



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivos

Trabajo de integración curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Juan Andrés González Armijos

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg, Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 24 de febrero de 2023

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivos**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Juan Andrés González Armijos**, con cédula de identidad Nro. **1105345514**, 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.



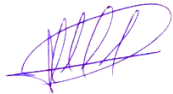
Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Juan Andrés González Armijos**, declaro ser autor 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:



Cédula de identidad: 1105345514

Fecha: 16 de abril de 2024

Correo electrónico: juan.andres.gonzalez.a@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0992722129

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

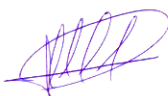
Yo, **Juan Andrés González Armijos** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular: **Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivo.,** como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines 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 de la Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 16 días del mes de abril de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Juan Andrés González Armijos

Cédula: 1105345514

Dirección: Carigan, Loja, Ecuador

Correo electrónico: juan.andres.gonzalez.a@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0992722129

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de integración curricular: Ing. Jorge Jaramillo Condolo Mg, Sc.

Dedicatoria.

Dedico mi Trabajo de Integración Curricular primeramente a Dios, a mis Padres Juan Manuel y María Carmita, a mis hermanos, sobrinos, pareja y amigos que han estado ahí, apoyándome, enseñándome y dándome consejos positivos a lo largo de este tiempo. Agradecer en general a toda mi familia, a las personas que se han sido parte del proceso, que me han dejado una enseñanza y me han ofrecido su ayuda cuando lo necesite.

Juan Andrés González Armijos

Agradecimiento

Quiero dar las gracias primeramente a Dios, por guiarme por el buen camino y darme las fuerzas, la mentalidad de no abandonar mis sueños. A mis padres, Juan Manuel y María Carmita, que han estado apoyándome a lo largo de este tiempo, dándome sus sabios consejos. A mis hermanos que siempre han estado motivándome en este proceso. A mi pareja Tatiana y a mi hija Antonella, por siempre estar ahí, apoyándome en todo momento y dándome fuerzas en los momentos más complicados.

Además, quiero agradecer al ingeniero Jorge Jaramillo, tutor del Trabajo de Integración Curricular, por guiarme y compartir sus conocimientos conmigo. Finalmente ofrecer mi agradecimiento a todos los docentes que estuvieron a lo largo de mi formación, a la Universidad Nacional de Loja, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y a la carrera de Ingeniería Agrícola por acogerme y educarme.

Juan Andrés González Armijos

Índice de contenidos

	Pag
Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorizaciórnr.	iv
Dedicatoria.	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 Agricultura	6
4.2 Ciclo Hidrológico	6
4.3 Evaporación	6
4.4 Transpiración	6
4.5 Evapotranspiración	7
4.6 Tipos de evapotranspiración	7
4.6.1 Evapotranspiración Real.....	7
4.6.2 Evapotranspiración potencial (ETo).....	7
4.6.3 Evapotranspiración del cultivo de referencia	7
4.7 Factores y elementos climatológicos que tienen influencia en la evapotranspiración potencial	7
4.7.1 Radiación solar	7
4.7.2 Temperatura del aire	8
4.7.3 Humedad atmosférica	8
4.7.4 Velocidad del viento	8

4.7.5	Precipitación	8
4.8	Métodos para determinar la evapotranspiración potencial	9
4.8.1	Método de Thornthwaite	9
4.8.2	Método de Penman-Monteith	10
4.8.3	Penman-Monteith modificado	11
4.8.4	Método de Hargreaves simplificado.....	12
4.9	Datos faltantes.....	12
4.10	Softwares para el procesamiento de información climática	12
4.10.1	Software QGIS	12
4.10.2	Software R y RStudio	13
4.10.3	Software Clinwat	13
4.10.4	Software Cropwat.....	13
4.10.5	Base de datos Chelsa Climate.....	13
4.10.6	Software Saga Gis	13
4.10.7	Software Infostad.....	14
4.11	Análisis de doble masa.	14
4.12	Coeficiente de correlación lineal Pearson.....	14
5.	Metodología	15
5.1	Localización del área de estudio	15
5.2	Materiales.....	15
5.3	Metodología para el primer objetivo.....	16
5.3.1	Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.	17
5.3.2	Relleno de datos faltantes	17
5.3.3	Validación de datos de las estaciones meteorológicas.	19
5.4	Metodología para el segundo objetivo.....	19
5.4.1	Cálculo de la ETo y Pe	20
5.4.2	Descarga de la información de Chelsa Climate.....	22
5.4.3	Recorte de la información general de Chelsa Climate.	22
5.4.4	Reducción de la escala de la información climática mediante SAGA GIS.	22
5.4.5	Cambio de unidades	22
5.4.6	Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.	23
5.4.7	Correlación entre la información del INAMHI-SENAMHI y CHELSA.	23
5.4.8	Elaboración de mapas de valores continuos de datos climáticos	23

6. Resultados	24
6.1 Resultados para el primer objetivo	24
6.1.1 Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.	24
6.1.2 Base de datos para estimar evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.....	25
6.1.3 Validación de datos de las estaciones meteorológicas.	26
6.2 Resultados para el segundo objetivo.....	29
6.2.1 Determinación de la evapotranspiración potencial (ETo).	29
6.2.2 Determinación de la precipitación efectiva (Pe).....	36
6.3 Coeficiente de correlación de Pearson.	40
7. Discusiones	41
7.1 Recopilar la información de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva en el cantón Zapotillo. ...	41
7.1.1 Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.	41
7.1.2 Relleno de datos faltantes	41
7.1.3 Validación de datos de las estaciones meteorológicas.	42
7.2 Calcular la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, mediante diferentes métodos empíricos.	42
7.2.1 Cálculo de la Evapotranspiración potencial (Eto).	42
7.2.2 Determinación de la precipitación efectiva	44
7.3 Coeficiente de correlación de Pearson.	44
8. Conclusiones	45
9. Recomendaciones	46
10. Bibliografía	47
11. Anexos	49

Índice de tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas con influencia en la zona de estudio.	16
Tabla 2. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	23
Tabla 3. Información de las estaciones meteorológicas con mayor incidencia en la zona de estudio.....	24
Tabla 4. Precipitación mensual (mm) de cada estación.....	25
Tabla 5. Temperatura máxima mensual (°C) de cada estación.....	25
Tabla 6. Temperatura media mensual (°C) de cada estación.....	25
Tabla 7. Temperatura mínima mensual (°C) de cada estación.	26
Tabla 8. Correlacion de Pearson: Coeficientes/ probabilidades.	40

Índice de figuras

Figura 1. Análisis de doble masa de la variable precipitación (mm).	26
Figura 2. Análisis de doble masa de la variable temperatura máxima (°C).	27
Figura 3. Análisis de doble masa de la variable temperatura mínima (°C).	28
Figura 4. Análisis de doble masa de la variable temperatura media (°C).	28
Figura 5. Evapotranspiración potencial (mm), con datos del INAMHI-SENAMHI, por el método de Hargreaves simplificado.	29
Figura 6. Mapa de evapotranspiración potencial con datos del INAMHI-SENAMHI	30
Figura 7. Evapotranspiración potencial (mm) con los datos de Chelsa Climate, con el método de Hargreaves simplificado, periodo 1990-2013.	31
Figura 8. Mapas de evapotranspiración potencial de Zapotillo con datos de Chelsa Climate, por el método de Hargreaves simplificado.	32
Figura 9. Evapotranspiración potencial (mm) con los datos de Chelsa Climate, con el método de Penman Monteih simplificado, periodo 1990-2013.	33
Figura 10. Mapas de evapotranspiración potencial de Zapotillo con datos de Chelsa Climate, por el método de Penman Monteih.	34
Figura 11. Gráfico comparativo de datos de ETo del INAMHI-SENAMHI, Chelsa Climate y Chelsa Climate por el método de Penman Monteih.	35
Figura 12. Precipitación efectiva (mm) con datos obtenidos del INAMHI-SENAMHI.	36
Figura 13. Mapas de precipitación efectiva del cantón Zapotillo con datos del INAMHI-SENAMHI.	37
Figura 14. Precipitación efectiva (mm) con los datos de Chelsa Climate, periodo 1990-2013	38
Figura 15. Mapas de precipitación efectiva con datos de Chelsa Climate.	39
Figura 16. Gráfico comparativo de datos de Pe, del INAMHI-SENAMHI y Chelsa Climate.	40

Índice de anexos

Anexo 1. Valores del factor de ponderación W	49
Anexo 2. Factor de ajuste (c)	50
Anexo 3. Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes	50
Anexo 4. Presión de saturación del vapor (e_a) en mbar	51
Anexo 5. La radiación de onda larga (R_{nl}) , efecto de la presión real del vapor de agua $f(ed)$ sobre la radiación de onda larga, efecto de la radiación entre el número real y el máximo de horas de fuerte insolación $f(n/N)$, sobre la radiación de onda larga (R_{nl}) ...	52
Anexo 6. Mapa de las estaciones meteorológicas con influencia en la zona de estudio	53
Anexo 7. Mapas de temperatura máxima de zapotillo.	54
Anexo 8. Mapas de temperatura media de zapotillo.	55
Anexo 9. Mapas de temperatura mínima de zapotillo.....	56
Anexo 10. Mapas de precipitación del cantón Zapotillo.....	57
Anexo 11. Datos tabulados de temperatura máxima de la estación meteorológica Zapotillo	58
Anexo 12. Datos tabulados de temperatura media de la estación meteorológica Zapotillo	59
Anexo 13. Datos de temperatura mínima, de la estación meteorológica Zapotillo.....	60
Anexo 14. Datos precipitación de la estación meteorológica Zapotillo.....	61
Anexo 15. Certificado de traducción del abstract	62

1. Título

Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivos

2. Resumen

Para garantizar la seguridad alimentaria, es indispensable el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles. Por ello es primordial contar con datos de evapotranspiración, para satisfacer correctamente las necesidades hídricas de los cultivos, por ende, la presente investigación se llevó a cabo en el cantón Zapotillo, perteneciente a la provincia de Loja, en la cual se determinó datos de evapotranspiración potencial (ETo) y precipitación efectiva (Pe), para llevar a cabo la investigación se usó datos provistos del INAMHI-SENAMHI y de la base de datos satelitales Chelsa Climate. La metodología consistió en seleccionar las estaciones meteorológicas que tengan mayor incidencia en la zona de estudio, posteriormente se realizó la recolección, tabulación y relleno de datos faltantes de las variables climáticas necesarias para determinar ETo y Pe, se emplearon dos métodos para determinar la evapotranspiración potencial; el método de Hargreaves simplificado y Penman Monteih modificado, además se determinó la precipitación efectiva por el método de la USDA Soil Conservations Service, desarrolla por el USCS y finalmente se calculó un factor de correlación de los datos de ETo obtenidos de la base de datos INAMHI-SENAMHI. Como aporte adicional se generaron mapas representativos de temperatura máxima, media, mínima, precipitación, evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, que serán de gran uso para la población interesada.

