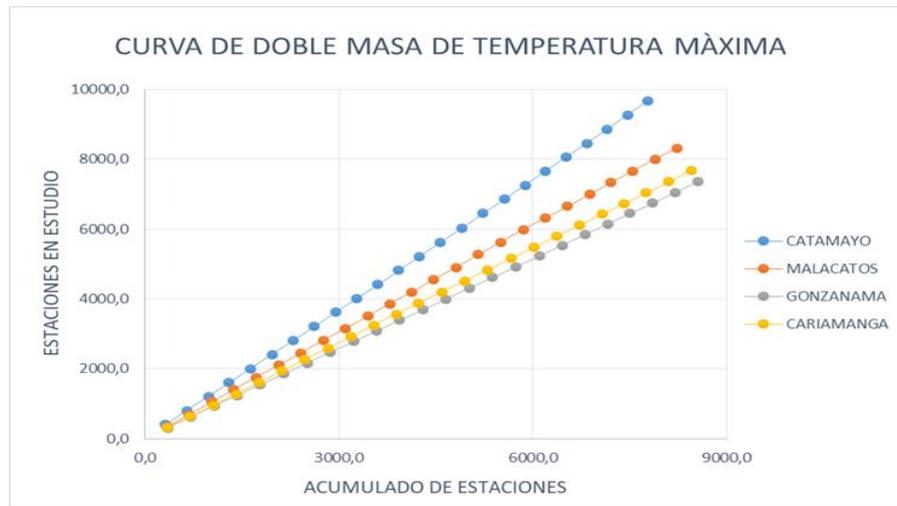
La Figura 3, se muestra el comportamiento de los datos de temperatura máxima en el periodo estudiado de 23 años desde 1990 a 2013; reflejándose una línea de tendencia positiva, con gran homogeneidad entre los datos de las estaciones cercanas a la zona de estudio.

En el análisis de doble masa realizado a 4 estaciones con la estadística completa, se evidencia gran fiabilidad de la información, debido a que los coeficientes de determinación son cercanos a 1. En las estaciones de Catamayo y Malacatos se encuentra un coeficiente de  $R^2=0,99$

muy cercano al valor aceptado y para las estaciones de Gonzanamá y Cariamanga de  $R^2 = 1$  (Tabla 6) siendo el valor máximo con un ajuste lineal perfecto.

**Figura 3.**

*Análisis de consistencia de datos- Temperatura máxima*



**Tabla 6.**

*Validación de datos climáticos- Temperatura máxima*

Variable/Estación	Catamayo	Malacatos	Cariamanga	Gonzanamá
Tmin $R^2$	0,99	0,99	1	1

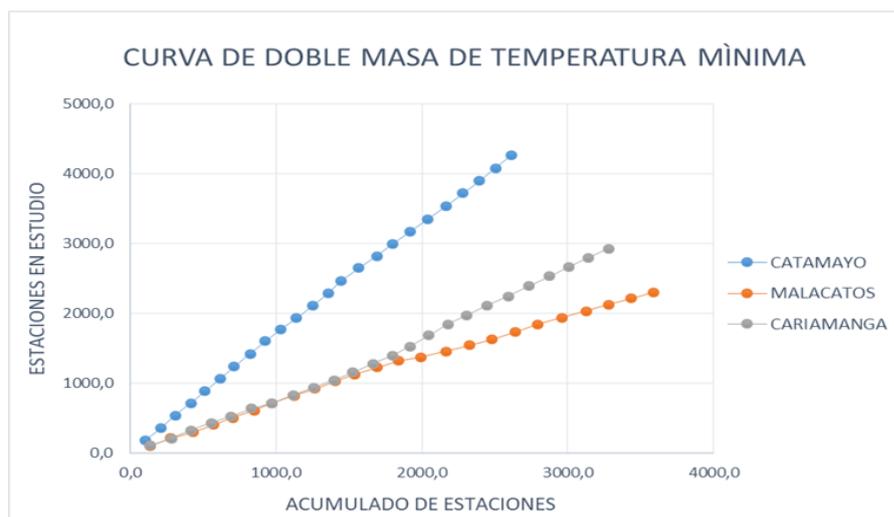
Elaboración: autora

### 6.1.2.3. Temperatura mínima

En la Figura 4 se evidencia el comportamiento de los datos de temperatura mínima realizada en tres estaciones con estadística completa en el periodo de 1990-2013, las cuales son: Catamayo, Malacatos y Cariamanga, las mismas que presentan un coeficiente de  $R^2=0,99$  (Tabla 7) con valores semejantes muy cercanos al ajuste lineal perfecto, existiendo gran fiabilidad en los datos de las tres estaciones.

**Figura 4.**

*Análisis de consistencia- Temperatura mínima*



**Tabla 7.**

*Validación de datos climáticos- Temperatura mínima*

Variable/Estación	Catamayo	Malacatos	Cariamanga
Tm $R^2$	0,99	0,99	0,99

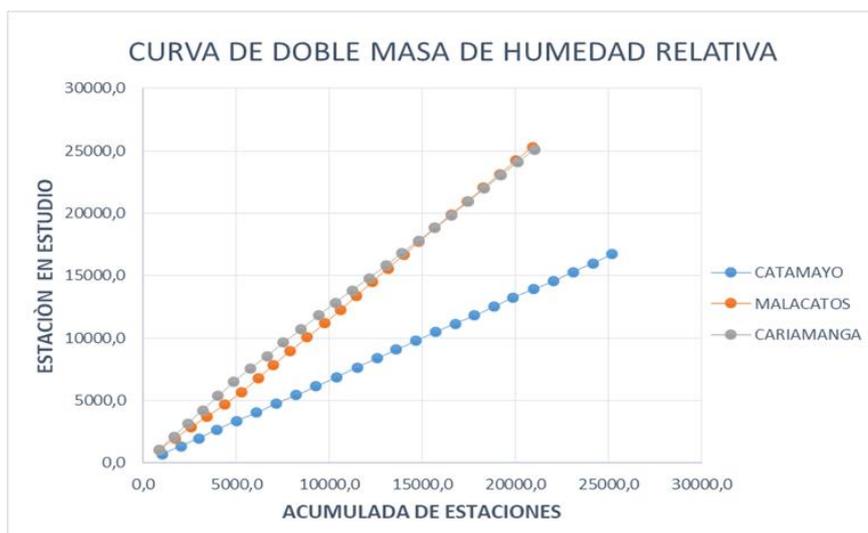
Elaboración: autora

#### 6.1.2.4. Temperatura media

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de datos de temperatura media aplicada a tres estaciones influyentes al área de estudio; las cuales son Catamayo y Malacatos, la cual indica semejanza en las dos estaciones analizadas con un coeficiente de  $R^2=0,99$  muy cercano al valor de  $R^2$  1, del ajuste lineal perfecto (Tabla 8).

**Figura 5.**

*Análisis de consistencia de datos- Temperatura media*



**Tabla 8.**

*Validación de datos climáticos- Temperatura media*

Variable/Estación	Catamayo	Malacatos	Cariamanga
Tm R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99

Elaboración: autora

## 6.2. Resultados para el segundo objetivo

*Estimar la evapotranspiración y precipitación efectiva del catón Catamayo, mediante los diferentes métodos empíricos con datos observados y de reanálisis.*

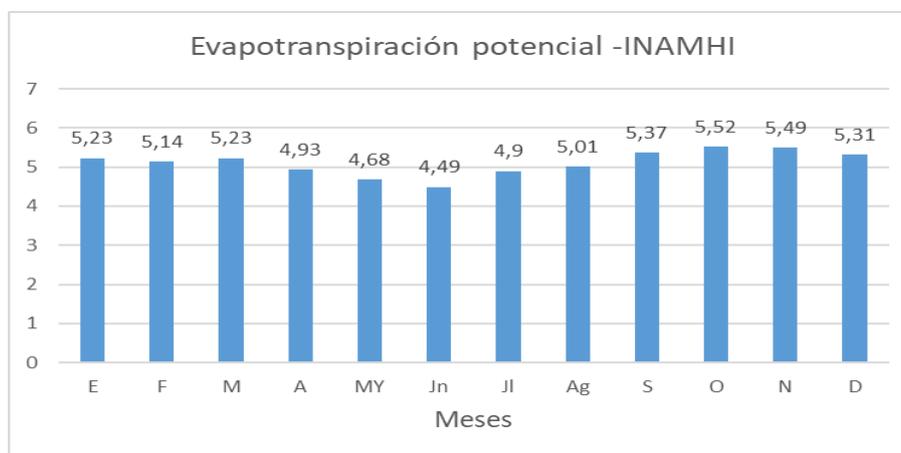
### 6.2.1. Determinación de la evapotranspiración potencial (ETo)

#### 6.2.1.1. Evapotranspiración potencial- INAMHI

En base a la interpolación de los datos de las estaciones meteorológicas con influencia en el área de estudio, se determinó la evapotranspiración potencial, por medio de la ecuación de Hargreaves simplificado. Según la Figura 6, la mayor presencia de evapotranspiración durante el año se presenta mes de octubre con 5,52 mm d<sup>-1</sup>, mientras que, que el mes con menor evapotranspiración es en el mes de junio con 4,49 mm d<sup>-1</sup>. La ETo promedio para la zona de estudio es de 5,08 mm d<sup>-1</sup>.

**Figura 6.**

*Evapotranspiración potencial (mm)- INMAHI*



**Elaboración:** autora

Además, en la Figura 7, se presentan a través de mapas temáticos los valores de la evapotranspiración potencial anual con datos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, para todo el territorio del cantón Catamayo. Representados con una coloración que va de verde

a rojo, donde las zonas que están en color verde representan los valores más bajos lo cual está presente en las parroquias de El Tambo con el límite de Loja, mientras que la coloración roja muestra los valores más altos de ETo predominantes en las parroquias de Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la bendita y en la parte central de Catamayo. Manteniéndose la misma tendencia a lo largo de todos los meses del año. El rango de 5,39 -6,32 mm d<sup>-1</sup> de ETo por el método de Hargreaves, es el que más predomina en el cantón Catamayo con un 43,25%, ver Tabla 9.

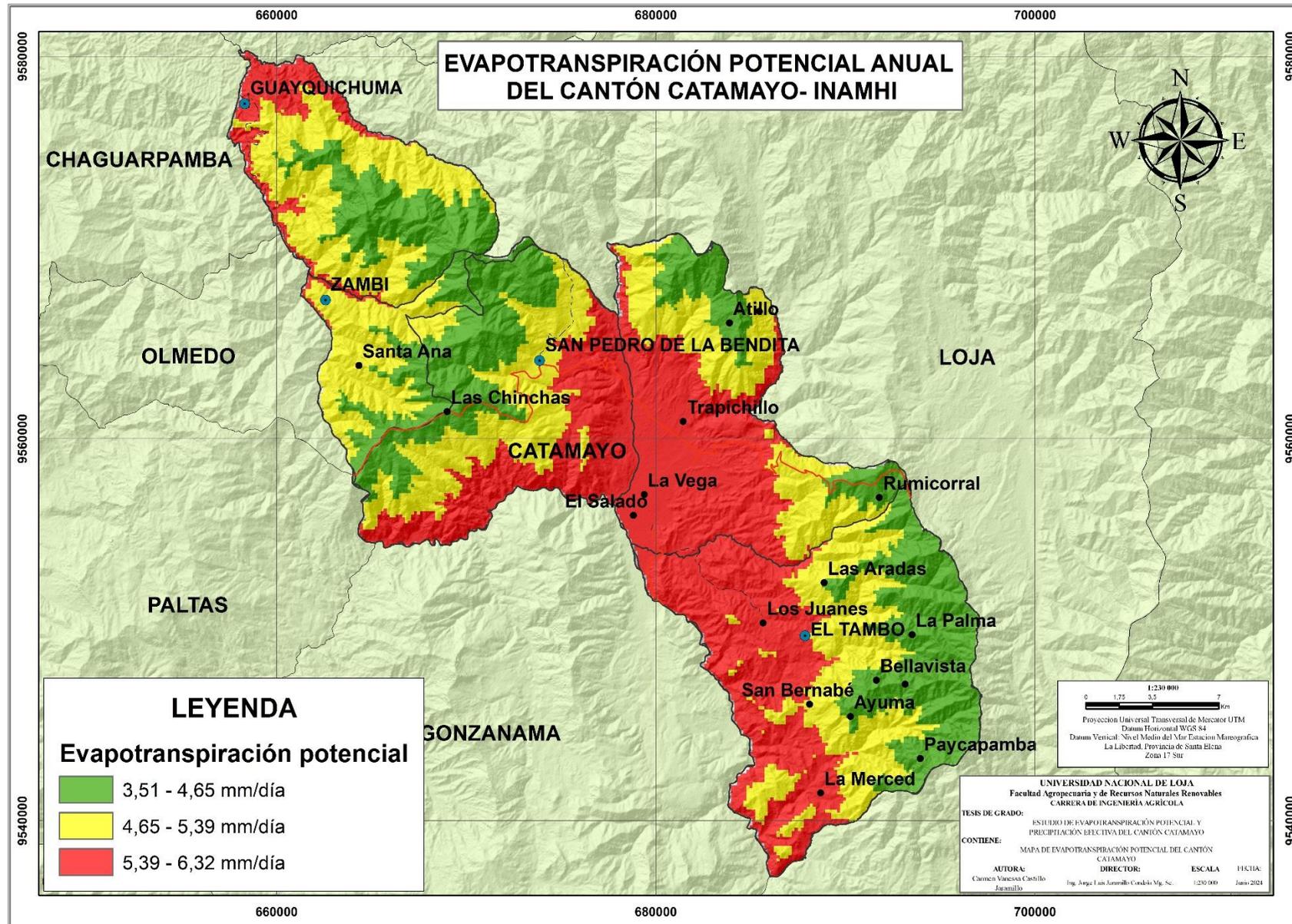
**Tabla 9.**

*Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (INAMHI)*

<b>ETo (mm/día)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Altitud</b>	<b>Parroquias</b>
3,51 – 4,65	22,63	3100 - 2240	Guayquichuma, San Pedro de la Bendita (Las Chinchas), Catamayo (Atillo y Rumicorral) y El Tambo (Las Aradas, La Palma, La Argentina, Ayuma, Bellavista, Paycapamba)
4,65 – 5,39	34,12	2440 - 1800	Guayquichuma, Zambí (Santa Ana), San Pedro de la Bendita, Catamayo, El Tambo (San Bernabé)
5,39 – 6,32	43,25	1800 - 1200	Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita, Catamayo (Trapichillo, La Vega, El Salado) y El Tambo (Los Juanes y La Merced)

Figura 7.

Mapa de Evapotranspiración potencial del cantón Catamayo con datos del INAMHI

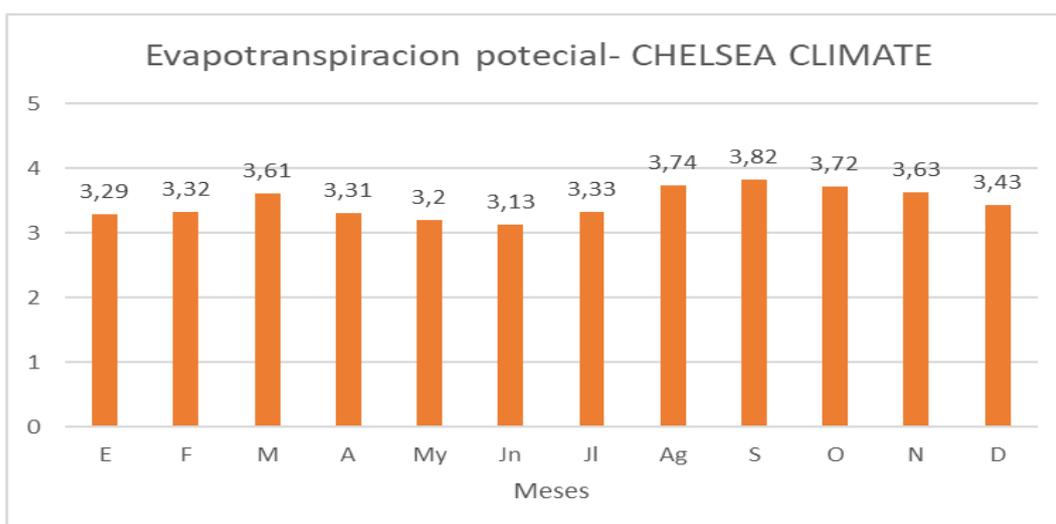


### 6.2.1.2. Evapotranspiración potencial- CHELSA CLIMATE

De acuerdo a la interpolación de datos en el análisis de la evapotranspiración potencial con la información proporcionada de Chelsea Climate, por medio de la ecuación de Hargreaves simplificado, obteniendo que el mes de mayor valor de evapotranspiración durante el año se presenta en el mes de septiembre con  $3,82 \text{ mm día}^{-1}$  y el mes con menor valor de evapotranspiración es junio, con  $3,13 \text{ mm día}^{-1}$ , y el ETo promedio para la zona de estudio es  $3,46 \text{ mm día}^{-1}$ . Ver Figura 8.