Palabras clave: evapotranspiración potencial, precipitación efectiva, recursos hídricos, seguridad alimentaria.

Abstract

In order to guarantee food security, it is essential to take advantage of available water resources. Therefore, it is essential to have evapotranspiration data to properly meet the water needs of crops, therefore, this research was carried out in Zapotillo canton, belonging to Loja province, in which data of potential evapotranspiration (ET_o) and effective precipitation (P_e) were determined, to carry out the research data provided by INAMHI-SENAMHI and the satellite database Chelsa Climate were used. The methodology consisted of selecting the meteorological stations with the greatest incidence in the study area, then the collection, tabulation and filling in of missing data of the climatic variables necessary to determine ET_o and P_e, two methods were used to determine the potential evapotranspiration; The simplified Hargreaves and modified Penman Monteih methods were used to determine potential evapotranspiration. In addition, effective precipitation was determined using the USDA Soil Conservations Service method, developed by the USCS, and finally, a correlation factor was calculated from the ET_o data obtained from the INAMHI-SENAMHI database. As an additional contribution, representative maps of maximum, average and minimum temperature, precipitation, potential evapotranspiration and effective precipitation were generated for the Zapotillo canton, which will be of great use to the interested population.

Keywords: potential evapotranspiration, effective precipitation, water resources, food security.

3. Introducción

El agua es el elemento esencial para que exista vida y el más abundante en el planeta, es un compuesto de características únicas que influyen directamente en los procesos químicos, físicos y biológicos de los ecosistemas (Sánchez et al., 2001).

El 97,5 % del agua que existe en el planeta es salada y se encuentra distribuida en los océanos, el 2,5 % constituye el agua dulce de los cuales el 1,72 % está en los polos y en las partes altas de las montañas en estado sólido, el 0,75 % está en la humedad del suelo y en los acuíferos subterráneos, solamente el 0,03 % está en las redes hídricas disponible para los seres vivos. Del total del agua disponible en la superficie terrestre, el 61,2 % es de uso agrícola, que se compone de agua superficial (41 %) y de agua subterránea (20,1 %) (Blanco, 2017).

El consumo del agua con el paso del tiempo se ha incrementado cada vez más a nivel mundial, debido al crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y a la ampliación de áreas agrícolas y se prevé que la demanda de agua crezca a niveles acelerados para el 2050. Por lo tanto, los niveles de escasez hídrico se intensificarán más de lo habitual, debido a los factores ya mencionados y a la variabilidad climática, lo que ocasionaría un efecto negativo en las personas de bajos recursos del planeta y a conflictos territoriales (FAO, 2013). En América Latina existen zonas con sequías estacionales y seculares debido a la mala distribución de las precipitaciones, lo que provoca que varias zonas se clasifiquen como áridas o semiáridas y con el paso de los años se han ido incrementando estas áreas debido al decrecimiento de corrientes atmosféricas y a la escasez de agua en las redes hídricas, en donde destacan sectores como la Guajira en Colombia, Paraguaná en Venezuela, Ceará, Piauí, Rio grande do Norte, Paraíba, Bahía en Brasil, el Gran Chaco en Argentina, Bolivia, Paraguay y la Patagonia en Argentina y Chile (Comision Economica para America Latina y el Caribe, 1991). Ecuador es un país muy diverso debido a la cordillera de los Andes y está compuesto de 4 regiones, donde las principales que sufren de escasez hídrica son la costa (Santa Elena, Manabí, El Oro) y la sierra (Loja, Bolívar) (Ministerio de Agricultura, Ganaderia, Acuicultura y Pesca., 2011).

La provincia de Loja es una de las más afectadas por las sequías, debido a que se encuentra ubicada al sur del país y se ve influenciada directamente por la cordillera ecuatoriana, tiene una extensión aproximada de 11000 km cuadrados y una población de 485,421 habitantes, está compuesta por 16 cantones, su economía está sustentada en la

agricultura y la ganadería. Cuando las precipitaciones son inferiores a lo normal de los años anteriores, provoca una gran escasez hídrica, la cual desencadena una mala producción de maíz, maní, frejol, arroz que son los principales productos que se cultivan en la provincia, y a una falta de forraje para los animales (GAD cantonal Zapotillo, 2019). El déficit hídrico que ocurre en la provincia de Loja se ha incrementado con el paso de los años, lo que provoca una gran preocupación en los moradores de los cantones que tienen menor disponibilidad de este recurso como son; Macara, Zapotillo, Pindal, Catamayo, Paltas, donde conforme transcurre el tiempo va disminuyendo el caudal de las vertientes, que son la principal fuente para abastecer de agua a sus cultivos, animales y para consumo doméstico (Arias, 2013).

El cantón Zapotillo se encuentra en la frontera con Perú y se ve influenciado directamente por el desierto de Sechura ubicado en la costa norte de Perú, entre las regiones de Piura y Lambayeque, este cantón es característico por cultivar cebolla, maíz, arroz y a dedicarse a la cría de animales caprinos, el cantón de manera general depende del sistema de riego Zapotillo, quien les provee en su totalidad del agua, las precipitaciones anuales son muy bajas y las temperaturas son muy altas. Zapotillo se caracteriza por tener un clima ideal para el desarrollo de gran variedad de cultivos, por lo que continuamente se realizan investigaciones sobre la aplicabilidad de modernos sistemas de riego, que contribuyan al ahorro del agua y a realizar un riego eficiente (GAD cantonal Zapotillo, 2019). Por ende, la información determinada en la investigación servirá a los gobiernos provinciales, GADS parroquiales para que hagan una correcta estimación de los requerimientos hídricos de los diferentes cultivos de determinada zona.

Objetivo General

- Determinar la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivos.

Objetivos específicos

- Recopilar la información de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva en el cantón Zapotillo.
- Calcular la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, mediante diferentes métodos empíricos.

4. Marco teórico.

4.1 Agricultura

Es considerada como una de las actividades con mayor importancia a nivel mundial, que contribuye a la seguridad alimentaria y genera empleo. En países subdesarrollados la economía está en función de la agricultura, debido a que la mayoría de sus habitantes se dedican a esta actividad y dependen de los ingresos de la producción que tengan anualmente, esta actividad es considerada inclusiva por que trabajan hombres y mujeres. El agro es un factor que interviene en la modificación de paisajes, asentamientos humanos, erosión, regulación de la temperatura y en el ciclo hidrológico (García, 2006).

4.2 Ciclo Hidrológico

Es el proceso mediante el cual el planeta mantiene un continuo flujo de agua en todos sus ecosistemas, debido a que este líquido cumple un ciclo permanente que va desde la tierra a la atmosfera, ocasionado por la radiación solar y la gravedad terrestre. Donde los principales componentes del ciclo hidrológico son la evaporación, transpiración, condensación, precipitación, infiltración, y escorrentía (Rodriguez y Ovalles, 2019).

4.3 Evaporación

Según Rodriguez y Ovalles (2019), es el proceso físico, mediante el cual el agua cambia de estado de líquido a gaseoso y si cumplen ciertas condiciones, pasa a formar parte de la atmósfera circundante, la principal fuente de agua que se evapora en el planeta es el agua de mar y de las redes hídricas, este proceso depende de algunos factores, como la radiación solar, temperatura, velocidad del viento.

4.4 Transpiración

Se conoce como transpiración al proceso por el cual las plantas pierden agua, a través de la evaporación del agua de sus tejidos, la cual sucede principalmente por los estomas, la transpiración depende principalmente de la radiación solar, temperatura y velocidad del viento entre otros, mientras más elevados sean los valores de estas variables, existirá una mayor pérdida de agua en las plantas (Bruna y Ortega, 2018).

4.5 Evapotranspiración

Es un componente del ciclo hidrológico, es el resultado de la combinación de dos procesos diferentes que ocurren simultáneamente, los cuales son conocidos como la evaporación y transpiración, es decir es el intercambio de vapor de agua entre la superficie de la tierra y la atmósfera, Cuando la evapotranspiración es alta, existe un mayor consumo de agua de los cultivos, lo que contribuye a que no se pueda llevar a cabo la producción sin un sistema de riego según Valencia, (2010), este proceso se subdivide en varios tipos de evapotranspiración, los cuales depende directamente de varios factores como la radiación solar, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento (Contreras, 2015).

4.6 Tipos de evapotranspiración

4.6.1 Evapotranspiración Real

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).

4.6.2 Evapotranspiración potencial (ET_o)

Se denomina evapotranspiración potencial a la cantidad de evapotranspiración que se produciría, si el suelo tuviera un contenido óptimo de humedad y la cobertura vegetal fuera completa (Sánchez, 2008).

4.6.3 Evapotranspiración del cultivo de referencia

Cantidad de evapotranspiración producida, cuando no existe restricciones de agua, donde la superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto que cuenta con características específicas y se la considera un parámetro climático, el cual puede ser calculado por datos meteorológicos (Allen, 2006).

4.7 Factores y elementos climatológicos que tienen influencia en la evapotranspiración potencial

4.7.1 Radiación solar

Es la energía emitida por el sol, que se distribuye en todas las direcciones del planeta, mediante ondas electromagnéticas, esta energía es la base para que se puedan desarrollar los procesos climáticos y atmosféricos (Allen, 2006).

4.7.2 Temperatura del aire

Es un indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire, que depende de la cantidad de radiación absorbida por la atmosfera y emitido por la tierra, lo que producirá un aumento o disminución de la temperatura del aire, lo que provoca que los seres humanos sintamos calor o frio (Contreras, 2015).

4.7.3 Humedad atmosférica

Es la cantidad de vapor de agua que está presente en el aire, es dependiente de la temperatura y se mide a través del higrómetro, además se subdivide en humedad absoluta, humedad específica, y humedad relativa (Allen, 2006).

4.7.4 Velocidad del viento

Mide el desplazamiento horizontal del aire en un punto y en un tiempo determinando, lo que contribuye al transporte del aire saturado sobre la superficie, la cantidad de aire removido dependerá de su velocidad, la velocidad del viento se mide con un instrumento llamado anemómetro y se expresa en m/s (Contreras, 2015).

4.7.5 Precipitación

Se denomina precipitación a toda forma de agua que cae a la tierra, la cual es generada por las nubes, cuando alcanza un punto de saturación y por acción de la gravedad se precipitan a la superficie terrestre (Rodríguez, 2019).

4.7.5.1 Precipitación efectiva

Se conoce como precipitación efectiva a una fracción de la precipitación total caída a la superficie terrestre y que es aprovechada por las plantas, además esta influenciada directamente con los siguientes factores; intensidad de precipitación, clima, pendientes, contenido de humedad y la velocidad de infiltración que presenta determinado suelo, se determina a través de la siguiente formula establecida por la FAO, para zonas semiáridas y subhúmedas (Allen et al., 2006).

$$Pe = Pt (125 - 0,2Pt / 125) \text{ para } P_{\text{mensual}} < 250 \text{ mm (Ecuación 1)}$$

$$Pe = 125 + 0,1 Pt \text{ para } P_{\text{mensual}} > 250 \text{ mm (Ecuación 2)}$$

Donde:

Pt: precipitación total mensual (mm)

Pe: precipitación efectiva mensual (mm)

4.8 Métodos para determinar la evapotranspiración potencial

Los principales métodos que permiten calcular la evapotranspiración potencial son los siguientes:

4.8.1 Método de Thornthwaite

El modelo de Thornthwaite se basa en la determinación de la evapotranspiración, que está en función de la temperatura media y el número de días del mes, además de que puede ser usado en zonas húmedas, este modelo nos da a conocer resultados estimativos los cuales pueden ser usados únicamente en estudios preliminares (Apaza, 2013).

Se propone la siguiente fórmula:

$$e = 16 * \left(\frac{10 * T_m}{I} \right)^a \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

e : evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes)

T_m : Temperatura media mensual en (°C)

I : índice de calor anual

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

i_j : número del mes.

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1,514} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

T_j : temperatura media del mes en °C.

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 179 * 10^{-1} + 0,492 \quad \text{(Ecuación 6)}$$

4.8.2 Método de Penman-Monteith

El modelo de Penman-Monteith es considerado uno de las más precisos al momento de determinar la ETo en cualquier sector, dado que incorpora un gran número de variables, lo que es un factor tanto positivo, como negativo porque es limitado su uso en determinados lugares, donde no se tiene gran disponibilidad de información meteorológica, cuya formula es la siguiente (Allen et al., 2006).

$$ETo = c [W * Rn + (1 - W) * f(u) * (ea - ed)] \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

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

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

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

ea: presión saturante del vapor de agua, expresada en milibares (Anexo 4).

ed: presión real del vapor de agua, expresada en milibares (Anexo 5)

$$f(u)=0,27(1+u/100) \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

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

$$Rn=0,75Rs-Rnl \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde:

Rn = Radiación neta total, expresada en equivalente de evaporación en mm/día (Anexo 5).

$$Rs= (0,25+0,5 n/N) Ra \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

Rs: 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 (Anexo 3).

n/N : relación entre las horas reales o heliofanía (n) y las horas máximas posibles (N) de insolación fuerte (Anexo 5).

R_a : radiación extraterrestre que se recibe antes de llegar a la atmósfera.

$$R_{nl} = T * f(ed) * f(n/N) \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

T : Temperatura media mensual en ($^{\circ}\text{C}$)

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.

4.8.3 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 (Allen et al., 2006).

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u^2 * (ea - ed)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u^2)} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

Δ : pendiente de la curva de saturación de vapor/temperatura, expresada en $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$;

γ : constante psicrométrica, expresada en $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$

R_n : radiación neta, expresada en $\text{mm}/\text{día}$;

G : flujo de calor del suelo, expresada en $\text{mm}/\text{día}$.

T : temperatura media diaria

u : velocidad del viento expresada en $\text{km}/\text{día}$

ea : presión saturante del vapor de agua, expresada en milibares (Anexo 4).

ed : presión real del vapor de agua, expresada en milibares (Anexo 5)

4.8.4 Método de Hargreaves simplificado.

Es un método muy sencillo y a la vez muy práctico, es muy usado cuando no se tiene disponibilidad de información de radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, puesto que para obtener el valor de E_{to} , se requieren pocos datos de variables como de temperatura, radiación extraterrestre (Allen et al., 2006).

$$E_{To} = 0,0023(T_{med} + 17,78) R_o (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

E_{to} : evapotranspiración (mm/d)

T_{med} : temperatura media (°C)

R_o : radiación solar extraterrestre (mm/d) (Anexo 6)

T_{max} : temperatura máxima diaria.

T_{min} : temperatura mínima diaria.

4.9 Datos faltantes.

En las estaciones meteorológicas es muy común encontrar datos incompletos, 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 los que se mencionan a continuación (Gallegos et al., 2016).

- Media aritmética
- Método de Jansa Guardiola
- Razón normal.
- Regresión lineal.

4.10 Softwares para el procesamiento de información climática

4.10.1 Software QGIS

Es un sistema de información geográfica, de código y software abierto. Proporciona gran variedad de funciones básicas y complementos, se puede editar, diseñar, analizar datos, visualizar y explotación de imágenes satélite. Además, consta de herramientas como cálculo de estadística e histogramas, corrección y segmentación de imágenes satélite, entre otros (Ramos, 2017).

4.10.2 Software R y RStudio

Es un software libre, que tiene como finalidad realizar análisis estadísticos y graficas. Este software es muy usado por que la curva de aprendizaje es muy sencilla, en comparación con otros softwares, otra ventaja es que es fácil de compartir el código lo que es muy beneficioso para las realizar investigaciones (Gonzalez, 2019).

4.10.3 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) .

4.10.4 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)

4.10.5 Base de datos Chelsa Climate

Chelsa Climate es una base de datos que se diseñó para proveer información de regiones con una elevada complejidad topográfica, para zonas donde no existe gran variedad de información climatológica, representa los datos con gran exactitud, en Chelsa Climate existe información de las variables climáticas con sus respectivos promedios estacionales y anuales, cuya resolución es alrededor de 1 km² o menos por pixel, estas resoluciones son conseguidas mediante datos satelitales según Colmenero y Manzaneda, (2019), 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 y la información se actualiza constantemente (Castillo, 2022).

4.10.6 Software Saga Gis

SAGA son las siglas del sistema de análisis geocientíficos automatizados, es un sistema de información geográfica, que surgió a finales de los 90, es 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).

4.10.7 *Software Infostad*

Es un software que tiene gran cantidad de funciones, entre las que destaca principalmente el análisis estadístico, abarca las necesidades de determinar la estadística descriptiva y posee métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado, además es muy conocida por la sencillez de su interfaz (Balzarini, 2010).

4.11 Análisis de doble masa.

Es un método gráfico el cual permite conocer el comportamiento a lo largo del tiempo de las variables climáticas de una determinada zona, además de poder confirmar la fiabilidad de la información de las estaciones en estudio, para poder realizarlo se utiliza una estación de referencia, para contrastar con otras estaciones que tengan información fiable. La serie se considera estacionaria cuando el valor de R^2 es muy próximo a 1 (Fernández, 2019).

4.12 Coeficiente de correlación lineal Pearson.

El coeficiente Pearson es un índice de fácil aplicación e interpretación, que se encarga de medir la covarianza entre las variables relacionadas linealmente, una vez determinado el coeficiente de correlación de Pearson, se debe determinar entre las variables si existe significancia de dicho valor, un coeficiente de correlación se denomina significativo cuando este es diferente a cero, cuando el valor está más cerca de 1, mayor será la correlación, mientras más cerca sea el valor a 0, menor será la correlación (Cueva, 2022).