**Figura 8.**

*Evapotranspiración potencial (mm)- CHELSEA CLIMATE*



**Elaboración: autora**

Por tanto, en la Figura 9 se presentan a través de mapas temáticos los valores de la evapotranspiración potencial para los doce meses del año, para todo el territorio del cantón Catamayo. Siendo representados con una coloración de verde a rojo, donde, el color verde indica los valores más bajos de ETo correspondientes a las parroquias de El Tambo, parte de Zambí y Guayquichuma y también con el límite de cantonal de Loja, mientras que la coloración roja muestra los valores altos de ETo predominantes en parte de las parroquias de Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita y gran parte de Catamayo con límite a Gonzanamá. El rango de  $3,58 - 4,02 \text{ mm d}^{-1}$  de ETo por el método de Hargreaves, es el que más predomina en el cantón Catamayo con un 48,13% ver Tabla 10.

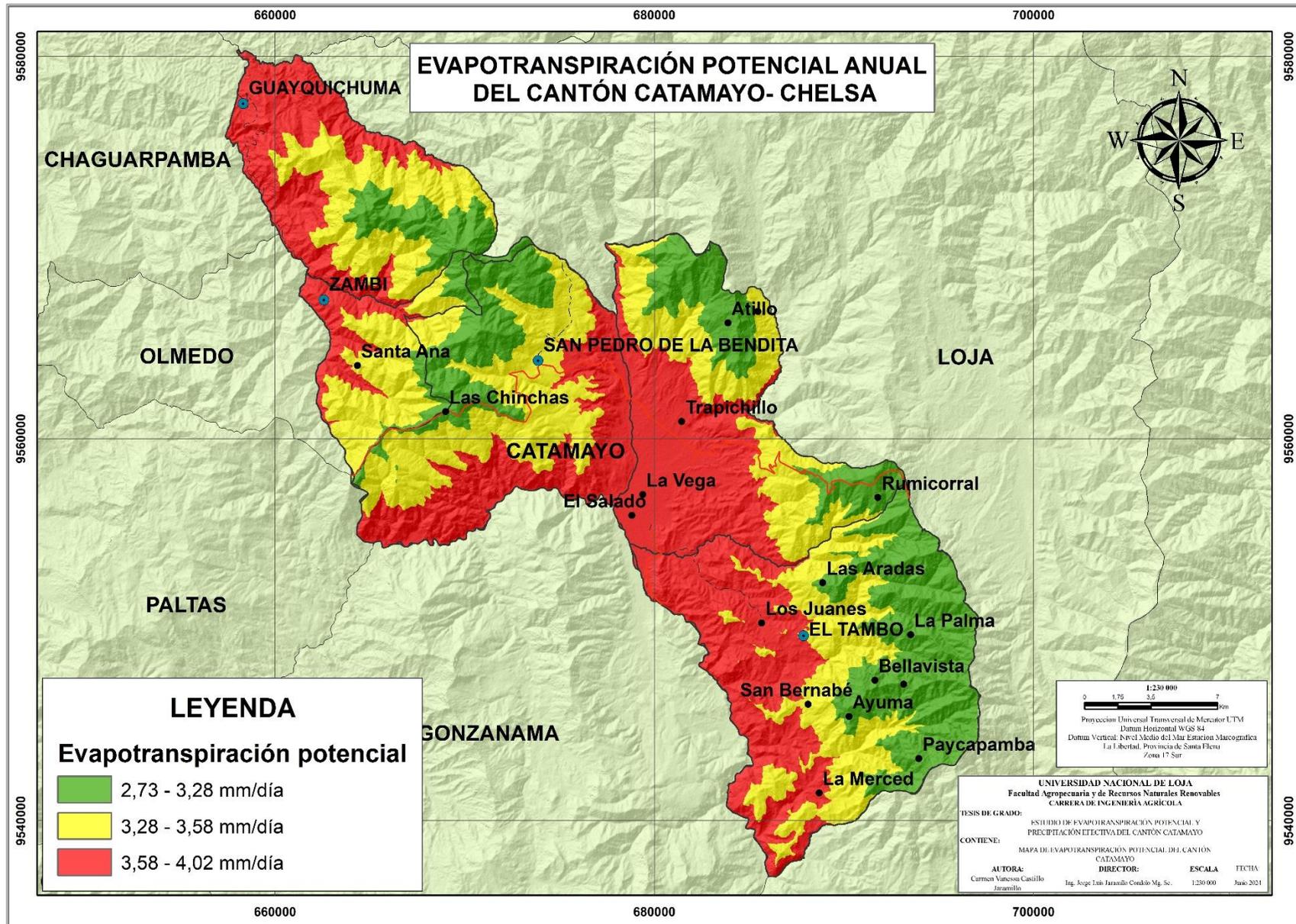
**Tabla 10.**

*Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (CHELSA)*

<b>ETo (mm/día)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Altitud</b>	<b>Parroquias</b>
2,73 – 3,28	20,65	3100 - 2240	Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita (Las Chinchas), Catamayo (Atillo y Rumicorral) y El Tambo (Las Aradas, La Palma, La Argentina, Ayuma, Bellavista, Paycapamba)
3,28 – 3,58	31,22	2440 - 1800	Guayquichuma, Zambí (Santa Ana), San Pedro de la Bendita, Catamayo, El Tambo (San Bernabé)
3,58 – 4,02	48,13	1800 - 1200	Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita, Catamayo (Trapichillo, La Vega, El Salado) y El Tambo (Los Juanes y La Merced)

Figura 9.

Mapa de evapotranspiración potencial del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE



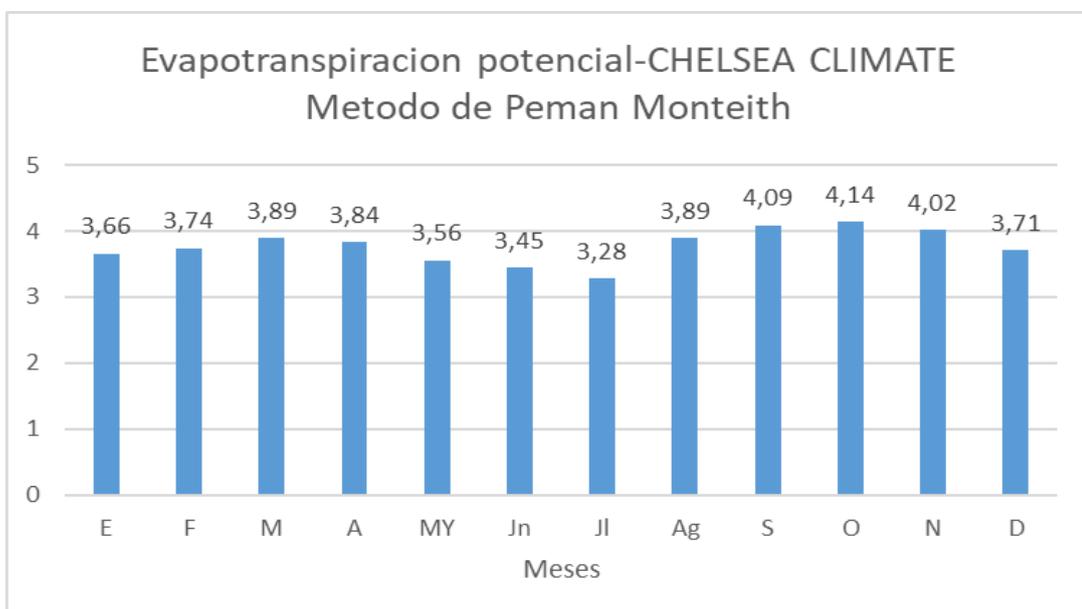
### 6.2.1.3. Evapotranspiración potencial- Método de Penman Monteith

En el análisis espacial de la evapotranspiración potencial (ETo) con la información climática proporcionada de la página Chelsea Climate, con registros históricos de evapotranspiración potencial de tal manera que estos datos son obtenidos mediante el cálculo automático mediante la ecuación de Penman Monteith simplificada, y determinada para cada mes del Cantón Catamayo, donde la mayor evapotranspiración durante el año se presenta en el mes de octubre con  $4,14 \text{ mm día}^{-1}$ , mientras que, el mes con menor evapotranspiración es junio, con  $3,13 \text{ mm día}^{-1}$ , y el ETo promedio para la zona de estudio es  $3,28 \text{ mm día}^{-1}$ , valores reflejados en la Figura 10.

En la Figura 11 se muestran los valores de evapotranspiración potencial de todos los meses del año para toda el área del cantón Catamayo, donde los valores bajos de ETo están representados con una coloración verde, mismos valores que están presentes en el área de las parroquias el Tambo y una parte de Zambí, mientras que, los valores altos de ETo están representados con una coloración roja predominantes en las parroquias de Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita y gran parte del centro de Catamayo, los mismos que mantienen una similitud a lo largo de los meses.

**Figura 10.**

*Mapas de evapotranspiración potencial- CHELSEA CLIMATE*



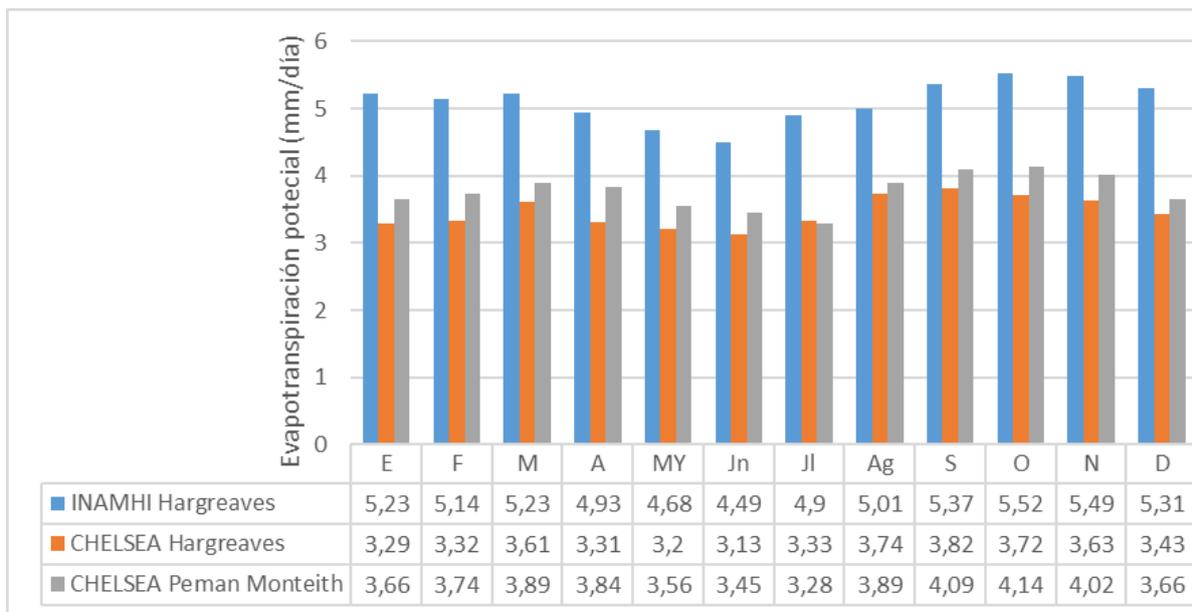
**Elaboración:** autora

#### 6.2.1.4. Comparación INAMHI y Chelsea Climate de datos de ETo

Una vez realizado la determinación de los resultados de Evapotranspiración potencial, mediante el método de Hargreaves Simplificado y por el método de Penman Monteith, se evidencia en la Figura 12 se muestra la variabilidad de la evapotranspiración estimada para cada mes, dado que se mantiene la misma tendencia de la información en donde los meses con mayor evapotranspiración potencial (ETo).

**Figura 11.**

*Comparación de datos de evapotranspiración potencial*



**Elaboración:** autora

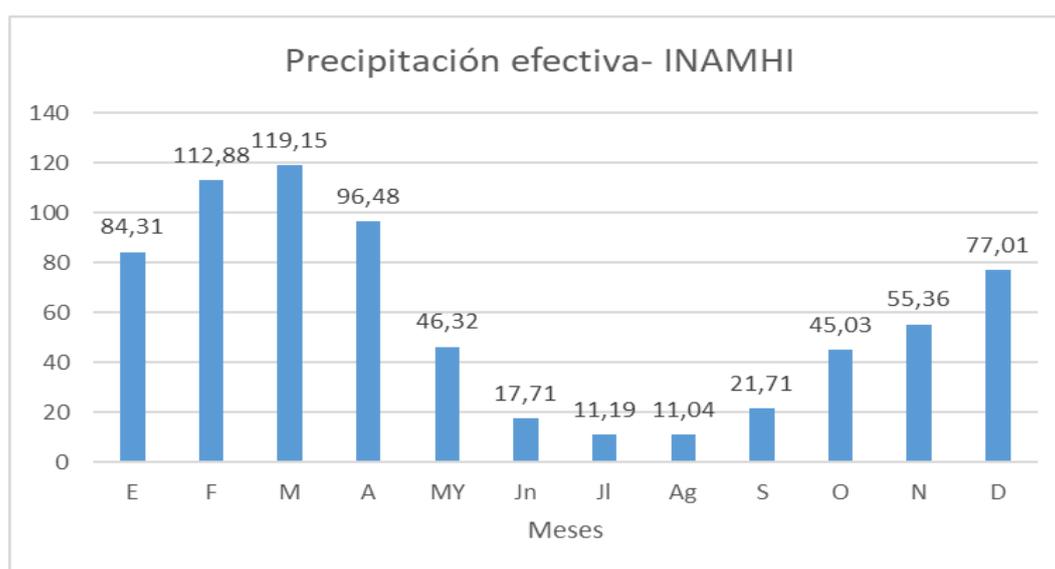
Los cuales se presenta en los meses de septiembre con  $5,37 \text{ mm día}^{-1}$ , octubre  $5,52 \text{ mm día}^{-1}$  y noviembre  $5,49 \text{ mm día}^{-1}$ ; mientras que, los meses con menor presencia son mayo  $4,68 \text{ mm día}^{-1}$ , junio  $4,49 \text{ mm día}^{-1}$  y julio  $4,9 \text{ mm día}^{-1}$ , guardando semejanza en estos meses de acuerdo a las dos metodologías usadas. De igual manera, se puede apreciar que los valores obtenidos con el método de Penman Monteith son similares a los obtenidos con el método de Hargreaves utilizando datos de Chelsea. A diferencia de los datos obtenidos mediante Hargreaves con datos del INMAHI, que reflejan un ascenso en los valores de ETo los cuales están en un rango de  $4 \text{ mm día}^{-1}$  a  $6 \text{ mm día}^{-1}$ , mientras que los valores de ETo, por el método de Hargreaves y Penman Monteith con datos de Chelsea Climate está en un rango de  $3 \text{ mm día}^{-1}$  a  $4,2 \text{ mm día}^{-1}$  respectivamente.

## 6.2.2. Determinación de la Precipitación efectiva (Pe)

### 6.2.2.1. Precipitación efectiva- INAMHI

De acuerdo al análisis e interpolación de datos de precipitación de las estaciones meteorológicas influyentes en el cantón Catamayo; en la Figura 13 se muestran los valores de precipitación efectiva, obtenidos mediante la fórmula de la USD. Donde se obtuvo que la mayor precipitación efectiva se presenta en el mes de marzo con un valor de 119,15 mm, mientras que, el mes con menor valor se registró en el mes de agosto con 11,04 mm. La Pe promedio para la zona de estudio fue de 72,52 mm.

**Figura 12.** Precipitación efectiva (mm), información climática- INAMHI



**Elaboración:** autora

En la Figura 14, se puede observar la variabilidad de la precipitación efectiva en el cantón Catamayo. Los valores de Pe muestran una directriz de información con ascensos y descensos bruscos. Así mismo, mediante en mapas temáticos de Pe para cada mes del año, representado mediante isolíneas se puede observar que la coloración va de celeste a azul oscuro, donde, los valores mínimos de Pe están en la parroquia de Catamayo y barrios aledaños de la parroquia el Tambo y los valores máximos de Pe se encuentran en la parte de Guayquichuma, Zambí, San Pedro de la Bendita y barrios aledaños a estas parroquias. El rango de 55,43 -64,08 mm de Pe por el método de la USDA, es el que más predomina en el cantón Catamayo con un 35,12%, ver Tabla 11.