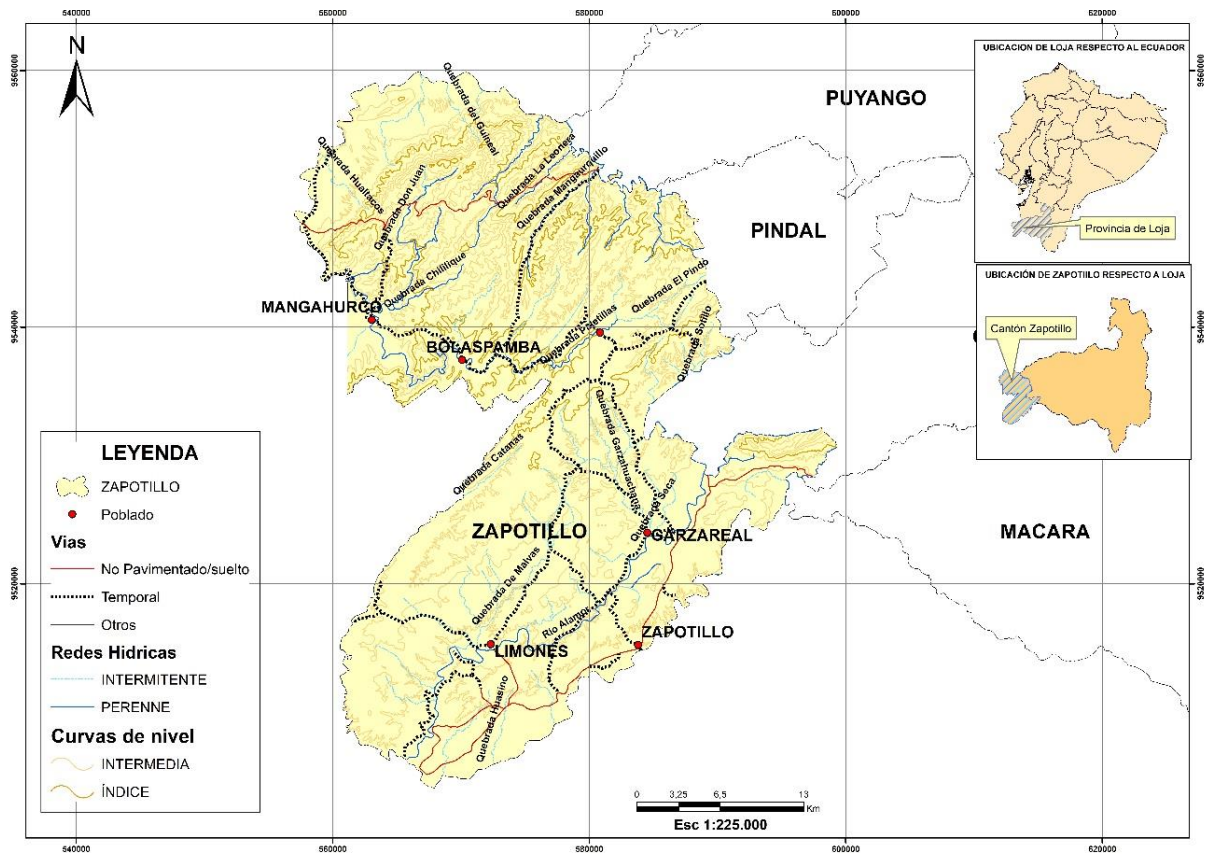
5. Metodología

5.1 Localización del área de estudio

El cantón Zapotillo se encuentra ubicado en la provincia de Loja, específicamente en las coordenadas geográficas $4^{\circ}23'11''S$ y $80^{\circ}14'37''O$, con una altitud promedio de 255 m.s.n.m, con un piso climático denominado tropical semiárido, comprende una superficie de 1.215 km², es el segundo cantón más grande de dicha provincia, cuenta con una temperatura promedio de 27° C. Limita al norte, sur y oeste con Perú y al este con Puyango, Macará, Celica y Pindal (GAD cantonal Zapotillo, 2019)., tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1.

Mapa base del cantón zapotillo.



Fuente: Mapa elaborado con datos cartográficos del IGM (consultado 2022)

5.2 Materiales

- Anuarios meteorológicos del INAMHI- SENAMHI de las estaciones que influyen en el área de estudio.
- Software QGIS, R y RStudio.

- Software Cropwat.
- Software SAGA GIS.
- Software Infostad.
- Base de datos satelitales Chelsa Climate.
- Materiales de oficina

La investigación es de tipo cuantitativa, que tuvo como objetivo adquirir conocimientos y realizar la mejor elección que permitió conocer la realidad del área de estudio, a través de la recolección y análisis de datos obtenidos, con la ayuda de herramientas informáticas y softwares estadísticos.

5.3 Metodología para el primer objetivo

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

Con la finalidad de cumplir con el primer objetivo, se seleccionó las estaciones meteorológicas que tuvieron mayor incidencia en la zona de estudio, tal como se puede apreciar en la Tabla 1 y se utilizó la información disponible de las variables climáticas; temperatura máxima, media, mínima y precipitación, de los anuarios de cada una de las estaciones meteorológicas, que están publicadas en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Tabla 1.

Estaciones meteorológicas con influencia en la zona de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	ALTITUD m.s.n.m	COORDENADAS Y (m)	COORDENADAS X (m)	AÑOS DE INFORMACIÓN	PAÍS
M065	Macará	427	9516395	617744,8	1965-1983	Ecuador
M148	Celica	2700	9546646	616120,9	1989-2012	Ecuador
M151	Zapotillo	120	9515422	584421,5	1989-2012	Ecuador
M515	Catacocha	1840	9552000	650824,1	1965-1981	Ecuador
472FD6CE	Lancones Puerto	136	9486793	550225	1991-2015	Perú
103038	Pizarro	6	9612698	567193	2002-2014	Perú

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1 Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.

Se descargo de forma específica la información disponible del INAMHI y SENAMHI de las estaciones que influyen en la zona de estudio, después se tabulo los datos de las variables climáticas que se requiere para determinar la ETo y Pe, finalmente se realizó el relleno de datos en los casos que sea necesario (Cueva, 2022).

5.3.2 Relleno de datos faltantes

Es muy frecuente encontrarse en los anuarios meteorológicos con datos faltantes de uno o varios periodos, es por este motivo que se usó la interpolación de vacíos en la base de datos de las estaciones analizadas, a través de los métodos descritos a continuación, utilizando el método que mejor se adapte a la tendencia de la información observada, según Gonzalez (2022) los métodos que mejor ayudan a la estimación de los datos faltantes son los siguientes:

5.3.2.1 Regresión lineal.

El método de regresión lineal, ayuda a crear ecuaciones que permitieron conocer el comportamiento de las variables en estudio, cuya ecuación obtenida es muy útil para estimar los valores faltantes de los anuarios meteorológicos de cada una de las estaciones seleccionadas. Principalmente se usó este método cuando existieron varios vacíos de información, este método fue el más usado en la investigación, principalmente en la información de las estaciones meteorológicas, Zapotillo, Macara, Celica, Catacocha.

$$Y = a + bx \quad (\text{Ecuacion 15})$$

Donde:

y : Precipitación estimada

a : precipitación de la estación base.

x : Variable independiente.

5.3.2.2 Media aritmética

Este método fue aplicando cuando la precipitación media anual en cada estación meteorológica, difiere en menos del 10 % de la estación principal de estudio y se representa los datos meteorológicos en la siguiente fórmula para obtener el dato faltante,

este método se usó principalmente en la información de las estaciones meteorológica de Zapotillo, Celica y Macara.

$$X = \frac{X1+X2+X3.....+Xn}{n} \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde:

X1: Dato de la estación uno.

X2: Dato de la estación dos

X3: Dato de la estación tres.

n: número total de estaciones.

5.3.2.3 Método de Jansa Guardiola

El método de Jansa Guardiola se utilizó en la investigación cuando se dieron ciertos criterios, como que exista un dato posterior y anterior a un dato faltante, y a través de la manipulación de esta información poder obtener el dato faltante, en caso de que exista más de un vacío de información, se debe buscar otro método para el relleno de la información, este método se usó en el relleno de información de todas las estaciones meteorológicas seleccionadas.

$$Df = c \left(\frac{a}{a+b} \right) + \text{menor valor} \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Donde:

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.

5.3.2.4 Método se la razón normal

Este método se utilizó cuando los datos meteorológicos anuales de cualquiera de las estaciones que rodean el área de estudio difieren en más del 10%, se usó este método en la mayoría de las estaciones en estudio y se representa con la siguiente fórmula.

$$h_{px} = \frac{1}{n} \left[\frac{P_x}{P_1} h_{p1} + \frac{P_x}{P_2} h_{p2} + \dots + \frac{P_x}{P_n} h_{pn} \right] \quad \text{(Ecuación 3)}$$

h_{px} = altura de precipitación faltante en la estación de estudio

- hpj = altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar
- i.
- Pi = precipitación media anual en la estación auxiliar i.
- Px = precipitación media anual en la estación en estudio.
- N = número de estaciones auxiliares.

5.3.3 Validación de datos de las estaciones meteorológicas.

Análisis de consistencia de datos.

Se utilizó el análisis de doble masa para realizar la validación de datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI Y SENAMHI, con lo cual se buscó que la información que se genere sea fiable, buscando rangos de R^2 muy cercanos a 1, además al realizar el análisis de doble masa podemos identificar los registros erróneos y de esta manera poder corregirlos inmediatamente (Estévez y Gavilan, 2015).

Para realizar la consistencia de los datos de las estaciones meteorológicas, se ordenó toda la información de cada una de las variables disponibles de las estaciones meteorológicas, en unos recuadros, posteriormente esa información se la representó en unos gráficos, en el eje de las abscisas se colocó la información acumulada de todas las estaciones y en el eje de las ordenadas se representó la información de la estación en estudio, además en la gráfica se determinó la tendencia de la información y el valor de R^2 , cuyo valor es quien nos demuestra la veracidad de la información, este proceso se usó en todas las variables climáticas estudiadas en la presente investigación.

5.4 Metodología para el segundo objetivo

“Calcular la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, mediante diferentes métodos empíricos que se adapten a los datos observados y de reanálisis”

Para dar cumplimiento al segundo objetivo de la investigación, se usó la información climática disponible de las estaciones meteorológicas, que inciden en la determinación de la demanda atmosférica, principalmente datos de temperatura y precipitación, según Contreras, (2015). Además, se obtuvo un factor de corrección que permite ajustar los valores de la ETo y Pe a las condiciones agroclimáticas del área de estudio.

5.4.1 Cálculo de la ETo y Pe

Después de haber verificado que la información es fiable, se determinó la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva, usando toda la información disponible y necesaria de las principales variables climatológicas y se empleó los métodos empíricos para determinar ETo y Pe que son ideales para zonas semiáridas.

5.4.1.1 Determinación de la evapotranspiración potencial

Para determinar la evapotranspiración potencial con los datos del INHAMI, SENAMHI y Chelsa Climate se utilizó el método de Hargreaves simplificado, que fue el método que se ajustó a la tendencia de la información, este método usa datos de temperatura máxima, media, mínima y el valor de radiación extraterrestre. Estos datos fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas en estudio, que posteriormente fueron ordenados en un recuadro acorde a los meses del año y posteriormente se la represento en la Ecuación 13, que corresponde a la ecuación del método seleccionado (Allen et al., 2006).

$$ETo = 0,0023(Tmed + 17,78) Ro (Tmax - Tmin)^{0,5} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

Eto: evapotranspiración (mm/d)

T med: temperatura media (°C)

Ro: radiación solar extraterrestre (mm/d) (Anexo 6)

T max: temperatura máxima diaria.