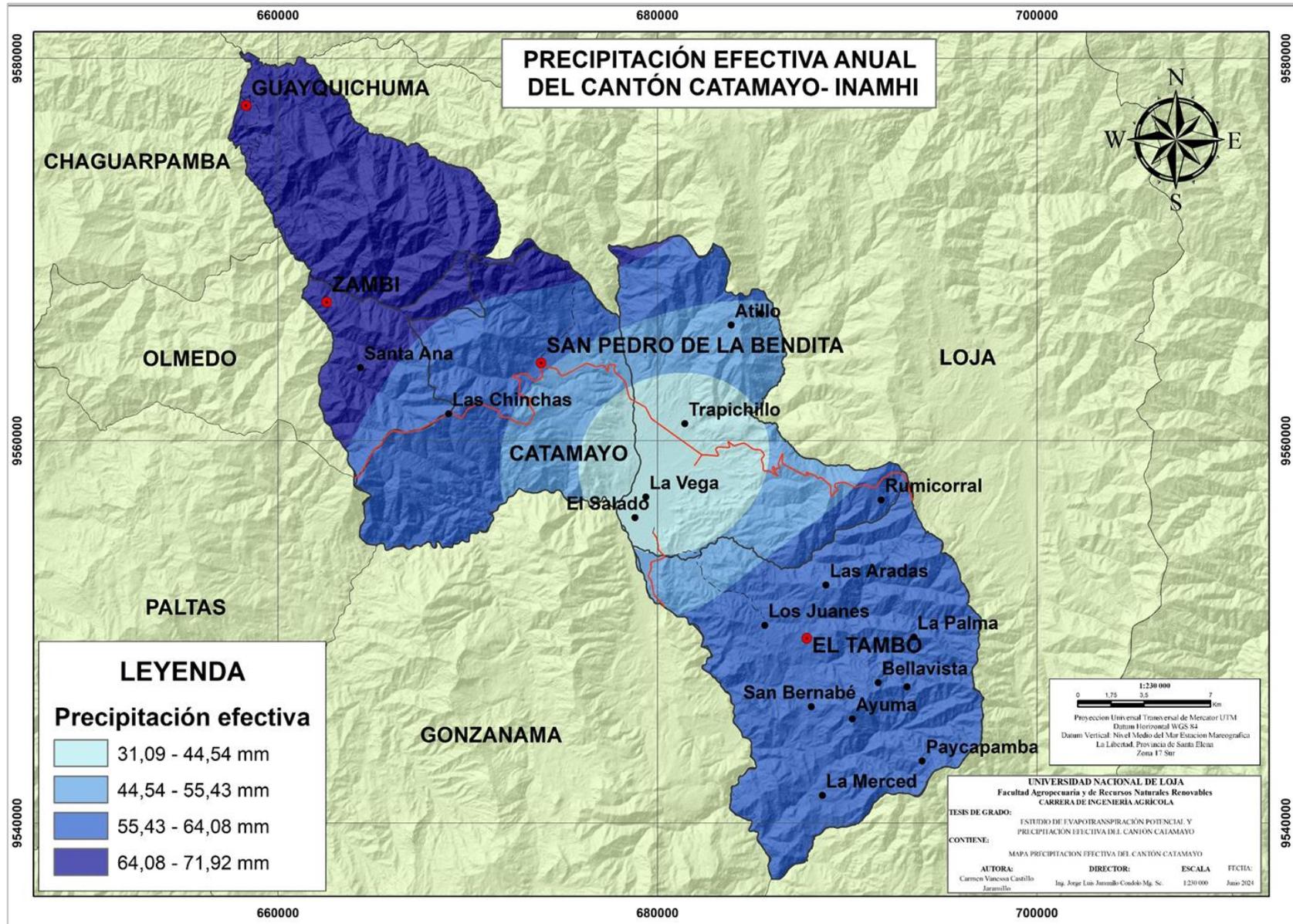
**Tabla 11.**

*Área que cubre la Pe del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (INAMHI)*

<b>ETo (mm)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Altitud</b>	<b>Parroquias</b>
31,09 – 44,54	15,26	1200 - 1700	San Pedro de la Bendita y Catamayo (Trapichillo, La Vega, El Salado).
44,54 – 55,43	23,45	1700 - 2200	San Pedro de la Bendita, Catamayo (Atillo) y El Tambo.
55,43 – 64,08	35,12	2200 - 2700	Zambi, San Pedro de la Bendita, Catamayo (Rumicorral) y El Tambo (Las Aradas, Los Juanes, La Palma, Bellavista, La Argentina, Ayuma, San Bernabe, Paycapamba y La Merceros Juanes
64,08 – 71,92	26,17	2700 - 3100	Guayquichuma, Zambi (Santa Ana) y San Pedro de la Bendita

Figura 13.

Mapa de precipitación efectiva del cantón Catamayo- INAMHI

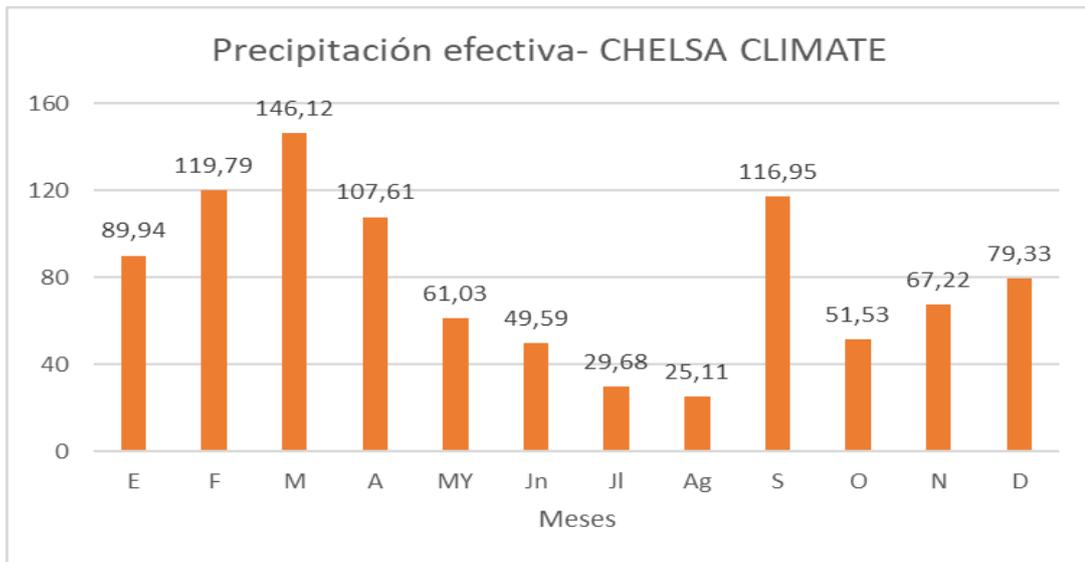


### 6.2.2.2. Precipitación efectiva- CHELSA CLIMATE

En el análisis espacial se utilizó datos de precipitación de la página CHELSA, para el cálculo de la precipitación efectiva por el método de la USDA a partir de la precipitación registrada desde 1990 a 2013 y se obtuvo los resultados donde se puede evidenciar la mayor presencia de precipitación efectiva la cual se presenta en el mes de marzo con 146,12 mm y menor presencia en el mes de agosto con un valor de 25,11 mm, y la Pe promedio para la zona de estudio es 85,61 mm, y la Pe promedio para la zona de estudio es 85,6 mm, resultados representados en la Figura 15.

**Figura 14.**

*Precipitación efectiva- INAMHI*



**Elaboración: autora**

En la figura 16, se muestran los valores obtenidos de precipitación efectiva para cada mes del año del cantón Catamayo, los mismos que reflejan mediante mapas temáticos con una coloración que va de celeste a azul oscuro, donde, en el área de el Tambo, San Pedro de la Bendita y gran parte de Catamayo muestra una coloración celeste siendo estas zonas las que presentan los valores más bajos de Pe, por tanto, en la parte que comprende a Guayquichuma, Zambí y El Tambo son las zonas donde se identifican los valores más altos de Pe. El rango de 69,06 -78,85 mm de Pe por el método de la USDA, es el que más predomina en el cantón Catamayo con un 35,12%, ver Tabla 11.

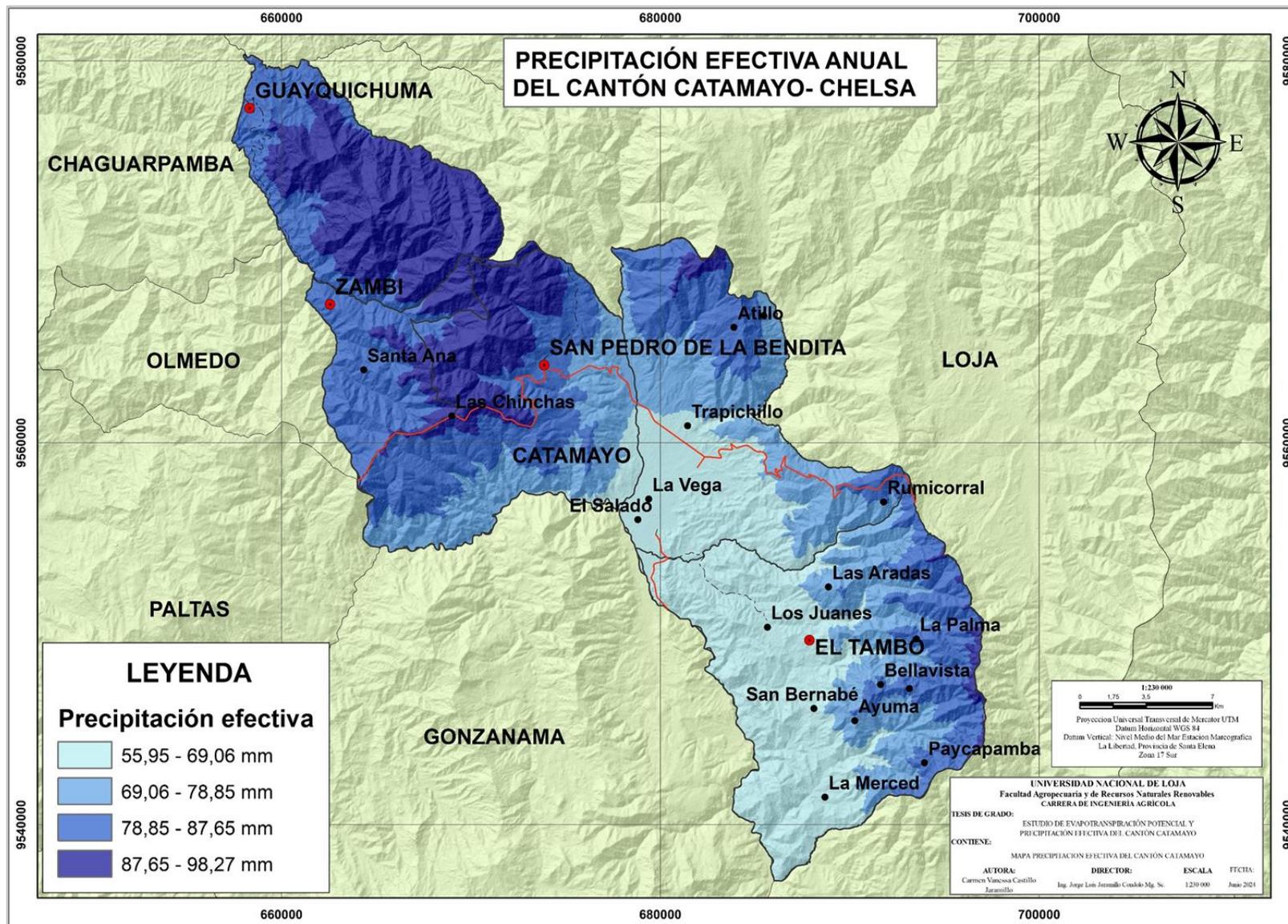
**Tabla 12.**

*Área que cubre la ETo del cantón Catamayo- Método de Hargreaves (CHELSA)*

<b>ETo (mm)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Altitud</b>	<b>Parroquias</b>
55,95 – 69,06	22,44	1200 - 1700	San Pedro de la Bendita y Catamayo (Trapichillo, La Vega, El Salado) y El Tambo (Los Juanes, San Bernabé, La Merced).
69,06 – 78,85	31,72	1700 - 2200	San Pedro de la Bendita, Catamayo (Rumicorral) y El Tambo (Las Aradas, Ayuma)
78,85 – 87,65	26,35	2200 - 2700	Guayquichuma, Zambí (Santa Ana), San Pedro de la Bendita (Las Chinchas), Catamayo (Atillo) y El Tambo (La Palma, Bellavista, La Argentina, Paycapamba, San Bernabé, Paycapamba y La Merceros Juanes
87,65 – 98,27	19,49	2700 - 3100	Guayquichuma, Zambí (Santa Ana) y San Pedro de la Bendita

Figura 15.

Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE

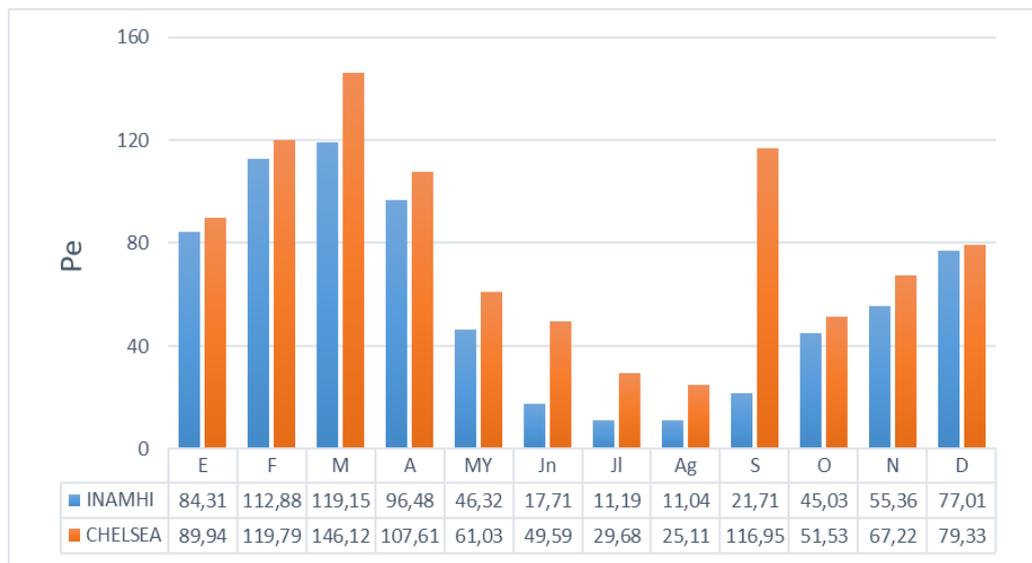


### 6.2.2.3. Comparación de datos de (Pe) del INMAHI y CHELSA CLIMATE

Luego del análisis de la precipitación efectiva mediante las dos fuentes de información climática del INMAHI Y Chelsea, se observa (Figura 17), se observa que los mayores valores de precipitación efectiva se presentan en los meses de febrero, marzo y abril con valores que van desde 112,88 mm, 119,15 mm y 96,48 mm respectivamente para datos medidos en la estación meteorológicas del INMAHI. A partir del mes de mayo hay descenso brusco debido a que en esta época se presenta la época de verano la presencia de lluvia disminuye. Por su parte, para los datos históricos de Chelsea Climate, los meses con mayor Pe son febrero con 119,79 mm, marzo con 146,1 mm y septiembre con un valor de 116,95 mm.

**Figura 16.**

*Correlación de datos de precipitación efectiva*



**Elaboración:** autora

### 6.2.3. Coeficiente de correlación de Pearson o factor de corrección.

En la Tabla 9, se puede evidenciar el valor determinado a través de la herramienta estadística Infostat, con los datos obtenidos de ETo, cuyo valor es de 0,74 el cual es un valor muy cercano a 1, por lo tanto, existe una correlación alta entre los datos de evapotranspiración potencial.

**Tabla 13.**

*Correlación de Pearson- Evapotranspiración potencial*

	INAMHI Hargreaves	CHELSEA Hargreaves
INAMHI Hargreaves	1,00	0,01
CHELSEA Hargreaves	0,74	1,00

En el análisis de los datos de la precipitación efectiva utilizando la herramienta estadística Infostad, se obtuvo un valor es 0,79. Este resultado, al ser cercano a 1, indica una fuerte correlación. el cual es un valor muy cercano a 1. Según la interpretación proporcionada en la tabla 10, se evidencia una alta correlación entre los valores del INMAHI Y CHELSEA, obtenidos mediante el método de Hargreaves.

**Tabla 14.**

*Correlación de Pearson: Precipitación efectiva*

	INAMHI Hargreaves	CHELSEA Hargreaves
INAMHI Hargreaves	1,00	0,01
CHELSEA Hargreaves	0,79	1,00

## 7. Discusiones

### 7.1. Evaluar la dinámica de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva con la información de los años disponibles.

Según el análisis realizado en la zona de influencia delimitada para este estudio, se observa que las estaciones meteorológicas seleccionadas, que presentan características o condiciones similares, indican que su clima cálido representa una evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) promedio de 4 a 7 mm día<sup>-1</sup>. Esto caracteriza a la región como templada, árida y semiárida, con una temperatura moderada de 20°C (Anicama, 2008).

Las estaciones seleccionadas para la estimación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Catamayo fueron influenciadas por características del área de estudio como: ubicación geográfica y la altitud; así como a la disponibilidad de información climática de precipitación, temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, velocidad del viento, heliofanía. Se contó con una base de datos de 9 estaciones durante un periodo de 23 años.

Estos resultados son similares al modelo utilizado en el Plan de Ordenamiento Territorial del GAD CATAMAYO (2018), que utiliza una base de datos de 25 años para garantizar la confiabilidad de la información. De manera similar, Hernández (2014) menciona en su estudio que, para obtener información precisa y confiable, el periodo mínimo de datos climáticos debe ser entre 10 a 30 años. En su trabajo, utilizó un registro de 30 años desde 1981 y 2010, lo cual contrasta con este estudio.

#### 7.1.1. Descarga y tabulación de información climática

En la recopilación y tabulación de datos de los anuarios meteorológicos, se evidencia que la precipitación presenta una estadística completa en las 9 estaciones, mientras que las variables de temperatura, heliofanía, humedad relativa y velocidad del viento existen datos faltantes en varios años. Esto debido a dificultades en la lectura y toma de datos, dados por ciertas limitaciones como: daños en los equipos, ausencia o falta de personal capacitado.

Estos concuerda con el estudio de Gallegos et al, (2016) en su investigación denominada “*Estimación de datos diarios faltantes en registros de precipitación y temperatura máxima y mínima de San Luis Potosi*” en donde, mencionan que la ausencia de registros, implica la no

valoración exacta de los parámetros climáticos que inciden en la determinación de los porcentajes de evapotranspiración, ya que esta información es de importancia y no se puede asumir ante ello información incompleta, dada por falla en equipos o por ausencia de personal capacitado en la toma de esta ya que afectaría a los de futuros estudios agroclimáticos e hidrológicos. De la misma manera, Peña & Larrahondo (2017) en su investigación “*Comparación de métodos de estimación de datos faltantes en series de precipitación diaria en el valle del Cauca*” mencionan que las series climáticas se ve afectadas por la existencia de datos faltantes por interrupciones ocasionales de estaciones automáticas, mal funcionamiento del instrumento de medición o reorganizaciones de la red de monitoreo.

Con base a estos antecedentes, es de gran importancia tomar en cuenta aspectos como: ubicación de las estaciones y disponibilidad de información, de tal manera que, son factores determinantes para la obtención de una base de datos homogénea y con información confiable.

### **7.1.2. Relleno de datos faltantes**

Una vez analizada la base de datos se observa la existencia de datos faltantes, de tal manera que se hizo uso de métodos para el relleno de datos como el de Jansa Guardiola, media aritmética y regresión lineal esto debido a que el porcentaje de datos faltantes estaba entre 10% a 20% en la mayoría de las estaciones analizadas. Esto concuerda con Carrera et al, (2016) quien en su estudio, señala que los métodos de Jansa Guardiola, media aritmética y regresión lineal son de gran ayuda para el relleno de series climáticas teniendo en cuenta el porcentaje de datos faltantes que se va a estimar (10%, 15% y 20%). Por otro lado, Urrutia (2016) quien menciona que en series de precipitación y/o temperatura con datos faltantes máximo del 20%, es apropiado aplicar las metodologías de correlaciones parciales y modelos de regresión para datos faltantes. Así mismo, recomienda otros modelos de correlaciones parciales, modelos de regresión, ajustes de datos como solución a este problema.

### **7.1.3. Validación de datos**

#### **7.1.3.1. Análisis de consistencia de datos**

A partir del análisis de la curva de doble masa aplicado a cada variable climática en las nueve estaciones meteorológicas que influyen en el cantón Catamayo, se identificó una relación proporcional estable entre la estación patrón y las estaciones de estudio. Esto respalda la fiabilidad de la información en la base de datos. Los valores de  $R^2$  presentados son 0,99, 0,98 y 0,9, que en la mayoría de los casos se acercan a un  $R^2$  de 0,99. Solo en algunos casos, los

valores son ligeramente inferiores, con  $R^2$  de 0,98 y 0,96, pero, aun así, estos valores están muy cerca del valor de referencia confiable de  $R^2=1$ , que indica una correlación positiva perfecta. Estos resultados concuerdan con Gonzalez et al.(2015) y (CIMEC, 2021), quienes argumentan que un valor de  $r$  superior a 0,5 y 1, lo que indica una correlación fuerte. Además, estos resultados concuerdan con Fuertes (2014) el cual, determino que los datos son homogéneos, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0,994 para las estaciones de Vilcabamba, Catamayo, Malacatos y la Argelia, durante un periodo de 30 años desde 1985 hasta 2015.

## **7.2. Estimar la evapotranspiración y precipitación efectiva del cantón Catamayo, mediante los diferentes métodos empíricos con datos observados y de reanálisis.**

### **7.2.1. Determinación de Evapotranspiración potencial**

Los resultados obtenidos del cálculo de la evapotranspiración potencial, utilizando el método simplificado de Hargreaves con datos del INAMHI, muestran un valor máximo de 5,52 mm día<sup>-1</sup> en octubre y un mínimo de 4,49 mm día<sup>-1</sup> en junio. Estos resultados son similares con Sánchez (2023) el cual, obtuvo valores máximos de ETo de 5,3 mm día<sup>-1</sup> en octubre y noviembre, y mínimos de 4,7 mm día<sup>-1</sup> en mayo y junio. Así mismo, estos resultados coinciden con los valores presentados en el Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la provincia de Loja (2000), que utiliza el método ajustado de Hargreaves para calcular la ETo por zona edafoclimática, con máximos en noviembre (5,16 mm día<sup>-1</sup>) y diciembre (5,12 mm día<sup>-1</sup>), y mínimos en marzo (4,25 mm día<sup>-1</sup>).

De igual manera, en los resultados obtenidos con el método de Hargreaves simplificado, con datos espaciales de Chelsea Climate, donde, en el mes de septiembre con un valor máximo de 3,82 mm día<sup>-1</sup> y con un mínimo en el mes de junio con 3,13 mm día<sup>-1</sup>; así mismo, en los resultados mediante el método de Penman Monteith se obtuvo valores máximos en el mes de octubre 4,14 mm día<sup>-1</sup>, mientras que los valores mínimos son en el mes de junio 3,68 mm día<sup>-1</sup> y julio 3,59 mm día<sup>-1</sup>; por otra parte, Luna (2017) en su investigación “Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG)” obtuvo valores de ETo mediante el método de Penman Monteith para una serie estadística de 23 años, con valores máximos en el mes de julio y agosto con 5,7 mm día<sup>-1</sup> y valores mínimos en el mes de febrero y marzo con 4,4 mm día<sup>-1</sup>

Además, los resultados obtenidos con el método simplificado de Hargreaves, utilizando datos espaciales de Chelsea Climate, muestran un valor máximo de 3,82 mm/día en septiembre

y un mínimo de 3,13 mm día<sup>-1</sup> en junio. Por otro lado, los resultados obtenidos con el método de Penman Monteith indican valores máximos de 4,14 mm día<sup>-1</sup> en octubre y mínimos de 3,68 mm día<sup>-1</sup> en junio y 3,59 mm día<sup>-1</sup> en julio. Estos datos son similares con los obtenidos por Luna (2017) en su investigación, donde, calculo valores de ETo mediante el método de Penman Monteith para una serie estadística de 23 años, con valores máximos en julio y agosto (5,7 mm día<sup>-1</sup>) y mínimos en febrero y marzo (4,4 mm día<sup>-1</sup>).

De forma similar, Mseth & Yu (2014) reportaron que la ETo tiene un valor mínimo de 2,71 mm día<sup>-1</sup> en mayo y un máximo de 3,40 mm día<sup>-1</sup> en noviembre, con un promedio anual de 2,97 mm día<sup>-1</sup>. Estos resultados son similares a los de la presente investigación y a los obtenidos por Sánchez & Mseth en términos de los meses de mayor y menor evapotranspiración potencial. Según Sánchez (2023), los valores numéricos presentados se verán afectados por las fluctuaciones atmosféricas. En particular, cuando la humedad atmosférica es alta, la capacidad de la atmósfera para evapotranspirar disminuye debido a la saturación de vapor de agua. Por el contrario, si la humedad disminuye, se observa el fenómeno opuesto.

Además, otro factor meteorológico que influye significativamente en la ETo es el viento. Este puede actuar tanto reduciendo como aumentando la tasa de evaporación y transpiración, dependiendo de su intensidad y dirección. Con base a este régimen de ETo, se infiere que en la provincia de Loja es posible realizar agricultura estacional durante el periodo de octubre a abril. Esto se debe a las condiciones climáticas y a la variabilidad de la evapotranspiración durante estos meses.

### ***7.2.2. Determinación de Precipitación efectiva***

De acuerdo a los cálculos realizados se obtuvo resultados de precipitación efectiva por el método de la USDA con datos del INAMHI donde se puede destacar que los meses de febrero y marzo presentan una mayor presencia de precipitación efectiva con 112,88 mm y 119,15 mm respectivamente, mientras que los meses con la precipitación efectiva más baja son julio con 11,19 mm y agosto con 11,04 mm; donde, se evidencia una similitud en relación a los resultados mediante los datos de Chelsea Climate en el mes de febrero y marzo con mayor presencia precipitación efectiva de 119,79 mm y 146,12 mm y los meses con valores bajos son julio 29,68 mm y agosto 25,11 mm en el periodo 1990 – 2013. Al comparar los resultados obtenidos de acuerdo a las dos metodologías usadas con información del INAMHI y de Chelsea Climate se mantiene una tendencia en los datos en todos los meses; con un brusco ascenso en el mes de septiembre con una diferencia del 98,2 mm entre las dos metodologías.

Estos resultados tienen relación con el Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la provincia de Loja (2000), donde se expone los valores de la precipitación probable (75%; cuadro 6), siendo los junio, julio, agosto y septiembre los meses con menos precipitación presente y los valores máximos presentes en los meses de febrero y marzo con 53 mm y 55 mm respectivamente con un total de 290 mm; por otro lado Mseth & C.S. Yu, (2014) quienes en su investigación titulada “Mejora en los calendarios de cultivo para agricultura de secano en ceja de selva” en donde determina datos de precipitación efectiva en el valle de Vilcabamba con gran similitud en los meses de menor precipitación efectiva siendo junio, julio, agosto y septiembre; dado que los meses con mayor precipitación va desde el mes de octubre hasta abril siendo los meses con mayor presencia de lluvias; lo cual es corroborado PDOT-CATAMAYO (2021), quien manifiesta que en el cantón Catamayo existen dos épocas muy perceptibles, siendo una muy seca que comprende los meses de mayo hasta septiembre y la época lluviosa de octubre hasta abril.

Basado en estos antecedentes se observa que estos valores de Pe se dan dependiendo de las características climáticas y la ubicación del área de estudio, tal así que Vega & Jara (2019) en su estudio menciona que la costa del pacifico las épocas de lluvia fluctúan entre los meses de diciembre y mayo, y el periodo de verano o seco desde junio hasta noviembre, habiendo cambios de temperatura que oscilan entre los 13 y 18 °C, se da por los cambios climáticos y su ubicación.

## 8. Conclusiones

- Entre las dos fuentes de información consideradas, el método empírico de Hargreaves demostró ser el más adecuado, adaptándose eficazmente a las características climáticas y a la disponibilidad de información.
- La evapotranspiración potencial, estimada utilizando los datos del INAMHI y Chelsea y aplicando los métodos de Hargreaves y Penman Monteith, muestra una fuerte correlación con la tendencia de los datos. Se observan valores mínimos en los meses de octubre a abril y los valores máximos en los meses de mayo a agosto, respectivamente.
- La precipitación efectiva fue determinada por dos bases de datos, en ambos casos se determinó con el método de la USDA, tanto con los datos del INAMHI y Chelsea Climate, presentan su máximo valor en los meses de abril a octubre y los valores mínimos en los meses de mayo a septiembre.
- Los datos de ETo Y Pe estimados ayudaran a mejorar la toma de decisiones respecto a la planificación del riego para evaluar los requerimientos hídricos de los cultivos, de tal manera que sirvan como una referencia para futuras investigaciones.
- Chelsea Climate es una plataforma climática importante, haciendo uso de los datos, en las zonas donde no se dispone de estaciones climáticas. Esta plataforma proporciona series espaciales a nivel mundial, permitiendo el análisis de cualquier zona geográfica.

## **9. Recomendaciones**

- Realizar más investigaciones en el cantón Catamayo, aplicando otros métodos con métodos en la determinación potencial, usando información del INAMHI, para enriquecer la información del cantón Catamayo.
- Realizar convenios con las entidades encargadas de manejar los datos climatológicos del Ecuador, y obtener información actualizada y tener un rango de información más amplio.
- La información proporcionada en la presente investigación, puede servir de base para futuras investigaciones, en la cual, estos datos se los pueda adaptar a uno o varios cultivos del cantón, para determinar la cantidad optima de agua y de esta manera contribuir a la conservación de los recursos hídricos.

## 10. Bibliografía

- Alvarez, O., Montaña, T., Solano, J. C., & Maldonado, J. (abril de 2018). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/324271976\\_la\\_radiacion\\_solar\\_en\\_la\\_region\\_sur\\_d\\_e\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/324271976_la_radiacion_solar_en_la_region_sur_d_e_Ecuador)
- Arias, L. (2013). Obtenido de <https://reliefweb.int/report/ecuador/la-sequ%C3%ADa-afecta-la-frontera-lojana>
- BANCOMUNDIAL. (14 de Julio de 2021). En Ecuador, el riego tecnificado equivale a cultivos más sostenibles y mejor alimentación. BANCO MUNDIAL EN ECUADOR. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-n>
- Cardoso, J. C. (2018). Agricultura Ganaderia y Pesca.
- Carrera Villacres, D., Guevara, P., Tamayo Bacacela, L. C., & Balarezo Aguilar, A. L. (2016). *Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media*. Chile. doi:DOI:10.4067/S0718-34292016000300010
- Carrera, V. D., Guevara Garcia, P. V., Tamayo Bacacela, L. C., Balarezo Aguilar, A. L., Narvæz Rivera, C. A., & Morocho Lòpez, D. R. (2016). *Relleno de series anuales de datos meteorològicos mediante mètodos estadisticos en la zona costera e interandina del Ecuador, calculo de la precipitaciòn media*. Chile. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>
- Cenicaña. (marzo de 2015). <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>. Obtenido de <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>

- Choque, C. E. (2021). *Estimación de la evapotranspiración a partir de datos satelitales para la region de alto beni, norte de La Paz*. La Paz: Revista de Investigacion e Innovacion Agropecuaria y de Recursos Naturales. doi:<https://doi.org/10.53287/dmrt8855uy51u>
- CIMEC. (26 de febrero de 2021). Obtenido de <https://www.cimec.es/coeficiente-correlacion-pearson/>
- ENERCITY. (2022). *IgenioWeb*. Obtenido de <https://energitysa.com/blog/radiacion-solar-en-ecuador/>
- FAO. (2021). Obtenido de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- Freire, M. (22 de Agosto de 2018). *STD*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/246/2461061007/html/index.html>
- Fuertes, M. J. (2014). *Análisis de los coeficientes de escorrentía y su relación con el cambio de cobertura vegetal de la cuenca superior del rio Catamayo*. Loja: Repositorio Gigital- UNL. Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11972>
- GAD CATAMAYO. (2018). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de cantòn Catamayo actualizacion-2018*. Catamayo. Obtenido de [pdyot\\_2018.pdf](#)
- Gao, Y. Y. (2014). winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): crop coefficients, water use estimates and. *Agricultural Water Management*, 146, 1-10.
- García, A. F. (2015). Analisis de datos: Ajuste de datos: Regresión. *Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/regresion/regresion.html>
- Garrido, J. (2021). *Teledetección aplicada a la contabilidad del agua de riego sobre diferentes escalas espaciales y temporales de gestión: desde la parcela hasta la demarcación hidrográfica*. Castilla- La Mancha. Obtenido de <file:///C:/Users/carmen%20castillo/Downloads/TESIS%20Garrido%20Rubio.pdf>

- Gonzalez, A., Alvarez, P., Gonzalez, M., & Aguirre, Z. (2015). *Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentia de la cuenca del río Catamayo, Ecuador*. Loja: CEDAMAZ. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/61/60>
- Gonzalez, R. (22 de marzo de 2019). *RGG*. Obtenido de <https://gonzalezgouveia.com/que-es-r-y-rstudio/>
- GreenFacts. (2020). *Agricultura y Desarrollo*. Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/agricultura-desarrollo/1-2/4-amenaza-cambio-climatico.htm>
- Guevara, J. (2006). *La fórmula de penman-monteith fao 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo*. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela: Terra Nueva Etapa, vol. XXII. num. 31, 2006, pp. 31-72. doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103103>
- Hengl, T., & Sparks, A. H. (2016). *Trabajo con datos espaciales y climáticos de GSODR y GSODRdata*. doi: <http://chelsea-climate.org>
- Hernandez, D. R., Mateus, D., & Orduz, J. O. (2014). *Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahiti (Citrus latifolia Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia*. Colombia: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732014000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732014000200005&script=sci_arttext)
- Herrera, C. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, Mexico*. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. Obtenido de [https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/#redalyc\\_67452917005\\_ref9](https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/#redalyc_67452917005_ref9)

- Hora32. (2022). Lo que produce la provincia de Loja. *Hora 32*. Obtenido de <https://hora32.com.ec/lo-que-produce-la-provincia-de-loja/>
- Intagri. (2015). El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo. *Intagri S.C.*
- Juárez, J. (2020). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262016000100003&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262016000100003&script=sci_arttext&tlng=es)
- Larco, K. (26 de Noviembre de 2015). Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/influencia-de-la-codillera-de-los-andes-en-el-ecuador/55565181>
- Loja, M. (2011). *Estudio hidrológico, diseño del alcantarillado pluvial y corrección hidrológica de las quebradas que atraviesan la cabeparroquial de Pachicutza, cantón El Pangui*. El Pangui, Zamora Chinchipe.
- López, R. (Diciembre de 2016). Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de Chile. Obtenido de [https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5cc083a547bfb.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cc083a547bfb.pdf)
- Luna, A. A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG)*. Loja: Repositorio UNL.
- Martinez, L. (2013). *La agricultura familiar en el Ecuador*. Obtenido de [https://rimisp.org/wp-content/files\\_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez\\_editado.pdf](https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez_editado.pdf)
- Mseth, E., & C.S. Yu, J. (2014). *Mejora en los calendarios de cultivo para agricultura de secano en ceja de selva*. Perú: Scientia Agropecuaria. Obtenido de <http://www.sci-agropecu.unitru.edu.pe/>

- Muñoz, e. a. (2015). *Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz*. Mexico: Bosque 36: 395-407. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002015000300007](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000300007)
- Ordóñez, J. (2011). *Ciclo hidrológico*. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)
- Ordóñez, J. (2011). *Global Water Patnership*. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)
- PDOT-CATAMAYO. (26 de enero de 2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Catamayo*. Obtenido de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Catamayo: <https://catamayo.gob.ec/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-canton-catamayo/>
- Peña, J., & Larrahondo, E. (2017). *Comparacion de metodos de estimacion de datos faltantes en series de precipitacion diaria en el valle del Cauca*. Satiago de Cali, Colombia: Repositorio: Universidad del Valle.
- Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la provincia de Loja. (2000).
- Quezada, R. C. (2019). Economía del canton Loja. *La Hora*. Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/opinion/economia-del-canton-loja/>
- Ramos, D. (2017). Obtenido de <https://mappinggis.com/2017/10/que-podemos-hacer-con-qgis-en-el-campo-de-la-teledeteccion/>
- Rios, E. (2011). *Estimación de observaciones faltantes mediante la media aritmetica y su efecto en el análisis de componentes principales*. Lima, Perú. Obtenido de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5791/Rios\\_te.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5791/Rios_te.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Rodrigo, R. (24 de agosto de 2021). *Estudiando se puede ser siempre mejor*. Obtenido de <https://estudyando.com/evapotranspiracion-definicion-formula-y-calculo/>
- Rodríguez, C. (2017). *Propuesta metodologica para la zonificación de requerimientos hidricos por cultivo*. Colombia: Good Stuff International- GSI-LAC.
- Rodriguez, E. (septiembre de 2021). *PNUD conocimiento*. Obtenido de <https://pnud-conocimiento.cr/wp-content/uploads/2022/03/Manual-de-uso-del-Software-Qgis-V2.pdf>
- Saravia, J.-C. (10 de marzo de 2015). *Stats SOS*. Obtenido de <https://statssos.wordpress.com/2015/03/10/pero-que-linda-relacion-tienen-la-correlacion-de-pearson/>
- Toro, M., Arteaga Ramirez, R., Vasquez Peña, M. A., & Ibañez Castillo, L. A. (2015). *Modelos para estimar la evapotranspiración de referencia en la zona norte bananera del Urabà Antioqueño (Colombia)*. Texcoco: Agrociencia, 49(8), 821-836.  
Recuperado el 22 de agosto de 2023, de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952015000800001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000800001)
- Trezza, R. (2008). *Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en venezuela. ¿Cuál método utilizar?* Venezuela: Biagro- SciELO.
- TuTiempo.net. (2022). Obtenido de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/catamayo.html>
- Vásquez, J. (2023). Siembra y cosecha de agua. "*Perspectivas de investigacion*" *Vaasa Wildlie Festival 2022*. Obtenido de <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/paramos-donde-nace-la-vida-siembra-y-cosecha-de-agua/>
- Vasquez, R. (2021). *Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de México*. México: Universidad Autonoma de Queretano.