T min: temperatura mínima diaria.

Para poder cumplir con el segundo objetivo específicos, se usó valores de ETo provistos por Chelsa Climate, que están determinados por el método de Penman Monteih modificado, que es el método con el que trabaja el software Chelsa Climate, esta información fue descargada directamente y recortada para la zona de estudio. El método de Penma Monteih usa la siguiente formula (Allen et al., 2006).

$$Eto = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u^2 * (ea-ed)}{\Delta + \gamma(1+0,34u^2)} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

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

γ : 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 (Anexo 4).

ed : presión real del vapor de agua, expresada en milibares (Anexo 5)

5.4.1.2 Determinación de la precipitación efectiva

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó el método de la USDA Soil Conservation Service, desarrolla por el USCS, cuya ecuación utiliza información de la precipitación total, este método presenta dos fórmulas una para precipitaciones totales mayores a 250 mm y la segunda para precipitaciones totales menores a 250 mm. Por ende, se ordenó la información de precipitación total de todas las estaciones en estudio, en un recuadro, ordenando acorde a los meses del año y posteriormente se clasifico la información para poder conocer con cuál de las dos fórmulas se puede determinar. Finalmente los datos se representaron en las siguientes ecuaciones y se determinó los valores de Pe (Sanchez, 2023).

$$Pe = Pt (125 - 0,2 Pt / 125) \text{ para } P \text{ mensual} < 250 \text{ mm (Ecuación 1)}$$

$$Pe = 125 + 0,1Pt \text{ para } P \text{ mensual} > 250 \text{ mm (Ecuación 2)}$$

Donde:

Pt : precipitación total mensual (mm)

Pe : precipitación efectiva mensual (mm)

Así mismo, una vez obtenida la ET_o y Pe mediante métodos empíricos, se procedió a trabajar con información obtenida de la base de datos Chelsa Climate, para correlacionar los resultados de las distintas variables climáticas procedentes de los datos observados en las estaciones meteorológicas y de reanálisis (Colmenero & Manzaneda, 2019).

5.4.2 Descarga de la información de Chelsa Climate

Se descargo la información meteorológica de Chelsa Climate, todos los datos de las variables de temperatura máxima, mínima, media, precipitación y evapotranspiración potencial de los años de 1990 al 2013, con la finalidad de determinar la precipitación efectiva y la evapotranspiración potencial con el método de Hargreaves simplificado y correlacionar estos valores con los datos de ETo descargados directamente de Chelsa Climate, cuyo software utiliza el método de Penman Monteih modificado y con esta información poder comparar los valores de ETo y Pe del cantón Zapotillo (Castillo, 2022).

5.4.3 Recorte de la información general de Chelsa Climate.

Una vez descargada la información de la base de datos Chelsa Climate, se procedió a recortar la información de todas las variables climáticas del cantón Zapotillo, que son necesarias para poder conocer la ETo y Pe, a través de los sistemas de información geográficos (Colmenero & Manzaneda, 2019).

5.4.4 Reducción de la escala de la información climática mediante SAGA GIS.

A través de la reducción de la escala se buscó mejorar la resolución espacial de la información obtenida de Chelsa Climate, la cual está representada mediante ráster, cuya resolución es de 1 km, con la ayuda de un dem y del programa SAGA GIS, se mejoró la resolución a 30 m (Castro, 2022).

5.4.5 Cambio de unidades

Para poder comparar los datos obtenidos del INAMHI y SENAMHI con los datos descargados de la variable de temperatura (máxima, mínima y media), se procedió a realizar el cambio de unidades. La información descargada estaba expresada en grados Kelvin (°K), mientras que para tener una concordancia con los datos obtenidos del INAMHI y SENAMHI se necesitaba conocer la temperatura en grados Celsius (°C). De igual manera, para poder conocer la semejanza o variabilidad de la información climática descargada de precipitación, que estaba expresada en unidades de $\text{Kg m}^{-2} \text{mes}^{-1/100}$ se necesitaba tenerla en unidades de mm (Böhner et al., 2017).

5.4.6 Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.

Con los mapas descargados de Chelsa Climate, se procede a sacar un promedio de todos los meses del año, para relacionarlos con los mapas obtenidos con la información de la base de datos del INAMHI- SENAMHI (Sanchez, 2023).

5.4.7 Correlación entre la información del INAMHI-SENAMHI y CHELSA.

Determinada la información de ETo y Pe con los datos del INAMHI y SENAMHI, al igual que con los datos obtenidos de Chelsa Climate, posteriormente se realizó la correlación entre las dos bases de información y se determinó un coeficiente de correlación, que debe ser próximo a 1 para que la información sea fiable, en caso de que el factor de corrección fuera muy cercano a 0, se consideraría como datos de poca veracidad, se determinó a través del coeficiente de correlación Pearson (Cueva, 2022).

5.4.7.1 Coeficiente de correlación de Pearson.

Para determinar el coeficiente de Pearson se utilizó datos de ETo obtenidos por el método de Hargreaves simplificado, tanto con la base de datos del INAMHI-SENAMHI y Chelsa Climate, estos datos fueron ordenados en Excel y posterior subidos al software Infostad, quien se encargada de determinar el coeficiente de Pearson, además en base a la Tabla 2 se puede conocer el tipo de correlación existente (Cueva, 2022).

Tabla 2.

Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Coeficiente de correlación	Interpretación
$r=1$	Correlacion 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: (Cueva, 2022).

5.4.8 Elaboración de mapas de valores continuos de datos climáticos

Para este punto, con los datos obtenidos de ETo y Pe se trabajó en los sistemas información geográficos y programas estadísticos para generar la base de datos de consulta y mapas temáticos del área de estudio (Mondragón, 2019).

6. Resultados

6.1 Resultados para el primer objetivo

“Recopilar la información 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 Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.

En base a la búsqueda de información que se realizó de las estaciones meteorológicas que tengan mayor influencia en la zona de estudio y que cuenten con datos de las principales variables climáticas, se seleccionó las estaciones meteorológicas Macara, Celica, Zapotillo, Catacocha, Lancones y Puerto Pizarro, cuya información se puede observar en la Tabla 3, en donde se puede evidenciar la información recopilada de cada una de las estaciones meteorológicas, como la información de cada una de las variables climáticas usadas y los años de información, cabe mencionar que se usó información adicional del SENAMHI de Perú. Parte de la información tabulada se puede conocer en los Anexos 11, 12,13, 14.

Tabla 3.

Información de las estaciones meteorológicas con mayor incidencia en la zona de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	VARIABLES CLIMATICAS	AÑOS DE INFORMACIÓN
M065	Macará	Temperatura (máxima, media, mínima) y precipitación	1965-1983
M148	Celica	Temperatura (máxima, media, mínima) y precipitación	1989-2012
M151	Zapotillo	Temperatura (máxima, media, mínima) y precipitación	1989-2012
M515	Catacocha	Temperatura (máxima, media) y precipitación	1965-1981
472FD6CE	Lancones	Temperatura (máxima, media, mínima).	1991-2015
103038	Puerto Pizarro	Temperatura (máxima, media, mínima) y precipitación	2002-2014

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Base de datos para estimar evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.

Se tabulo y se rellenó la información climática de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio y se obtuvo sus valores medios, cuyo valor será el que servirá para la investigación y se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 4.
Precipitación mensual (mm) de cada estación.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MACARA	67,12	114,13	262,07	112,78	34,14	9,85	0,59	0,65	1,35	6,67	4,13	26,72
CELICA	195,10	296,55	308,36	163,78	39,88	7,55	3,19	0,70	6,85	17,02	22,45	60,93
ZAPOTILLO	84,28	184,26	305,55	143,43	26,21	5,83	0,28	0,10	1,08	2,16	6,28	21,69
CATACUCHA	130,04	191,13	221,59	155,26	48,69	8,22	3,65	6,44	14,75	33,61	27,69	60,45
LANCONES	113,77	848,39	1053,66	186,73	21,23	0,54	0,31	0,00	0,00	7,62	6,23	7,92
PUERTO												
PIZARRO	45,27	111,03	101,65	55,56	16,20	0,60	0,97	0,15	0,40	1,82	7,26	31,05

Fuente: Anuarios del INAMHI Y SENAMHI.

Tabla 5.
Temperatura máxima mensual (°C) de cada estación.

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MACARA	34,43	34,50	33,71	33,23	32,92	32,61	32,64	33,20	33,77	34,37	34,13	34,08
CELICA	20,26	19,77	20,36	20,52	20,80	20,86	21,13	21,52	21,69	21,67	21,60	21,00
ZAPOTILLO	34,37	33,88	33,35	32,65	31,55	30,65	30,94	31,60	32,81	32,99	33,45	33,90
CATACUCHA	25,60	25,49	25,61	25,19	25,66	25,59	25,65	26,12	26,59	26,66	26,51	26,56
LANCONES	33,60	34,04	34,00	33,64	31,31	29,27	29,06	29,48	30,19	30,40	31,26	31,99
PUERTO												
PIZARRO	30,46	31,40	31,85	30,90	30,73	28,96	28,15	26,94	27,42	28,42	29,12	29,97

Fuente: Anuarios del INAMHI Y SENAMHI.