Obtenido de file:///C:/Users/carmen%20castillo/Downloads/Dialnet-

HabilidadDeEstimacionDeLosMetodosDeEvapotranspirac-4181976.pdf

Vega, E. C., & Jara, J. C. (2009). *Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa Y Región Andina) del Ecuador*. Departamento de recursos Hidricos. Associacao Brasileira de Engenharia Agricola. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000300006>

Veto. Cl. (octubre de 2020). *La importancia de la evapotranspiracion en la agricultura*.

Obtenido de <https://blog.veto.cl/2020/10/31/la-importancia-de-la-evapotranspiracion-en-la-agricultura/>

Villazón, J. A. (junio de 2021). Determinación de la precipitacion efectiva en areas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Scielo, Vol.39(no.2)*.

doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000200085>

WEATHER. (2022). *Clima y previcion meteorologica mensual Catamayo, Ecuador*.

Obtenido de <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/catamayo-clima>

WINDFINDER. (2022). *Viento anual y estadísticas meteorológicas para Catamayo*

*Aeropuerto*. Obtenido de Viento anual y estadísticas meteorológicas para Catamayo

Aeropuerto: [https://es.windfinder.com/windstatistics/catamayo\\_2](https://es.windfinder.com/windstatistics/catamayo_2)

## 11. Anexos

### Anexo I.

#### Base de datos de Precipitación

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	Media
1990	20,2	76,4	37,5	94	18,4	5,3	14,5	0	7,3	36,7	36,5	17,4	364,2	30
1991	64,1	33,3	154	8,1	45,7	7	2,2	0	13,3	9,3	15,1	30,5	382,6	32
1992	22,3	77,1	37	35,3	23,9	7,5	1,1	2,5	12,4	5,9	26,6	14,2	265,8	22
1993	15,3	115,3	140,7	65	9,4	0,4	1	0	23,7	52,8	8,7	145,4	577,7	48
1994	45,9	37,1	50,2	32	10,8	0,9	1	6,1	2,7	45,3	21,1	23,4	276,5	23
1995	3,1	71,8	44,9	38,7	53,8	0,2	3,4	0,7	0,9	49,4	63,6	74,4	404,9	34
1996	61,3	43,9	127,2	37,6	45,8	11	0,1	0	0,1	14,5	0,4	5,4	347,3	29
1997	15,8	64,8	30,8	14,1	0,5	0,4	3	0	1,7	11,7	36,6	19,8	199,2	17
1998	16,6	32,1	100,3	34,4	41,5	0,3	0	26,1	3,9	49,7	10,3	0,3	315,5	26
1999	33,6	67,2	74,7	53,4	24,1	6,7	2,5	5,7	11,4	37,7	23,4	29,7	370,1	31
2000	38,5	68,7	78	53,7	21,6	7,7	2,8	5	11,8	36	23,1	34,6	381,5	32
2001	43,5	50,1	76	35,5	19,3	3,4	2,4	1,9	4,6	0	41,9	67,8	346,4	29
2002	31,1	54,3	78,2	94,2	11	3,9	5,2	0	7,3	43,9	35,6	24,1	388,8	32
2003	32	64	71	51	23	6,4	2,4	5,4	11	36	22,2	28,2	352,6	29
2004	17,1	60,8	30	105,1	25,6	9,4	7,5	7,5	58	44,9	81,1	91,8	538,8	45
2005	30,3	105,8	161,7	59,1	44,7	16,4	9	7,5	9,2	46,9	35	115,6	641,2	53
2006	57,5	100,3	134,6	77,6	41,8	16,1	10,4	11,9	35,7	47,6	67	68,5	669,0	56
2007	47,8	67,0	108,9	66,9	28,0	10,6	6,8	8,6	23,6	34,0	29,0	40,0	471,2	39
2008	38,1	66,6	83,3	56,1	27,6	5,0	3,2	5,3	11,4	33,7	28,6	39,6	398,5	33
2009	41,4	33,1	41,6	33,6	23,9	21,3	26,4	27,6	26,3	29,1	20,6	38,5	363,4	30
2010	27,1	36,8	24,5	30,3	29,3	30,6	21,6	24,5	27,3	22,2	27,2	31,3	332,6	28
2011	26,8	55,4	41,1	45,6	32,5	26,4	35,2	26,2	33,0	31,3	45,8	47,3	446,5	37
2012	44,1	54,7	27,3	34,5	31,5	31,5	20,0	21,3	18,4	30,8	56,3	35,0	405,4	34
2013	35,5	55,1	34,2	40,0	32,0	29,0	27,6	23,7	25,7	31,0	51,1	41,2	426,0	35
<b>S.T</b>	809,0	1491,7	1787,7	1195,8	665,6	257,4	209,1	217,5	380,8	780,3	806,7	1064,1	9665,7	805,5
<b>Prom</b>	33,7	62,2	74,5	49,8	27,7	10,7	8,7	9,1	15,9	32,5	33,6	44,3	402,7	33,6
<b>Máx</b>	64,1	115,3	161,7	105,1	53,8	31,5	35,2	27,6	58,0	52,8	81,1	145,4	669,0	55,8
<b>Min</b>	3,1	32,1	24,5	8,1	0,5	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,3	199,2	16,6
<b>DS</b>	15,1	21,8	42,5	23,9	12,9	9,9	9,8	9,7	13,4	14,6	19,1	33,7	109,3	9,1

## Anexo 2.

### Base de datos de Temperatura máxima

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	Media
1990	34,0	33,2	33,0	33,0	33,0	31,2	32,0	34,4	34,1	34,2	34,0	33,9	400,0	33,3
1991	33,7	34,7	32,8	34,0	32,8	33,8	31,2	31,4	33,6	34,2	35,7	34,6	402,5	33,5
1992	34,8	33,4	33,8	34,0	33,6	32,2	30,8	33,8	33,8	36,1	34,9	34,8	406,0	33,8
1993	34,2	32,2	31,8	32,8	32,8	31,5	32,6	32,2	33,2	33,8	35,0	32,8	394,9	32,9
1994	31,0	31,8	32,7	33,5	33,0	32,6	34,2	33,0	34,6	35,8	34,2	34,1	400,5	33,4
1995	34,6	33,0	34,0	32,7	34,3	33,8	33,3	34,2	34,0	34,8	34,2	34,3	407,2	33,9
1996	32,1	32,0	32,3	32,1	32,0	31,8	32,6	33,0	34,0	33,6	36,3	33,8	395,6	33,0
1997	33,4	31,6	34,8	33,8	32,0	33,8	32,4	31,8	35,2	35,8	33,3	33,4	401,3	33,4
1998	33,4	35,0	34,0	34,4	33,0	33,0	33,6	33,8	35,1	36,0	34,4	35,6	411,3	34,3
1999	33,8	32,8	32,3	31,2	31,0	32,6	31,9	33,3	33,4	33,6	33,8	32,2	391,9	32,7
2000	33,2	32,9	31,4	31,6	31,6	32,2	32,0	33,8	34,8	35,6	35,4	35,8	400,3	33,4
2001	32,8	33,8	32,8	34,4	33,1	31,9	32,0	32,8	35,2	35,4	35,2	35,2	404,6	33,7
2002	33,0	33,6	33,6	33,0	33,1	31,8	32,9	34,2	35,4	34,1	33,9	34,1	402,7	33,6
2003	34,6	35,5	33,5	33,8	33,0	32,9	32,2	32,5	35,4	35,4	34,5	34,6	407,9	34,0
2004	35,4	33,5	34,5	33,5	34,5	30,6	33,8	32,5	33,0	35,5	35,0	34,3	406,1	33,8
2005	34,5	33,8	33,2	35,0	34,3	32,6	34,1	33,6	34,5	34,6	35,0	34,9	410,1	34,2
2006	34,1	33,2	33,5	33,5	33,6	33,4	32,5	32,8	34,4	35,8	35,9	34,4	407,1	33,9
2007	33,8	34,9	34,5	32,8	33,5	31,0	33,9	33,3	34,3	35,8	33,4	34,4	405,6	33,8
2008	32,0	32,3	33,0	32,5	32,5	33,5	33,0	35,4	34,6	35,5	34,5	34,0	402,8	33,6
2009	32,6	32,2	33,4	33,5	34,1	34,5	34,4	34,0	34,0	35,5	37,5	36,1	411,8	34,3
2010	33,4	34,5	33,6	37,0	35,0	31,8	35,0	34,2	35,0	35,1	35,2	33,8	379,8	34,5
2011	34,5	34,7	33,6	32,5	33,6	33,9	32,6	33,6	35,0	35,6	35,0	34,8	409,4	34,1
2012	34,5	31,8	34,8	34,2	35,4	32,9	31,4	34,2	34,0	35,2	35,2	35,0	408,6	34,1
2013	34,5	31,8	34,8	34,2	35,4	32,9	31,4	34,2	34,0	35,2	35,2	35,0	408,6	34,1
<b>S.T</b>	807,9	798,2	801,7	803,0	800,2	782,2	785,8	802,0	824,6	842,2	836,7	792,1	9676,6	809,3
<b>Prom</b>	<b>33,7</b>	<b>33,3</b>	<b>33,4</b>	<b>33,5</b>	<b>33,3</b>	<b>32,6</b>	<b>32,7</b>	<b>33,4</b>	<b>34,4</b>	<b>35,1</b>	<b>34,9</b>	<b>34,4</b>	<b>403,2</b>	<b>33,7</b>
<b>Máx</b>	35,4	35,5	34,8	37,0	35,4	34,5	35,0	35,4	35,4	36,1	37,5	36,1	411,8	34,5
<b>Min</b>	31,0	31,6	31,4	31,2	31,0	30,6	30,8	31,4	33,0	33,6	33,3	32,2	379,8	32,7
<b>DS</b>	1,0	1,1	0,9	1,2	1,1	1,0	1,1	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	7,1	0,5

### Anexo 3.

#### Base de datos de Temperatura mínima

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	Media
1990	13,8	15,9	15,4	16,0	13,3	15,8	13,0	14,5	14,5	15,5	15,3	13,0	176,0	14,7
1991	16,7	16,0	15,5	14,8	15,4	14,6	12,4	13,8	14,8	14,0	14,3	16,2	178,5	14,9
1992	16,0	15,3	16,3	14,0	16,5	15,1	13,7	14,3	15,4	15,4	13,7	15,1	180,8	15,1
1993	15,8	14,7	16,0	15,7	13,8	12,3	14,8	13,7	13,8	16,0	14,5	14,4	175,5	14,6
1994	16,1	15,7	13,8	15,8	14,0	12,5	13,2	12,7	12,9	13,0	16,2	16,2	172,1	14,3
1995	14,8	15,6	16,4	16,2	14,6	14,5	14,2	14,5	14,6	15,3	16,1	13,2	180,0	15,0
1996	15,8	15,7	17,0	14,7	14,6	13,0	12,3	14,0	14,8	14,6	10,0	15,0	171,5	14,3
1997	15,0	16,2	15,4	16,4	16,1	14,8	16,0	14,4	12,0	16,8	15,6	17,0	185,7	15,5
1998	17,0	18,0	17,8	16,2	15,0	13,8	14,0	14,0	13,2	14,8	12,0	12,0	177,8	14,8
1999	12,8	16,0	16,0	15,0	13,2	14,8	11,2	12,5	14,6	14,0	14,0	15,8	169,9	14,2
2000	14,4	16,2	16,5	14,0	14,2	14,4	13,0	13,0	14,4	8,5	11,4	13,8	163,8	13,7
2001	16,1	15,0	16,2	13,8	15,0	14,1	14,2	13,8	13,8	16,0	13,0	16,2	177,2	14,8
2002	11,4	9,4	16,5	16,5	14,5	14,6	12,0	14,2	14,6	15,8	16,3	16,4	172,2	14,4
2003	15,0	16,8	17,0	14,8	15,8	15,0	12,4	14,7	16,0	15,1	14,5	16,7	183,8	15,3
2004	13,0	15,4	17,4	16,2	15,2	15,2	13,8	12,5	15,2	15,8	14,8	16,0	180,5	15,0
2005	16,0	17,6	17,0	16,0	10,0	13,9	13,0	14,0	15,4	15,5	9,9	13,0	171,3	14,3
2006	16,0	17,0	17,4	14,6	13,5	12,7	13,4	14,3	14,1	10,0	15,8	15,4	174,2	14,5
2007	15,8	15,5	15,6	16,8	14,3	14,0	13,9	13,4	14,1	13,7	16,4	13,0	176,5	14,7
2008	16,9	15,8	16,9	15,6	13,9	11,4	12,3	14,0	14,4	16,0	15,2	16,0	178,4	14,9
2009	16,5	16,2	16,0	15,2	15,4	14,8	14,0	14,0	14,5	16,2	13,5	16,8	183,1	15,3
2010	16,0	17,4	18,0	16,6	17,2	16,2	14,0	13,0	14,6	15,5	14,2	18,7	191,4	16,0
2011	16,0	16,6	14,5	16,0	13,0	14,8	15,1	13,0	15,5	12,1	14,0	16,0	176,6	14,7
2012	15,8	15,9	15,8	15,0	14,7	15,4	14,4	13,5	16,0	13,1	14,0	16,1	179,4	15,0
2013	15,5	15,2	17,0	14,0	16,4	16,0	13,6	14,0	16,4	14,0	14,0	16,1	182,2	15,2
<b>S.T</b>	368,2	379,1	391,4	369,9	349,6	343,7	323,9	329,8	349,6	346,7	338,7	368,1	4258,4	354,9
<b>Prom</b>	15,3	15,8	16,3	15,4	14,6	14,3	13,5	13,7	14,6	14,4	14,1	15,3	177,4	14,8
<b>Máx</b>	17,0	18,0	18,0	16,8	17,2	16,2	16,0	14,7	16,4	16,8	16,4	18,7	191,4	16,0
<b>Min</b>	11,4	9,4	13,8	13,8	10,0	11,4	11,2	12,5	12,0	8,5	9,9	12,0	163,8	13,7
<b>DS</b>	1,4	1,6	1,0	0,9	1,4	1,2	1,1	0,6	1,0	1,9	1,8	1,6	5,7	0,5

## Anexo 4.

### Base de datos de Temperatura media

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1990	24,7	24,1	24,8	23,8	24,4	24,9	24,3	25,3	25,6	24,6	25,1	24,8	296,4
1991	24,7	25,0	24,5	24,8	24,9	25,1	24,3	24,3	25,5	25,1	25,2	25,5	298,9
1992	25,4	24,6	25,5	24,9	25,1	25,1	24,1	25,3	24,8	25,7	25,3	24,9	300,7
1993	24,7	23,4	23,1	24,2	24,5	24,8	24,6	25,0	24,6	24,9	25,0	24,2	293,0
1994	23,3	23,7	23,8	24,1	24,7	24,4	24,6	24,2	25,6	25,3	25,0	25,5	294,2
1995	25,6	24,6	24,9	25,0	24,5	25,3	25,0	25,4	25,3	25,2	24,2	23,7	298,7
1996	23,3	23,5	23,5	23,8	24,2	24,2	24,0	24,6	25,5	24,1	24,3	25,1	290,1
1997	23,4	24,4	25,0	23,1	25,3	25,3	25,3	25,6	26,1	25,8	24,8	25,4	299,5
1998	25,4	25,9	25,5	25,5	25,3	24,6	24,6	25,0	25,4	24,9	24,9	25,1	302,1
1999	24,0	22,9	23,2	23,7	23,1	23,7	23,8	24,5	24,0	24,7	24,8	22,3	284,7
2000	23,2	22,7	22,6	23,1	23,5	23,4	24,0	24,3	24,0	25,4	24,9	24,7	285,8
2001	24,0	23,9	23,7	24,5	24,4	24,3	24,6	25,0	24,7	25,8	24,7	24,9	294,5
2002	24,5	24,0	24,7	24,0	25,1	24,4	24,6	25,2	25,9	25,0	24,6	25,1	297,1
2003	25,1	25,0	24,4	24,6	24,9	24,4	24,5	25,6	25,6	25,6	25,0	24,5	299,2
2004	24,6	24,6	24,8	24,5	24,8	24,6	24,3	25,0	25,0	24,6	24,9	24,8	296,5
2005	25,1	24,2	23,9	24,8	24,5	24,5	25,0	25,3	25,8	24,4	24,7	23,6	295,8
2006	23,9	24,1	24,0	24,3	24,9	24,3	25,2	25,9	25,9	25,8	24,7	24,7	297,7
2007	25,6	24,4	24,6	24,3	24,1	23,8	25,0	24,7	25,4	24,6	24,3	24,1	294,9
2008	23,9	22,8	23,5	23,4	23,4	23,8	23,6	24,3	25,3	24,7	24,5	24,3	287,5
2009	23,5	23,9	24,3	24,6	24,9	24,7	24,9	25,1	26,2	26,1	25,8	25,7	299,7
2010	25,2	25,2	25,8	25,8	25,4	24,5	24,6	25,1	25,0	25,4	24,0	23,5	299,5
2011	24,1	23,5	23,8	23,7	24,2	24,7	23,9	25,4	25,0	24,3	24,3	23,8	290,7
2012	27,7	23,7	25,3	26,0	24,8	24,8	24,2	25,5	24,7	25,4	25,4	25,2	302,7
2013	27,7	23,7	25,3	26,0	24,8	24,8	24,2	25,5	24,7	25,4	25,4	25,2	302,7
<b>S.T</b>	592,6	577,8	584,5	586,5	589,7	588,4	587,2	601,1	605,6	602,8	595,8	590,6	7102,6
<b>T.med</b>	<b>24,7</b>	<b>24,1</b>	<b>24,4</b>	<b>24,4</b>	<b>24,6</b>	<b>24,5</b>	<b>24,5</b>	<b>25,0</b>	<b>25,2</b>	<b>25,1</b>	<b>24,8</b>	<b>24,6</b>	<b>295,9</b>
<b>Máx</b>	27,7	25,9	25,8	26,0	25,4	25,3	25,3	25,9	26,2	26,1	25,8	25,7	302,7
<b>Mín</b>	23,2	22,7	22,6	23,1	23,1	23,4	23,6	24,2	24,0	24,1	24,0	22,3	284,7
<b>DS</b>	1,2	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,8	5,0

## Anexo 5.

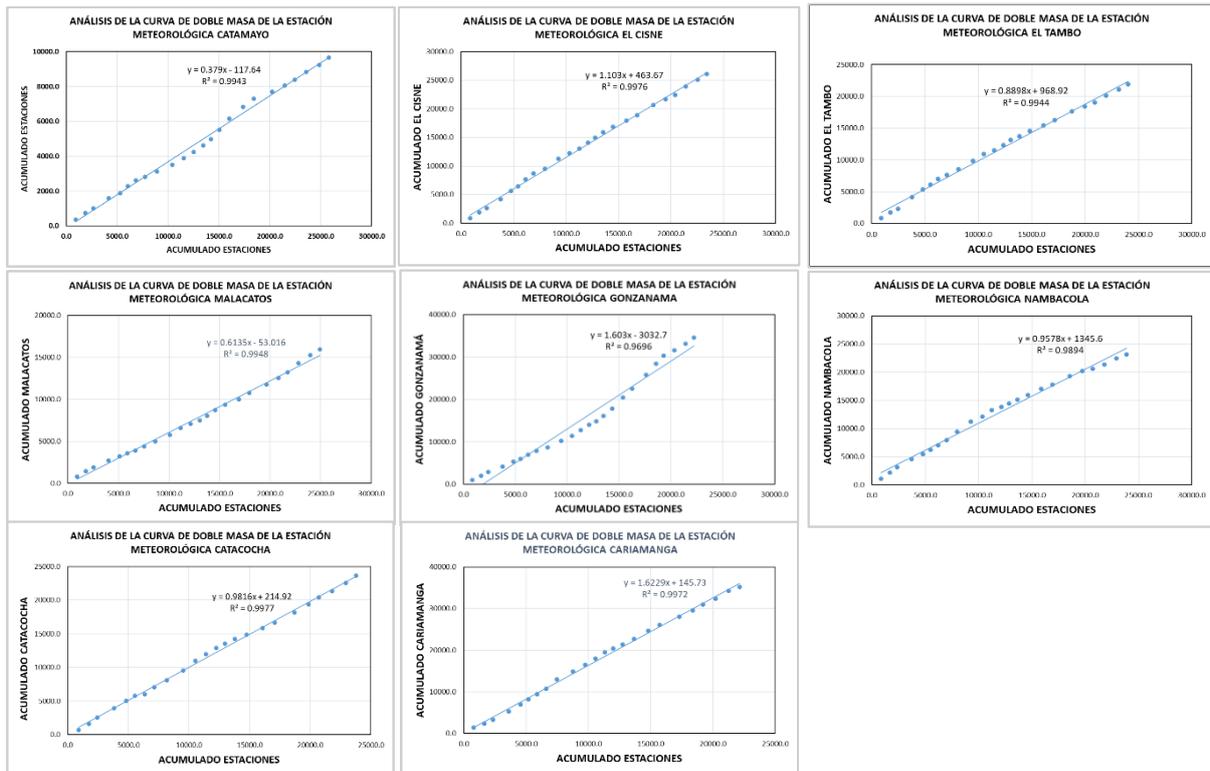
### Análisis de consistencia de Precipitación, Tmax, min, media.

PRECIPITACION														
AÑO	ESTACIONES CONSIDERADAS								ESTACION EN ESTUDIO					
	EL CISNE	EL TAMBO	MALACATOS	GONZANAMA	NAMBACOLA	CATACOCHA	CARIAMANGA	SUMA PREC.	PREC. MEDIA	PREC. ACUM.	CATAMAYO			
											PREC.	PREC. ACUM.	PREC. ACUM.	PREC. ACUM.
1990	878,9	838,5	793,2	943,5	1070,5	689,1	1413,2	6626,8	946,7	946,7	364,2	364,2	946,7	364,2
1991	980,6	871,3	668,8	1018,4	1131,2	965,2	932,9	6568,4	938,3	1885,0	382,6	746,8	1885,0	746,8
1992	782,1	612,4	445,8	904,8	924,3	878,8	928,7	5476,9	782,4	2667,4	265,8	1012,6	2667,4	1012,6
1993	1535,8	1813,5	823,7	1318,0	1448,0	1390,5	2032,0	10361,5	1480,2	4147,7	577,7	1590,3	4147,7	1590,3
1994	1432,4	1224,5	509,8	1098,4	889,1	1118,1	1706,6	7978,8	1139,8	5287,5	276,5	1866,8	5287,5	1866,8
1995	833,2	725,4	357,5	685,4	743,0	739,9	1192,8	5277,2	753,9	6041,4	404,9	2271,7	6041,4	2271,7
1996	1184,8	889,5	291,3	1007,5	815,0	262,9	1181,6	5632,6	804,7	6846,0	347,3	2619,0	6846,0	2619,0
1997	1042,1	672,0	497,5	843,3	917,0	1046,4	1309,7	6327,9	904,0	7750,0	199,2	2818,2	7750,0	2818,2
1998	806,3	865,0	592,6	873,4	1531,4	1000,6	2297,5	7966,9	1138,1	8888,1	315,5	3133,7	8888,1	3133,7
1999	1753,4	1322,4	783,9	1513,8	1766,2	1484,2	1894,6	10518,5	1502,6	10390,8	370,1	3503,8	10390,8	3503,8
2000	970,1	1092,5	828,6	1216,0	854,7	1399,6	1566,5	7928,0	1132,6	11523,4	381,5	3885,3	11523,4	3885,3
2001	808,6	596,1	497,4	1343,8	1178,9	987,8	1528,5	6941,1	991,6	12514,9	346,4	4231,7	12514,9	4231,7
2002	1065,8	783,4	413,2	1234,7	564,5	958,4	1508,7	6528,7	932,7	13447,6	388,8	4620,5	13447,6	4620,5
2003	876,3	819,2	532,7	792,8	638,8	629,5	967,8	5255,1	750,7	14198,3	352,6	4973,1	14198,3	4973,1
2004	915,1	628,1	674,8	1280,0	634,9	682,9	897,7	5713,6	816,2	15014,6	538,8	5511,9	15014,6	5511,9
2005	1005,4	779,4	638,4	1792,4	810,6	647,9	1297,5	6971,6	995,9	16010,5	641,2	6153,1	16010,5	6153,1
2006	1083,0	928,9	664,8	2611,5	1146,3	944,9	1961,8	9341,2	1334,5	17345,0	669,0	6822,1	17345,0	6822,1
2007	905,2	810,7	757,0	2042,3	723,4	833,7	1473,9	7546,2	1078,0	18423,0	471,2	7293,3	18423,0	7293,3
2008	1809,1	1411,8	1008,1	3283,6	1488,6	1491,3	1977,4	12469,8	1781,4	20204,4	398,5	7691,8	20204,4	7691,8
2009	974,0	753,4	783,9	2643,9	928,1	1220,2	1500,6	8804,2	1257,7	21462,1	363,4	8055,2	21462,1	8055,2
2010	771,4	635,4	670,4	1904,6	367,7	1058,2	1366,1	6773,8	967,7	22429,8	332,6	8387,8	22429,8	8387,8
2011	1520,9	1071,8	1075,6	1241,1	786,6	921,4	1429,6	8047,0	1149,6	23579,4	446,5	8834,3	23579,4	8834,3
2012	1173,1	914,5	940,6	1494,6	1112,1	1221,7	1927,0	8783,5	1254,8	24834,2	405,4	9239,8	24834,2	9239,8
2013	972,4	855,4	681,2	1527,3	645,2	1071,6	916,8	6669,8	952,8	25787,0	426,0	9665,7	25787,0	9665,7

TEMPERATURA MAXIMA										
AÑO	ESTACIONES CONSIDERADAS						ESTACION EN ESTUDIO			
	MALACATOS	GONZANAMA	CARIAMANGA	SUMA Tmax.	Tmax. MEDIA	Tmax. ACUM.	CATAMAYO		Tmax. ACUM.	Tmax. ACUM.
							Tmax.	Tmax. ACUM.	Tmax. ACUM.	Tmax. ACUM.
1990	338,9	301,6	319,6	960,1	320,0	320,0	400,0	400,0	320,0	400,0
1991	344,8	316,9	310,5	972,2	324,1	644,1	402,5	802,5	644,1	802,5
1992	373,8	312,9	328,0	1014,7	338,2	982,3	406,0	1208,5	982,3	1208,5
1993	343,8	299,7	316,0	959,5	319,8	1302,2	394,9	1603,4	1302,2	1603,4
1994	346,4	311,6	329,4	987,4	329,1	1631,3	400,5	2003,9	1631,3	2003,9
1995	356,0	306,3	337,8	1000,1	333,4	1964,7	407,2	2411,1	1964,7	2411,1
1996	346,9	311,6	325,1	983,5	327,8	2292,5	395,6	2806,7	2292,5	2806,7
1997	358,9	310,3	322,7	991,9	330,6	2623,1	401,3	3208,0	2623,1	3208,0
1998	345,5	311,9	330,3	987,7	329,2	2952,3	411,3	3619,3	2952,3	3619,3
1999	352,2	301,3	323,0	976,5	325,5	3277,8	391,9	4011,2	3277,8	4011,2
2000	348,9	304,2	319,5	972,6	324,2	3602,0	400,3	4411,5	3602,0	4411,5
2001	344,6	303,6	316,0	964,2	321,4	3923,4	404,6	4816,1	3923,4	4816,1
2002	352,1	305,5	316,3	973,9	324,6	4248,0	402,7	5218,8	4248,0	5218,8
2003	348,4	306,7	322,3	977,3	325,8	4573,8	407,9	5626,7	4573,8	5626,7
2004	371,3	307,7	317,5	996,5	332,2	4906,0	406,1	6032,8	4906,0	6032,8
2005	354,5	306,8	319,0	980,3	326,8	5232,8	410,1	6442,9	5232,8	6442,9
2006	352,6	308,0	322,3	982,9	327,6	5560,4	407,1	6850,0	5560,4	6850,0
2007	341,2	307,7	319,9	968,8	322,9	5883,3	405,6	7255,6	5883,3	7255,6
2008	330,2	303,3	317,6	951,1	317,0	6200,4	402,8	7658,4	6200,4	7658,4
2009	339,3	304,0	308,7	952,0	317,3	6517,7	411,8	8070,2	6517,7	8070,2
2010	339,7	305,7	301,2	946,6	315,5	6833,2	379,8	8450,0	6833,2	8450,0
2011	333,0	299,7	314,1	946,7	315,6	7148,8	409,4	8859,4	7148,8	8859,4
2012	332,2	302,4	319,7	954,3	318,1	7466,9	408,6	9268,0	7466,9	9268,0
2013	317,1	302,4	320,1	939,6	313,2	7780,1	408,6	9676,6	7780,1	9676,6

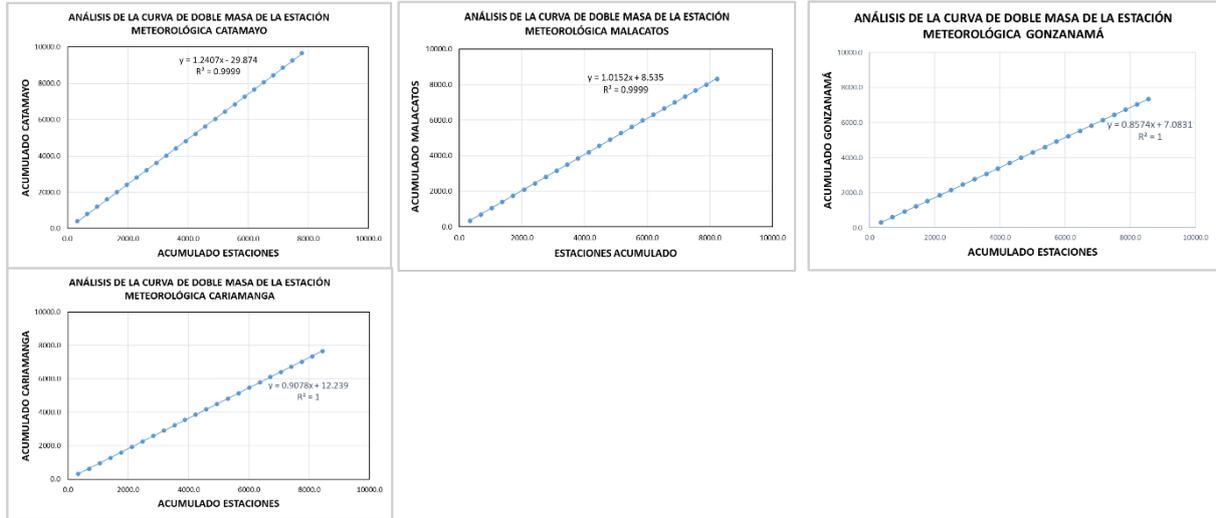
## Anexo 6.

### Análisis de la curva de doble masa de Precipitación



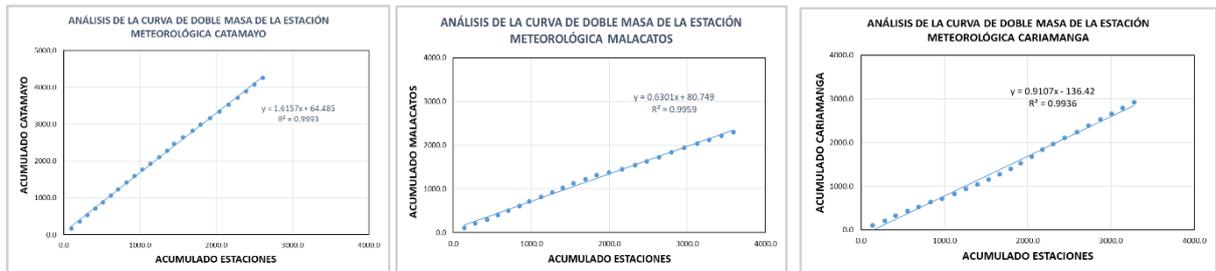
## Anexo 7.

### Análisis de la curva de doble masa de Temperatura máxima



## Anexo 8.

### Análisis de consistencia de datos de Temperatura mínima



## Anexo 9.

### Duración máxima diaria media de las horas de insolación N

Tabla N° 2: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes.