Tabla 6.
Temperatura media mensual (°C) de cada estación.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MACARA	25,85	25,92	25,61	25,31	24,49	23,61	23,50	24,02	24,68	24,98	25,18	25,74
CELICA	15,05	15,06	15,38	15,57	15,84	20,10	15,93	16,05	16,03	15,95	15,80	15,43
ZAPOTILLO	27,52	26,85	26,96	26,65	26,00	24,88	24,51	24,58	25,15	25,40	25,92	26,61
CATACUCHA	17,70	17,74	17,49	17,82	18,22	18,38	18,64	18,59	18,76	18,79	18,51	18,35
LANCONES	27,26	28,03	27,90	27,67	25,66	23,39	22,97	23,38	23,75	23,70	24,67	25,59
PUERTO												
PIZARRO	26,51	27,52	27,86	26,99	26,96	25,45	24,61	23,43	23,91	24,55	25,40	26,11

Fuente: Anuarios del INAMHI Y SENAMHI.

Tabla 7.
Temperatura mínima mensual (°C) de cada estación.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MACARA	17,49	18,42	18,18	16,96	16,46	15,01	13,75	14,02	14,12	14,26	14,24	15,43
CELICA	12,03	12,56	12,31	12,43	12,48	12,19	12,12	11,97	11,96	11,81	11,63	11,77
ZAPOTILLO	20,55	21,15	20,71	20,09	18,96	17,69	16,70	15,98	16,07	16,93	17,81	18,66
LANCONES PUERTO	20,92	22,01	21,80	21,70	20,00	17,51	16,88	17,28	17,31	17,69	18,07	19,20
PIZARRO	22,55	23,65	23,87	23,09	23,19	21,94	21,07	19,92	20,39	20,67	21,67	22,25

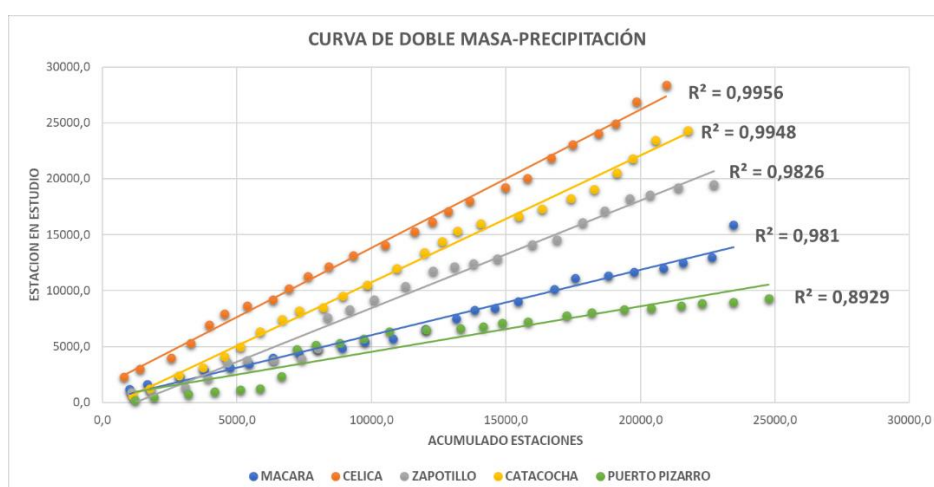
Fuente: Anuarios del INAMHI Y SENAMHI.

6.1.3 Validación de datos de las estaciones meteorológicas.

6.1.3.1 Precipitación.

En la Figura 1, se puede apreciar el comportamiento de la precipitación a lo largo de los años, en donde los valores máximos de precipitación son para la estación meteorológica Mercadillo y la precipitación mínima es para la estación meteorológica Puerto Pizarro. En el análisis de la curva de doble masa, se puede evidenciar en todas las estaciones meteorológicas la gran fiabilidad de la información, debido a que el coeficiente de determinación (R^2) es muy cercano a 1 en todos los casos, siendo la más cercana la estación meteorológica Celica ($R^2 = 0,9956$) y la más lejana es la estación meteorológica Puerto Pizarro con ($R^2 = 0,8929$).

Figura 1.
Análisis de doble masa de la variable precipitación (mm).



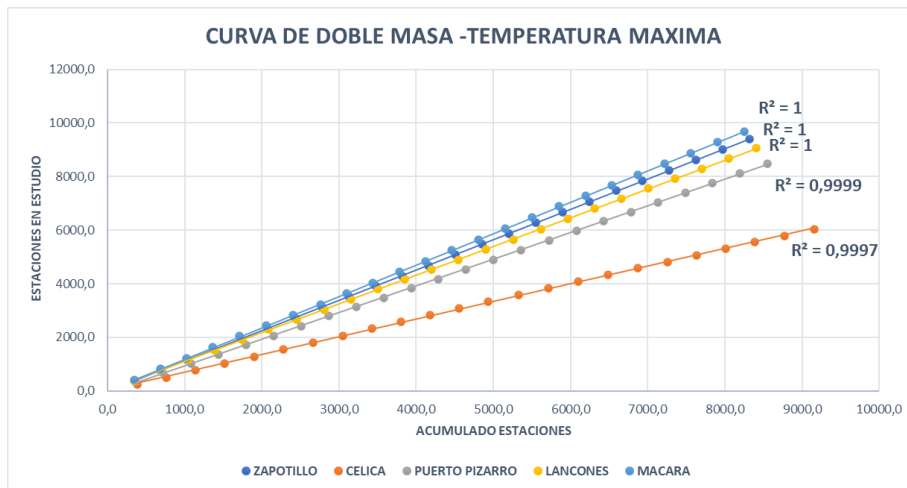
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.2 Temperatura máxima.

En la Figura 2, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura máxima a lo largo del tiempo, donde existe una gran relación en la mayoría de la información de las estaciones en estudio. En el análisis de la curva de doble masa, se puede evidenciar que en las 5 estaciones existe una gran veracidad de la información debido a que los coeficientes de determinación (R^2) son muy cercanos a 1, el valor máximo, está presente en la estación meteorológica Zapotillo ($R^2 = 1$) y el mínimo se encuentra en la estación meteorológica Celica ($R^2 = 0,9997$).

Figura 2.

Análisis de doble masa de la variable temperatura máxima ($^{\circ}C$).

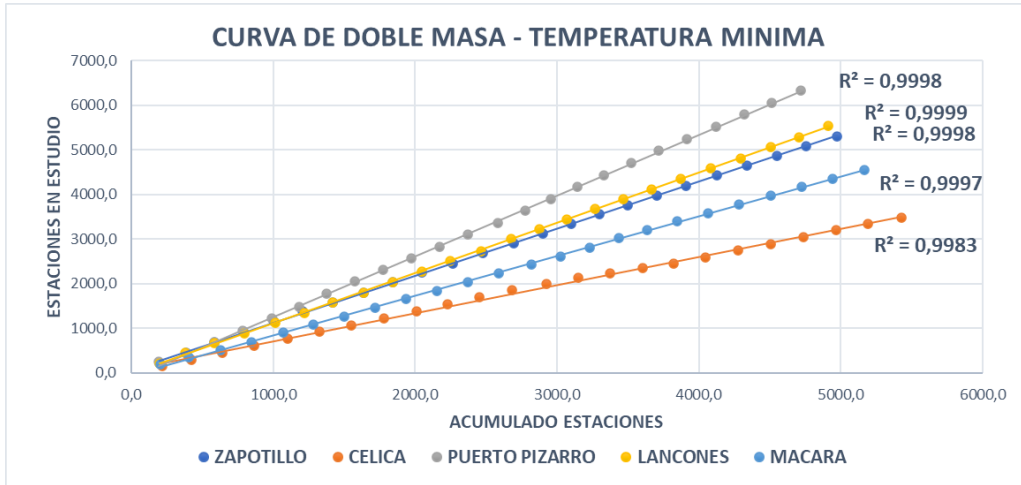


Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.3 Temperatura mínima.

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento a lo largo de este periodo de tiempo. En el análisis de la curva doble masa de la temperatura mínima de las 5 estaciones meteorológicas, se obtuvo en todas las estaciones valores semejantes a un $R^2 = 0,99$ expresando una gran fiabilidad de la información. Puesto que el valor máximo es 1.

Figura 3.
Análisis de doble masa de la variable temperatura mínima (°C).

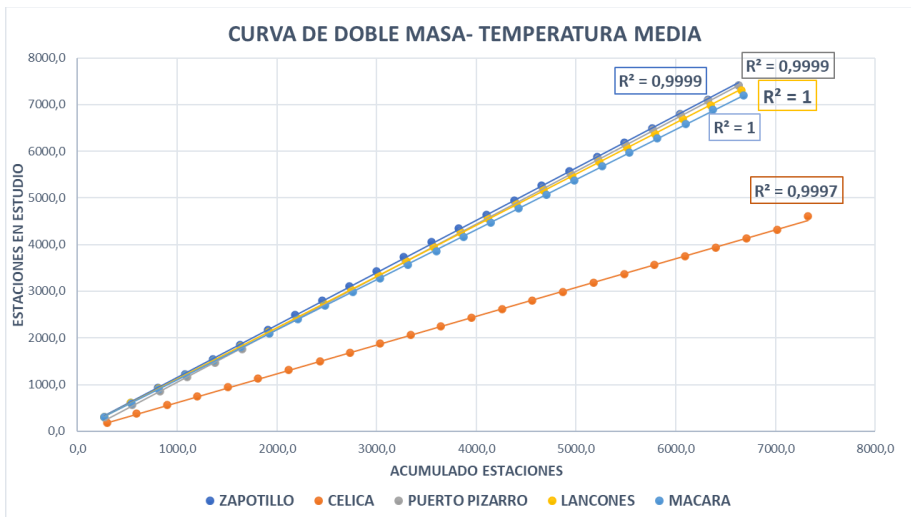


Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.4 Temperatura media.

Se puede observar el comportamiento de la temperatura media a lo largo del tiempo de las estaciones que tuvieron influencia en la zona de estudio en la Figura 4. En el análisis de la curva de doble masa con los datos de las 5 estaciones meteorológicas, cuyos resultados son positivos debido que todos los valores de R² eran semejantes entre sí, obteniendo en todos los casos un R²= 0,99, que demuestra una gran veracidad de la información recopilada.

Figura 4.
Análisis de doble masa de la variable temperatura media (°C).



Fuente: Elaboración propia.