Latit. Norte Latitud Sur	Ene. Jul.	Feb. Ago.	Mar. Set.	Abr. Oct.	May. Nov.	Jun. Dic.	Jul. Ene.	Ago. Feb.	Set. Mar.	Oct. Abr.	Nov. May.	Dic. Jun.
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48°	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46°	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44°	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42°	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

## Anexo 10.

### Factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la ETo

Temperatura °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Altitud (m)																				
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1,000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2,000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3,000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89
4,000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.76	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.90

## Anexo 11.

### Factor de ajuste $c$

Tabla N° 9: Factor de ajuste ( $c$ ) en la ecuación de Penman modificada.

Rs mm/día	RH máx = 30%				RH máx = 60%				RH máx = 90%			
U día m/seg	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
	<i>U día / U noche = 4.0</i>											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.90	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.06	1.27
	<i>U día / U noche = 3.0</i>											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
	<i>U día / U noche = 2.0</i>											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	<i>U día / U noche = 1.0</i>											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

## Anexo 12.

### Presión de saturación del valor ( $e_a$ ) en mbar

Temperatura °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$e_a$ mbar	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.3	10.0	10.7	11.5	12.3	13.1	14.0	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6	22.0
Temperatura °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$e_a$ mbar	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8	40.1	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

## Anexo 13.

### Efecto de temperatura $f(T)$ sobre la radiación de onda larga ( $R_{nl}$ )

Tabla N° 6: Efecto de la temperatura  $f(T)$  sobre la radiación de onda larga ( $R_{nl}$ ).

Temperatura °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(T) = dTk^4$	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1

## Anexo 14.

### Efecto entre el número real y el máximo de horas de insolación $f(n/N)$

Tabla N° 8 Efecto de la relación entre el número real y el máximo de horas de fuerte insolación  $f(n/N)$ , sobre la radiación de onda larga ( $R_{nl}$ )

$n/N$	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0
$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N$	0.10	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.37	0.42	0.46	0.51	0.55	0.60	0.64	0.69	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96	1.0

## Anexo 15.

### Efecto de la presión real del vapor de agua $f(ed)$

Tabla N° 7: Efecto de la presión real del vapor de agua  $f(ed)$  sobre la radiación de onda larga ( $R_{nl}$ ).

$ed$ mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$F(ed) = 0.34 - 0.044(ed)^{1/2}$	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06

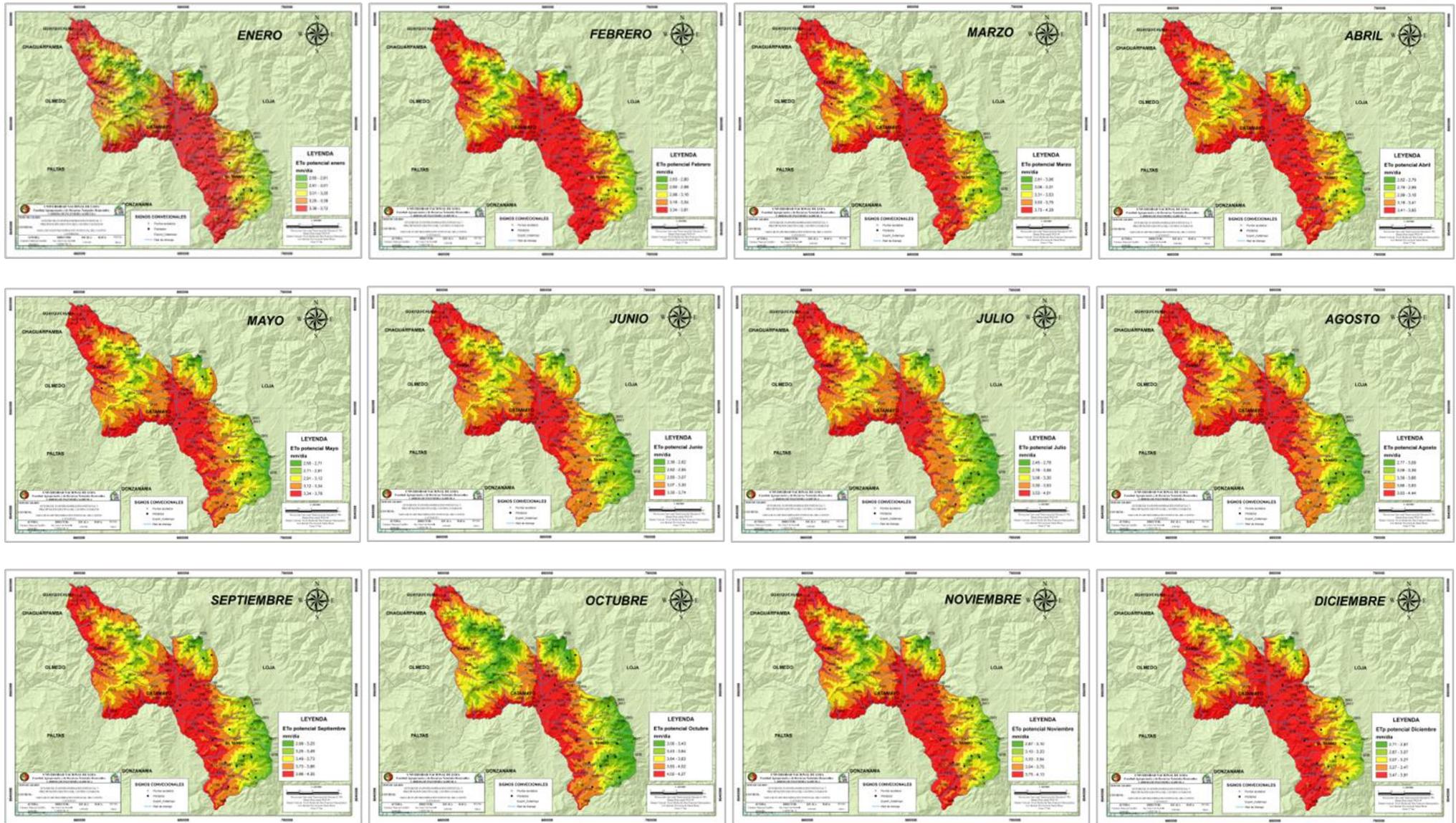
**Anexo 16.**

*Radiación extraterrestre R, en equivalente de evaporación de agua en mm/día.*

Lat.	Hemisferio Sur											
	Ene	Feb.	Marz	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
48°	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
46°	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
44°	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
42°	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
40°	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
38°	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
36°	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
34°	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
32°	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
30°	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28°	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
26°	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24°	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
22°	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
20°	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
18°	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16°	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14°	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12°	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10°	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6°	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2°	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

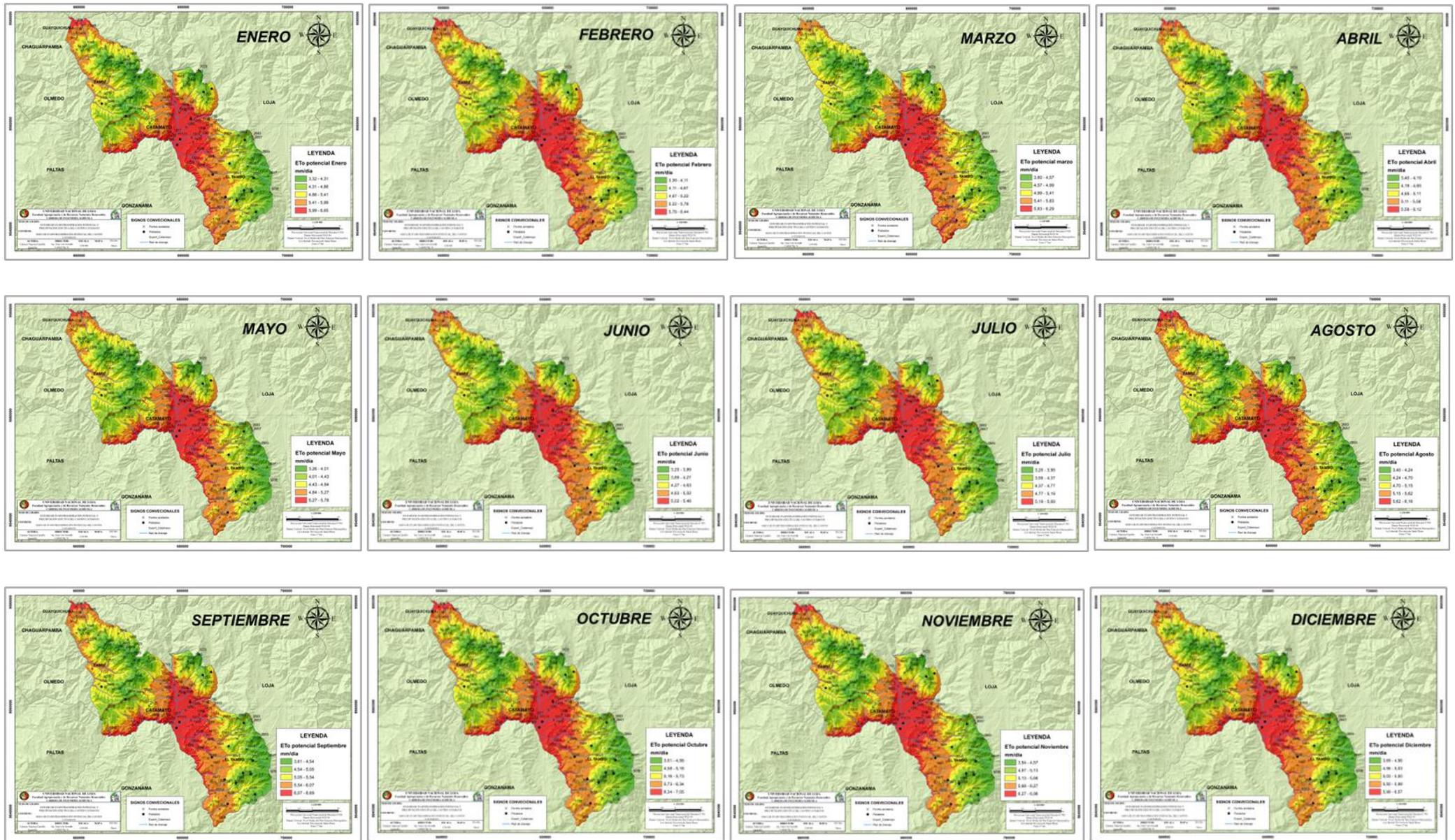
Anexo 17.

Mapas de Evapotranspiración potencial del cantón Catamayo con datos del INAMHI



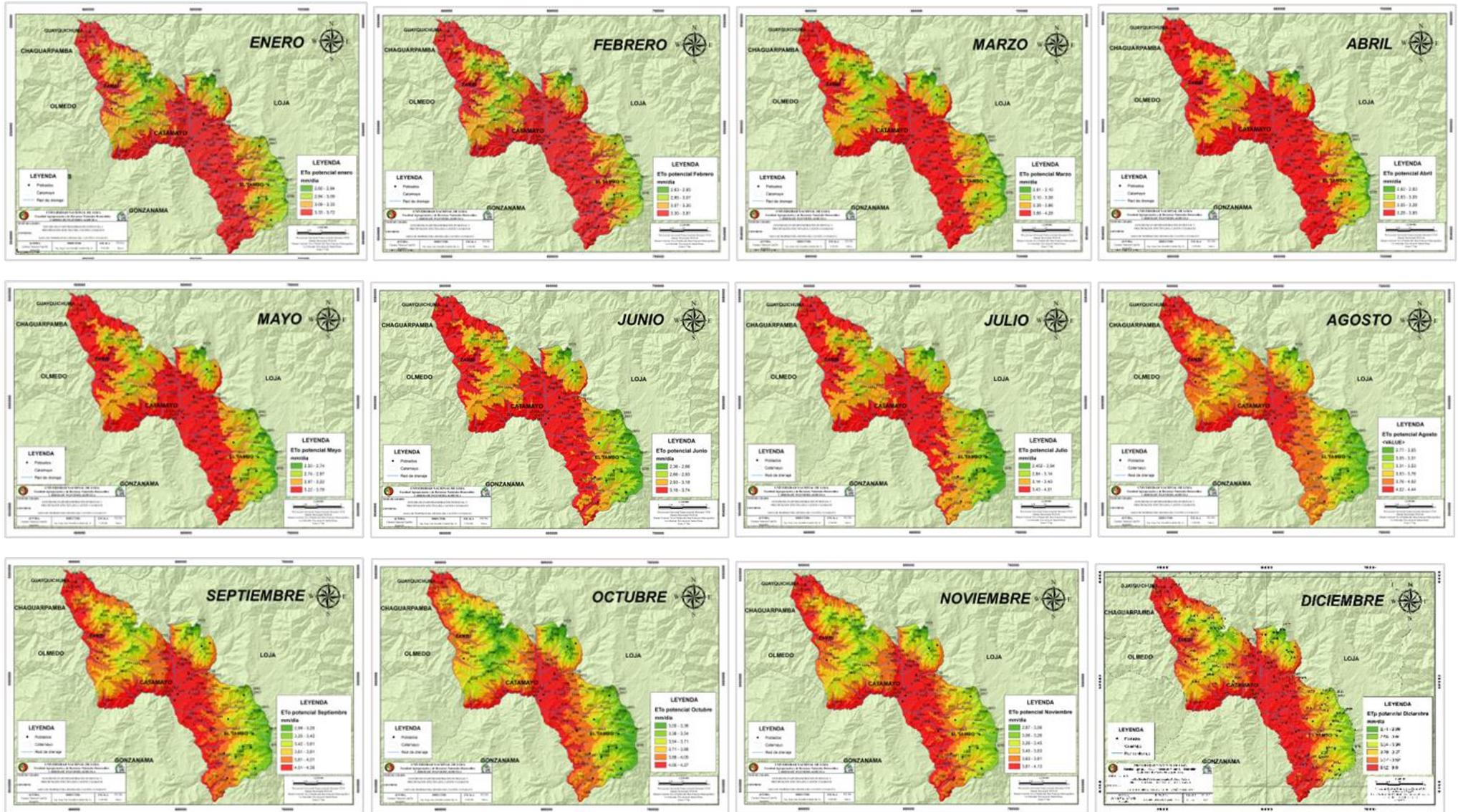
Anexo 18.

Mapas de evapotranspiración potencial del cantón Catamayo- CHLSEA CLIMATE



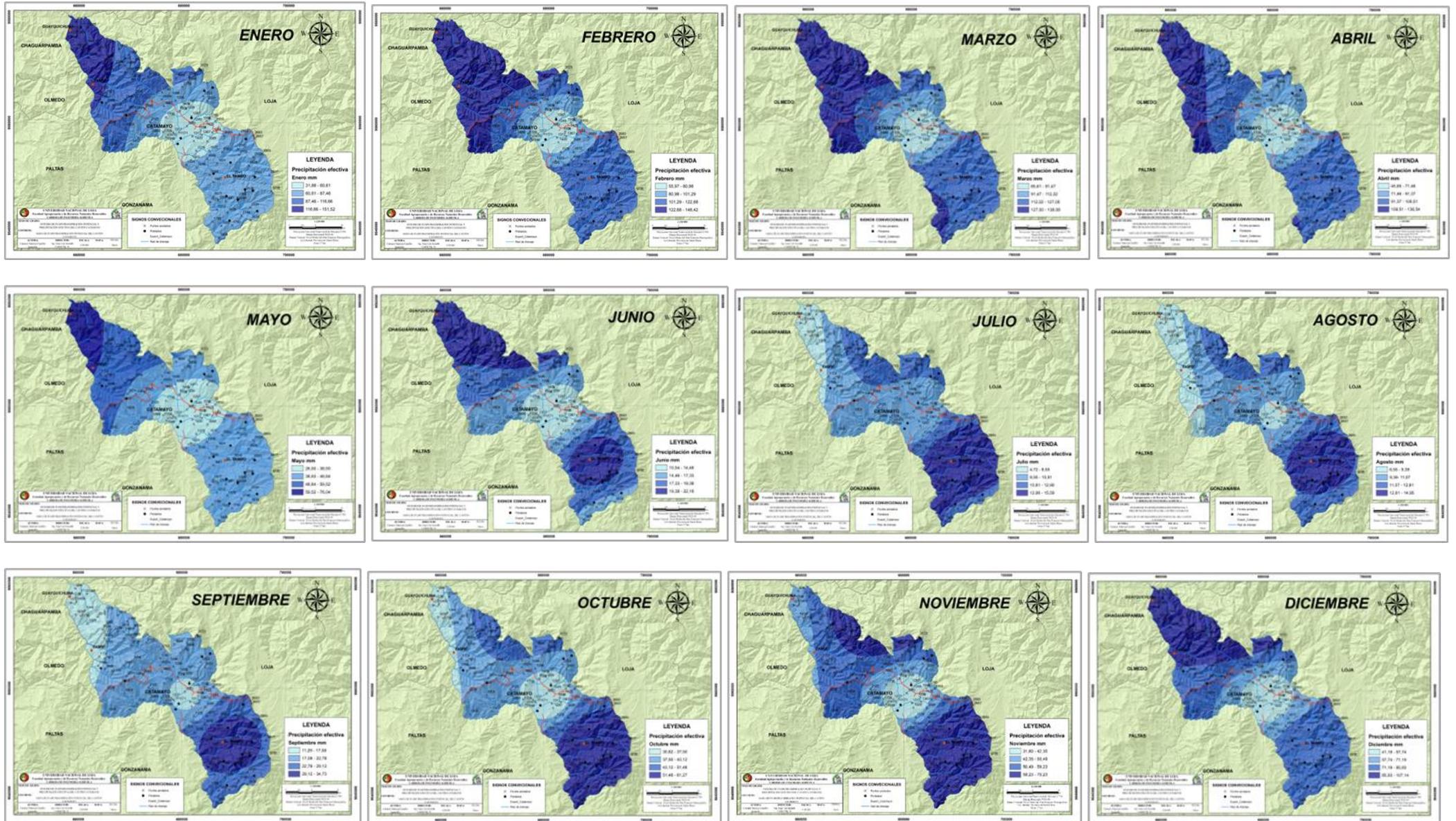
Anexo 19.