6.2 Resultados para el segundo objetivo

“Calcular la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, mediante diferentes métodos empíricos que se adapten a los datos observados y de reanálisis”

6.2.1 Determinación de la evapotranspiración potencial (ET_o).

En base a la interpolación de los datos de las estaciones meteorológicas que presentan influencia en la zona de estudio, se determinó la evapotranspiración potencial, mediante la ecuación de Hargreaves simplificado, donde el valor máximo es en el mes de octubre con 5,6 mm día-1 y el valor mínimo en el mes de junio con 4,3 mm día-1, como lo indica en la Figura 5.

En la Figura 6 se representan a través de mapas los valores de la evapotranspiración potencial de todos los meses del año, en toda la extensión del cantón Zapotillo, determinados con los datos del INAMHI y SENAMHI, donde el color verde indica los valores más bajos que es predominante en las parroquias Cazaderos y Mangahurco, mientras que la coloración roja indica los valores altos de ET_o, que se puede evidenciar en las parroquias de Garzareal, Limones y Zapotillo, cuya información mantiene la misma tendencia a lo largo del año.

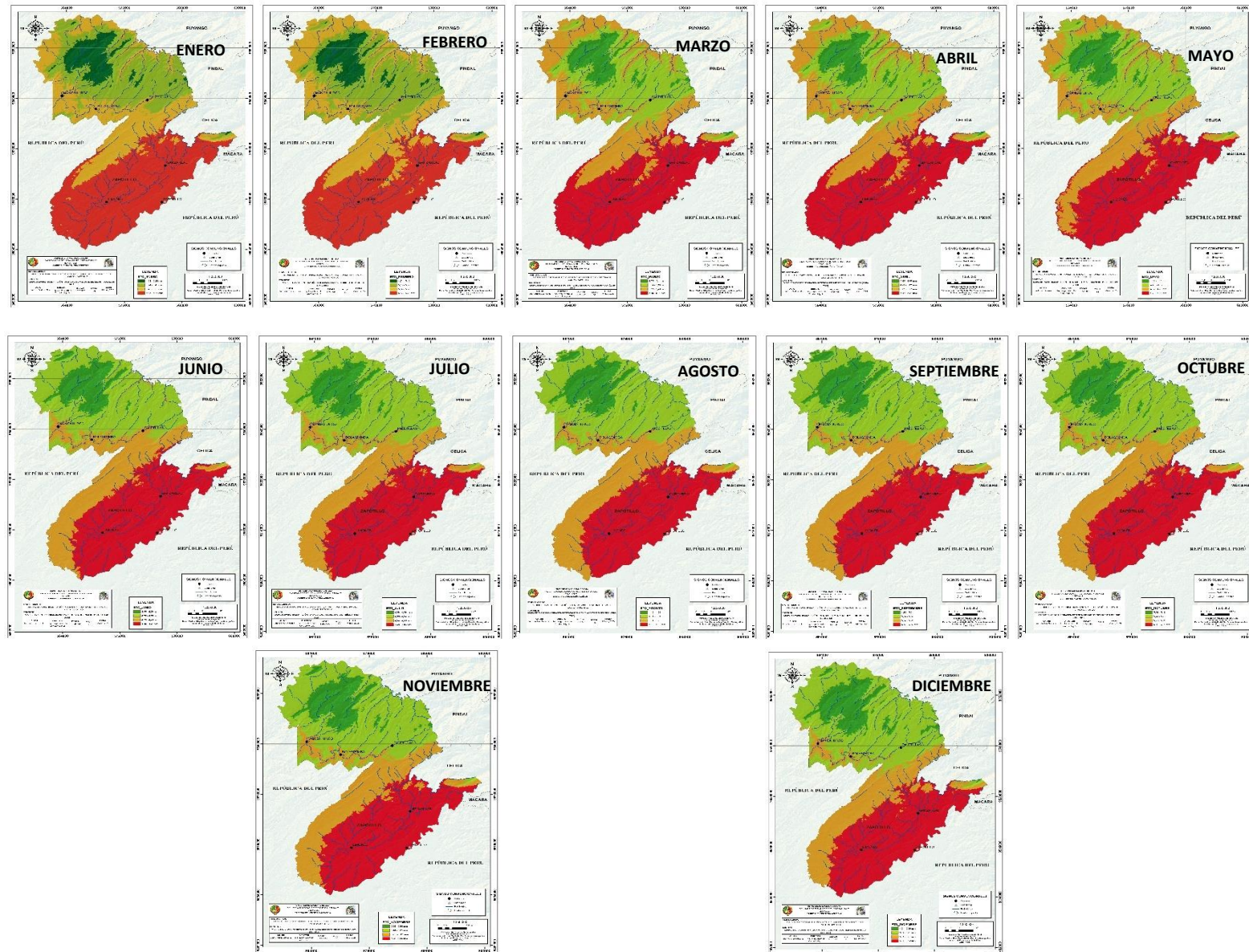
Figura 5.

Evapotranspiración potencial (mm), con datos del INAMHI-SENAMHI, por el método de Hargreaves simplificado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.
Mapa de evapotranspiración potencial con datos del INAMHI-SENAMHI



Con la información de las variables meteorológicas descargada de Chelsa Climate, se determinó evapotranspiración potencial, mediante la ecuación de Hargreaves simplificado, obteniendo como resultado que los meses con mayor ETo son octubre con 4,9 mm día-1 y noviembre con 4,87 mm día-1, finalmente los meses con menor ETo son mayo con 3,9 mm día-1 y junio con un valor de 3,84 mm día-1, acorde a los datos de la Figura 7.

En la Figura 8 se representan a través de mapas los valores de la evapotranspiración potencial de todos los meses del año, en toda la extensión del cantón Zapotillo, determinados con los datos de Chelsa Climate, donde el color verde indica los valores más bajos que corresponden a las parroquias de Cazaderos, Mangahurco, Bolaspamba y Paletillas, mientras que la coloración roja indica los valores altos de Eto que es predominante en gran extensión de las parroquias Zapotillo y Limones.

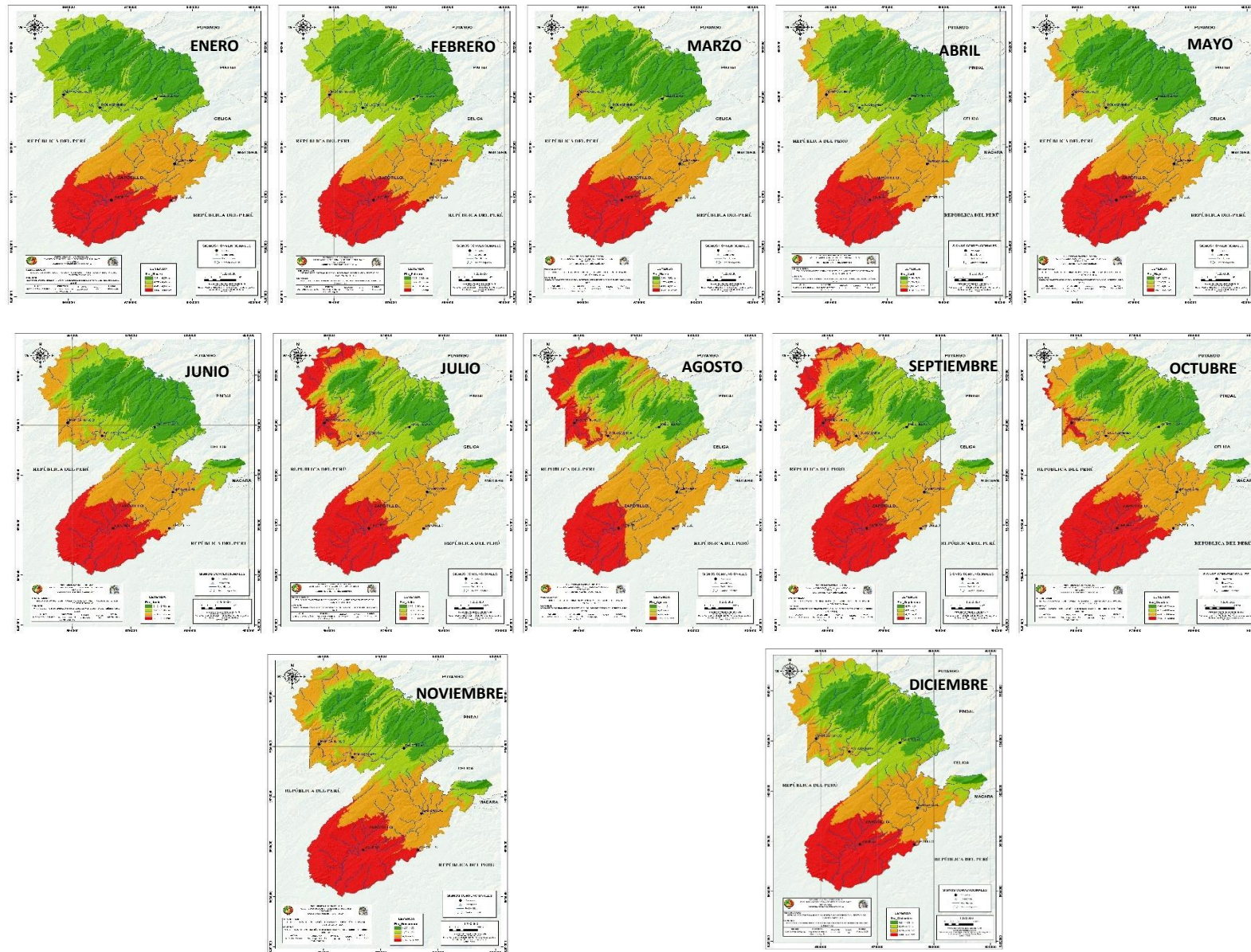
Figura 7.

Evapotranspiración potencial (mm) con los datos de Chelsa Climate, con el método de Hargreaves simplificado, periodo 1990-2013.



Fuente: Elaboración propia.