Mapas de Evapotranspiración del cantón Catamayo-Penman Monteith- CHLSA



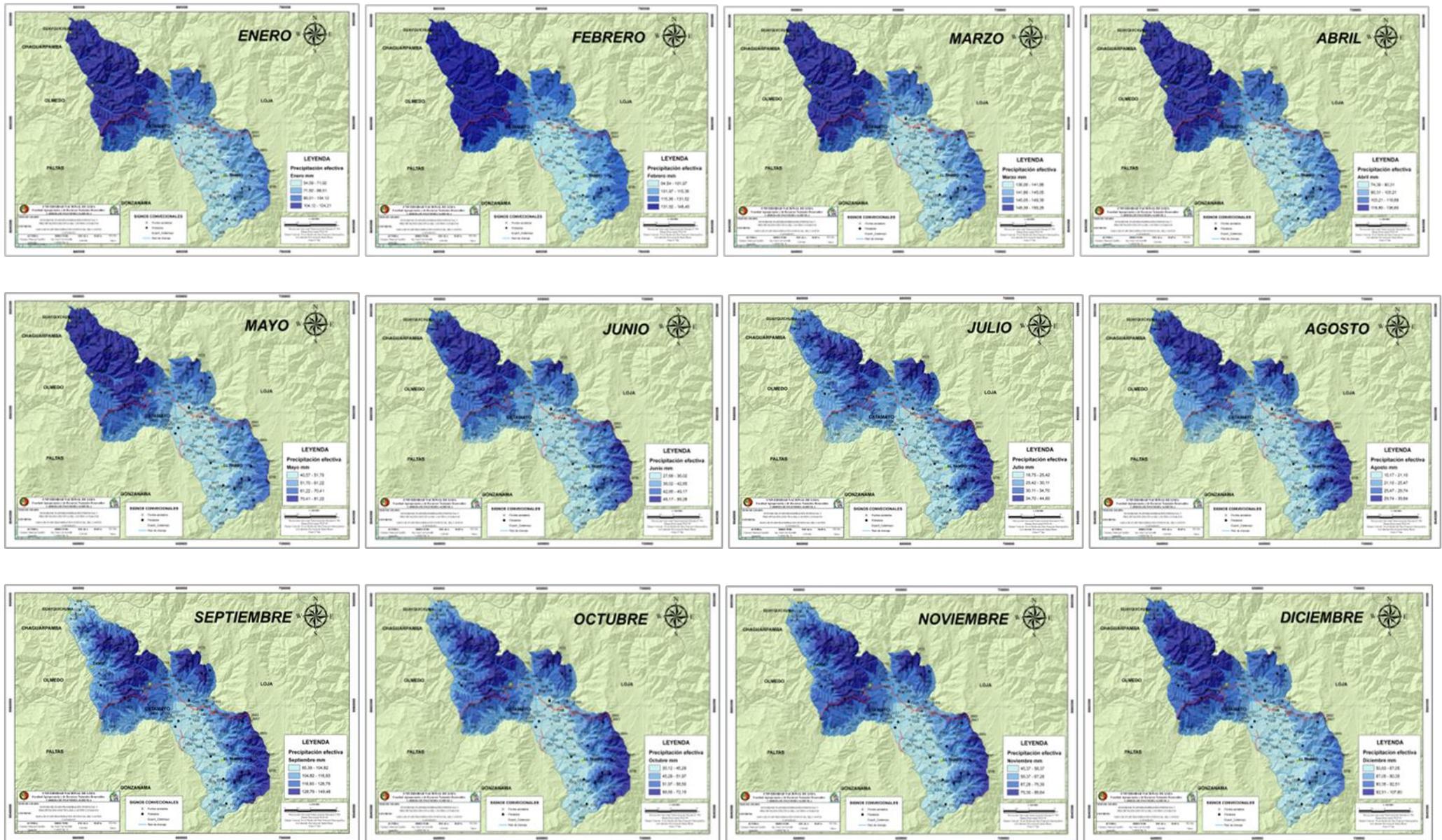
Anexo 20.

Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- INAMHI



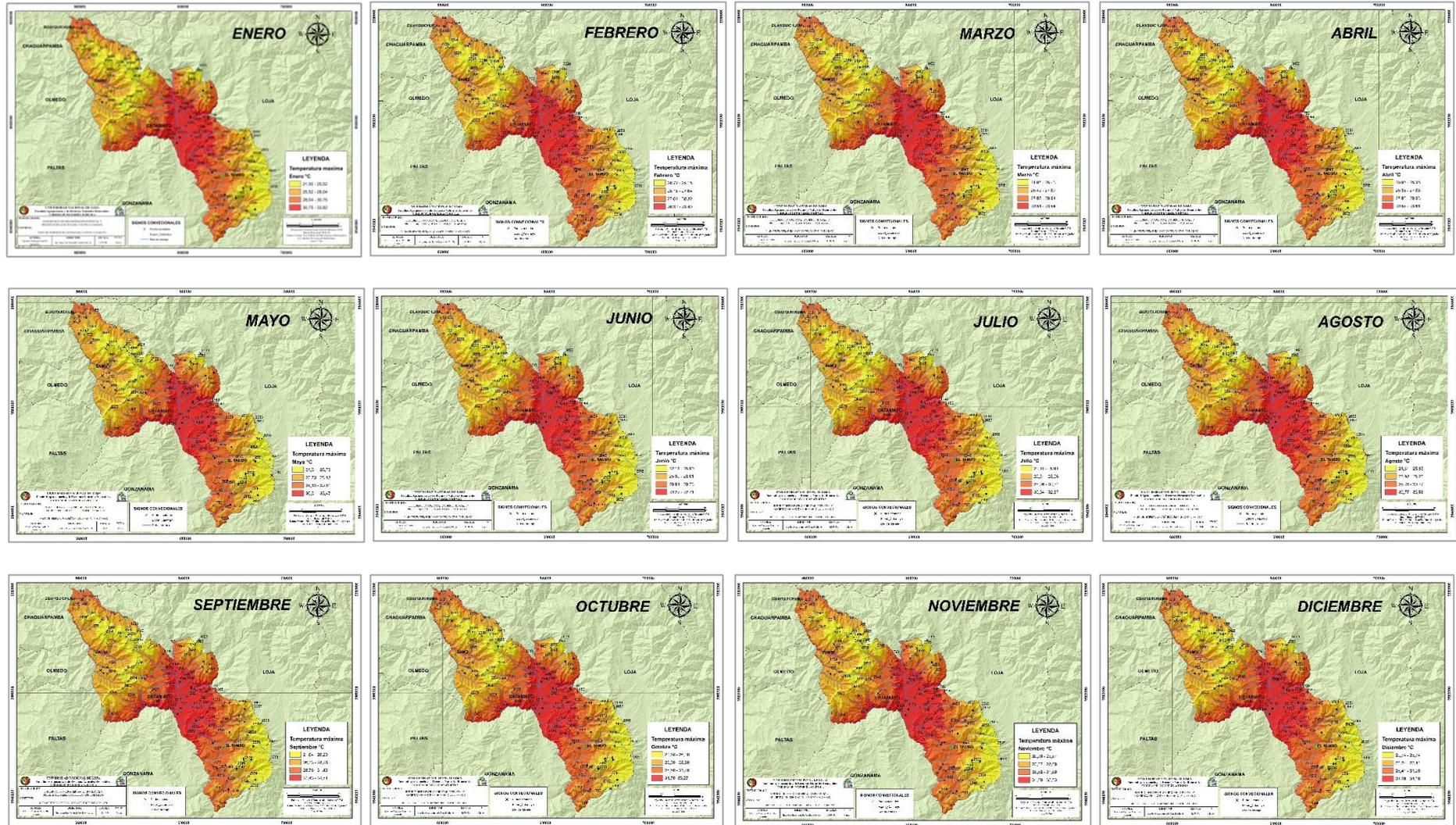
Anexo 21.

Mapas de precipitación efectiva del cantón Catamayo- CHELSEA CLIMATE



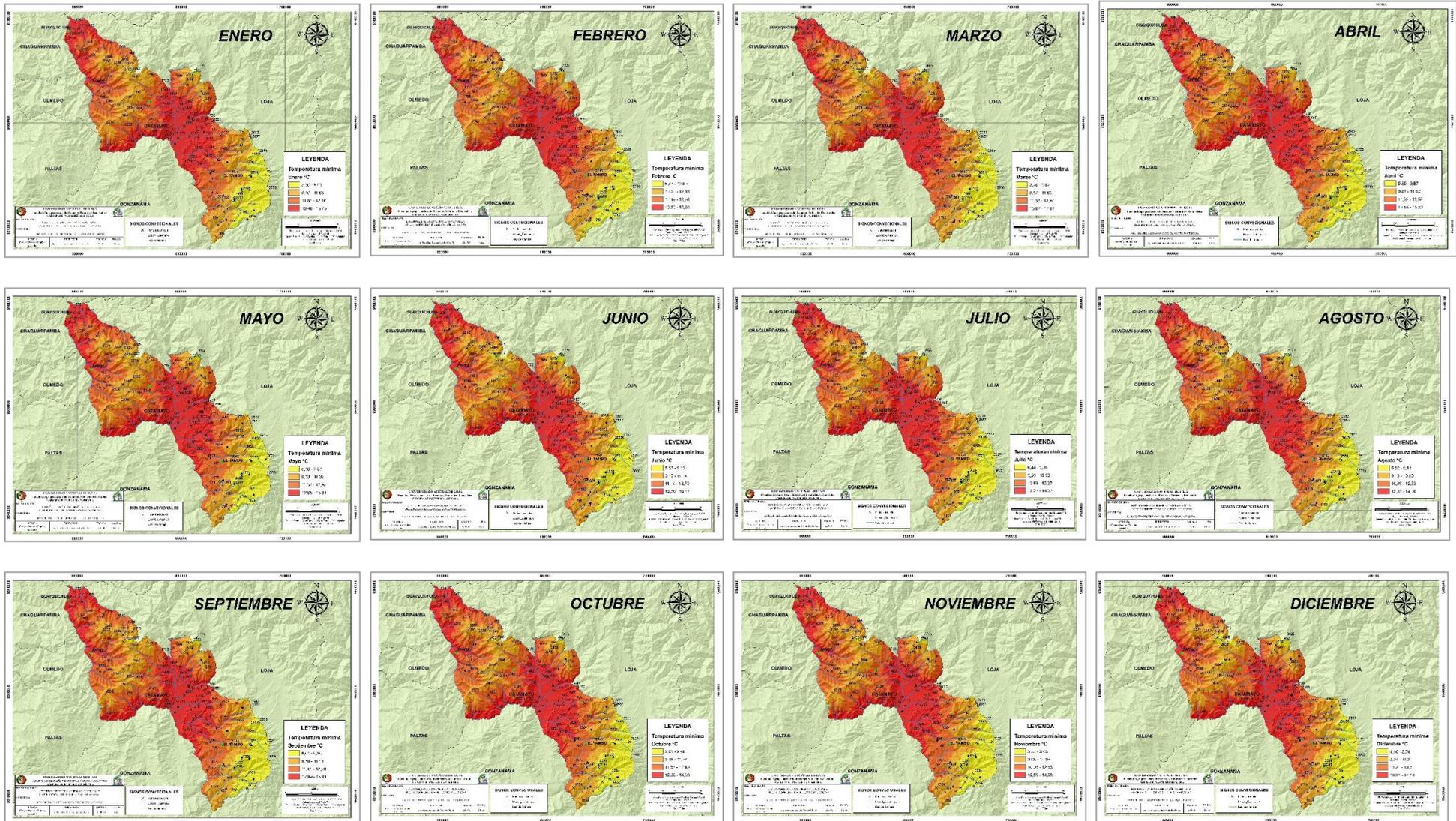
# Anexo 22.

## Mapas de Temperatura máxima del cantón Catamayo



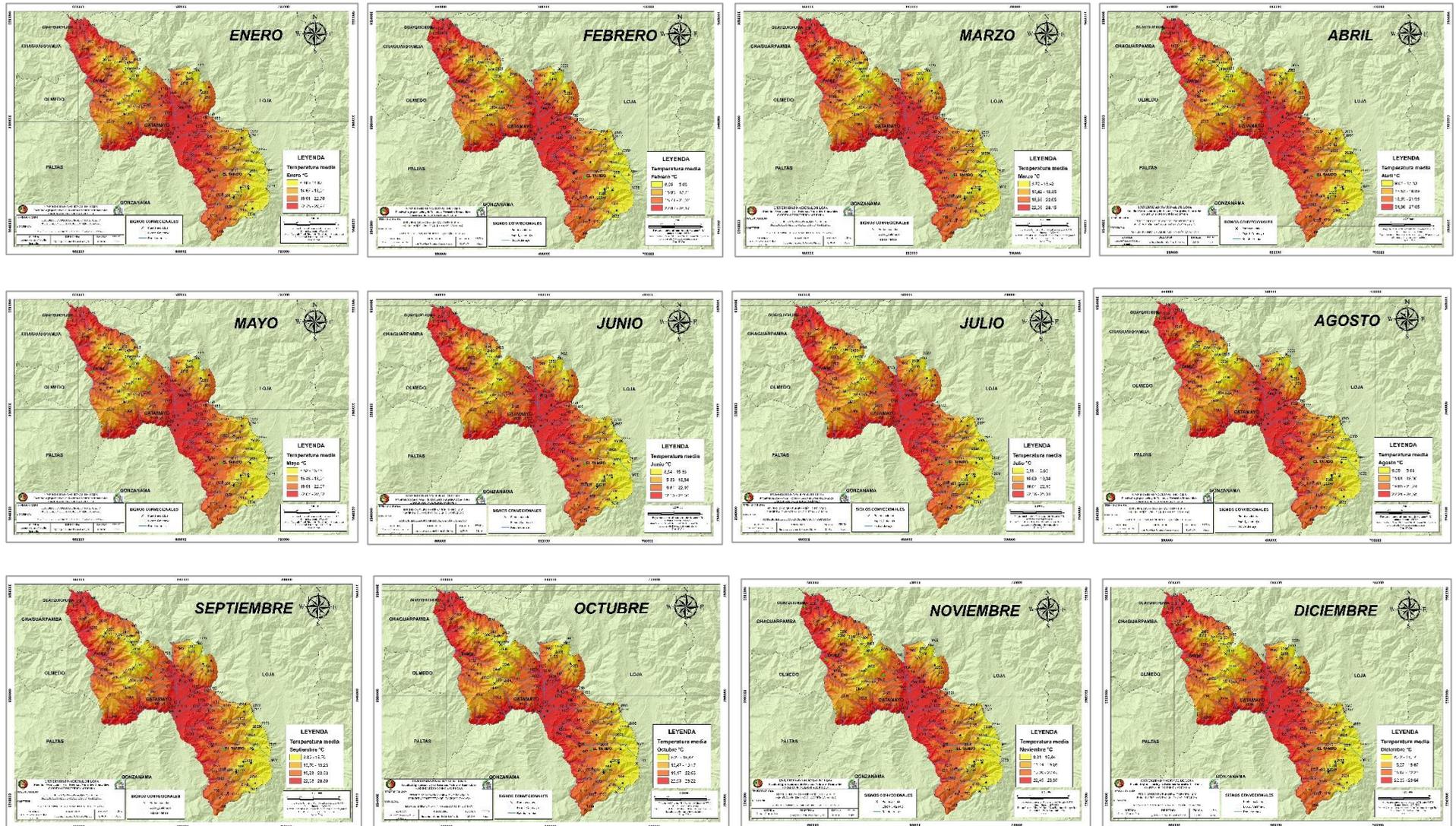
Anexo 23.

Mapas de Temperatura mínima del catón Catamayo



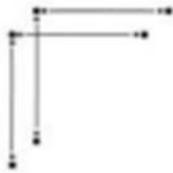
# Anexo 24.

## Mapas de Temperatura media del cantón Catamayo



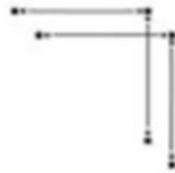
*Anexo 25.*

*Mapas de Temperatura media del cantón Catamayo*



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja



Loja, 28 de mayo de 2024

Lic. Marlon Armijos Ramírez Mgs.  
**DOCENTE DE PEDAGOGIA DE LOS IDIOMAS  
NACIONALES Y EXTRANJEROS – UNL**

**CERTIFICA:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular: **Estudio de la Evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, para establecer requerimientos hídricos con fines de riego del cantón Catamayo**, autoría de Carmen Vanessa Castillo Jaramillo, con CI: 1150311585 de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autorizo a la parte interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Atentamente,



MARLON RICKARD  
ARMIJOS RAMIREZ

**MARLON ARMIJOS RAMÍREZ**  
DOCENTE DE LA CARRERA PINE-UNL  
1031-12-1131340  
1031-2017-1905329



Educamos para Transformar