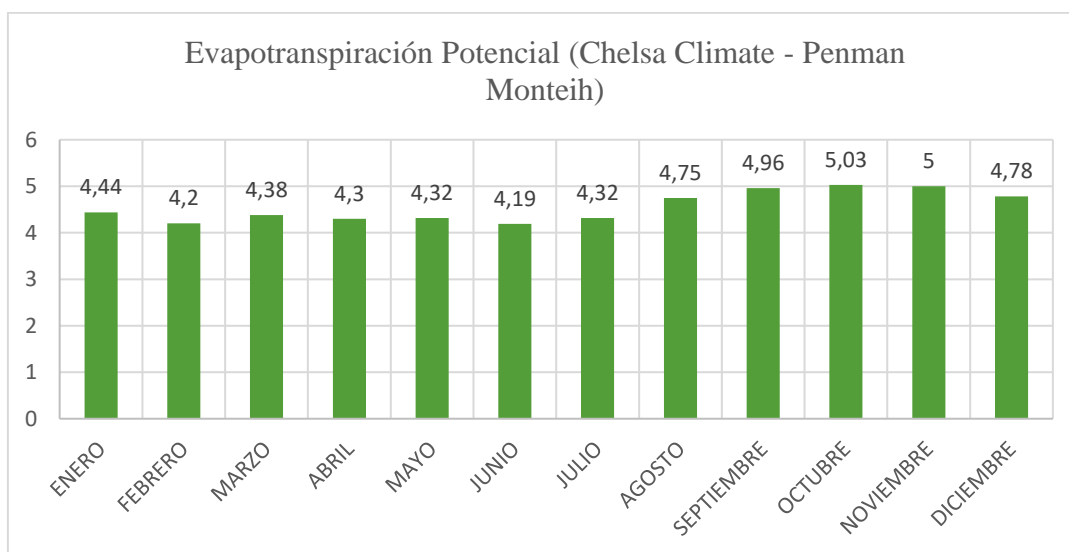
Figura 8.
Mapas de evapotranspiración potencial de Zapotillo con datos de Chelsa Climate, por el método de Hargreaves simplificado.



Con la información de las variables meteorológicas descargada de Chelsa Climate, se determinó evapotranspiración potencial, mediante la ecuación de Penman Monteih simplificado, obteniendo como resultado los datos de la Figura 9, en donde los meses con mayor ETo son octubre con 5,03 mm día-1 y noviembre con 5 mm día-1 y finalmente los meses con menor ETo son febrero con 4,20 mm día-1 y junio con un valor de 4,19 mm día-1.

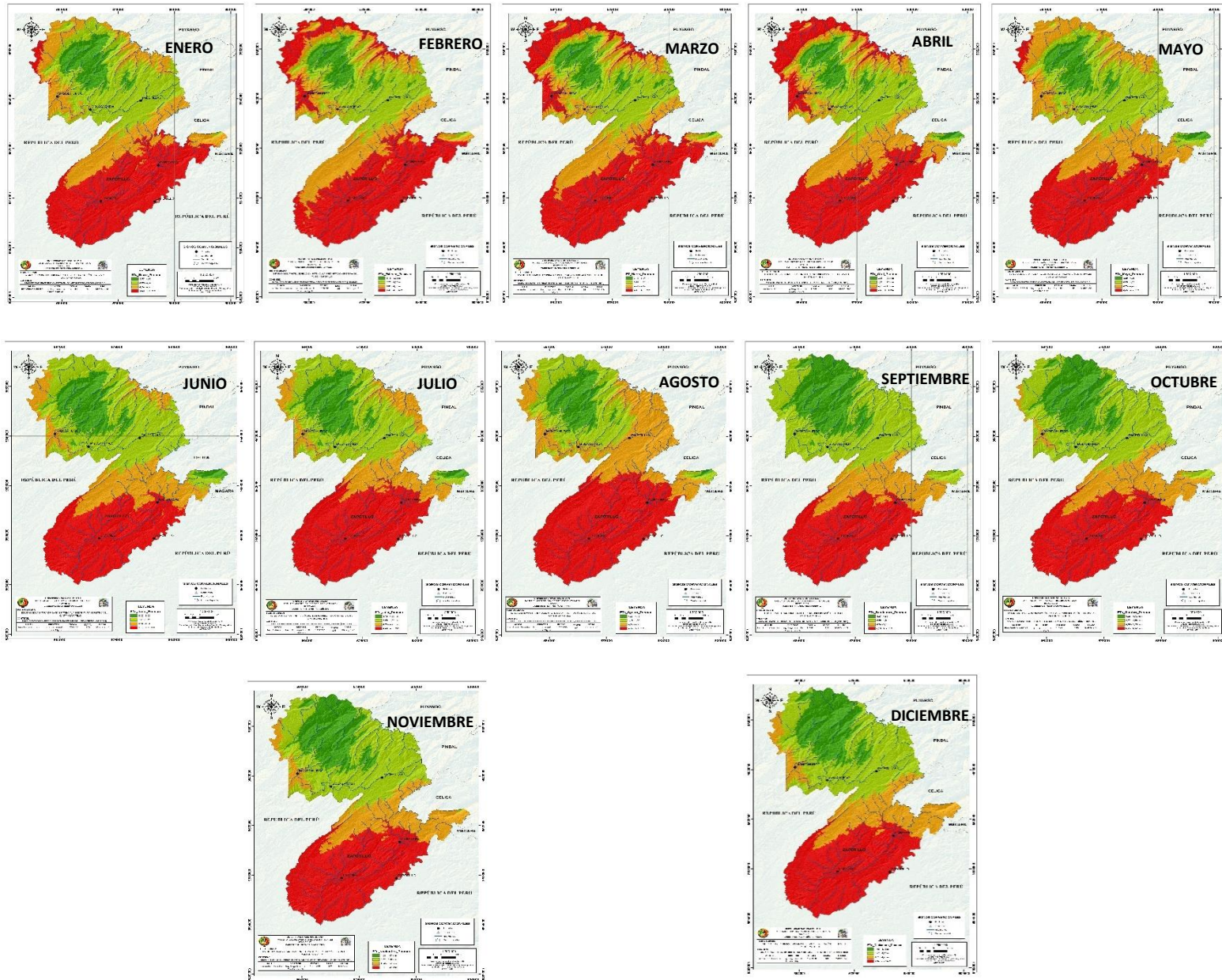
En la Figura 10 se representan a través de mapas los valores de la evapotranspiración potencial de todos los meses del año, en toda la extensión del cantón Zapotillo, determinados con los datos de Chelsa Climate, donde los valores inferiores tienen una coloración verde , que predominan en las parroquias de Mangahurco y Bolaspamba y Paletillas, mientras que los valores más elevados de Eto se indica con una coloración roja, que se evidencia a lo largo del año en las parroquias de Limones y Zapotillo.

Figura 9. Evapotranspiración potencial (mm) con los datos de Chelsa Climate, con el método de Penman Monteih simplificado, periodo 1990-2013.



Fuente: Elaboración propia.

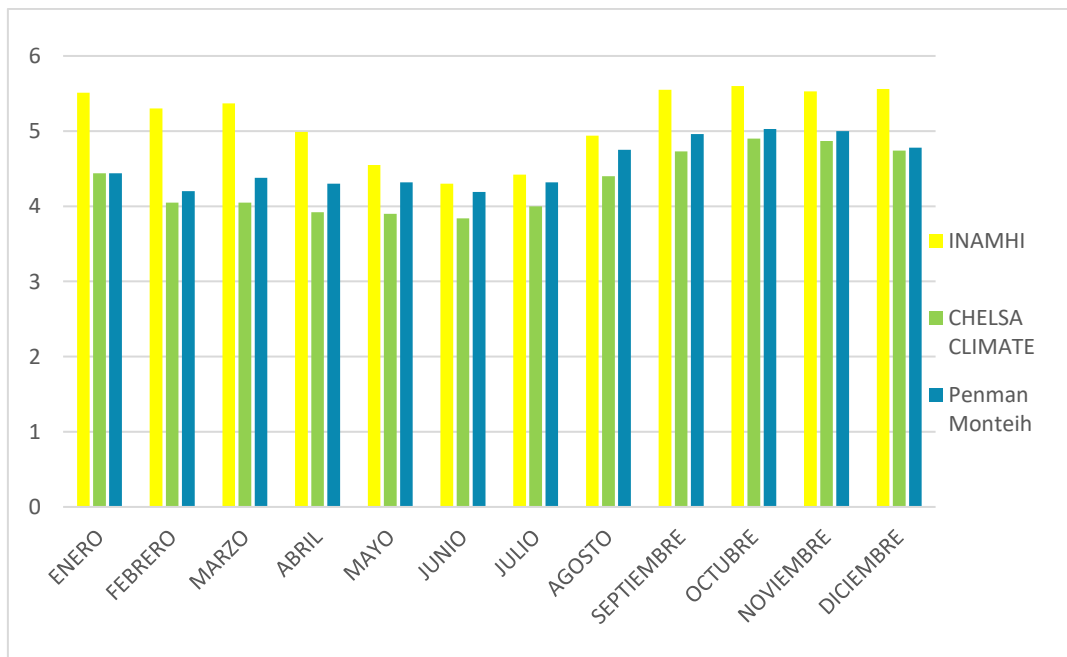
Figura 10.
Mapas de evapotranspiración potencial de Zapotillo con datos de Chelsa Climate, por el método de Penman Monteih.



En base a la comparación de los resultados obtenidos de evapotranspiración potencial, por el método de Hargreaves simplificado y por el método de Penman Monteih, se puede observar en la Figura 11, que se mantiene la misma tendencia de la información, donde los meses con mayor valor de ETo son octubre (5,3 mm dia-1), noviembre (5,4 mm dia-1) y los meses con valores mínimos son mayo (4,3 mm dia-1) y junio (4,2 mm dia-1), esta información mantiene la tendencia con los tres tipos de resultados.

Figura 11.

Gráfico comparativo de datos de ETo del INAMHI-SENAMHI, Chelsa Climate y Chelsa Climate por el método de Penman Monteih.



Fuente: Elaboración propia.

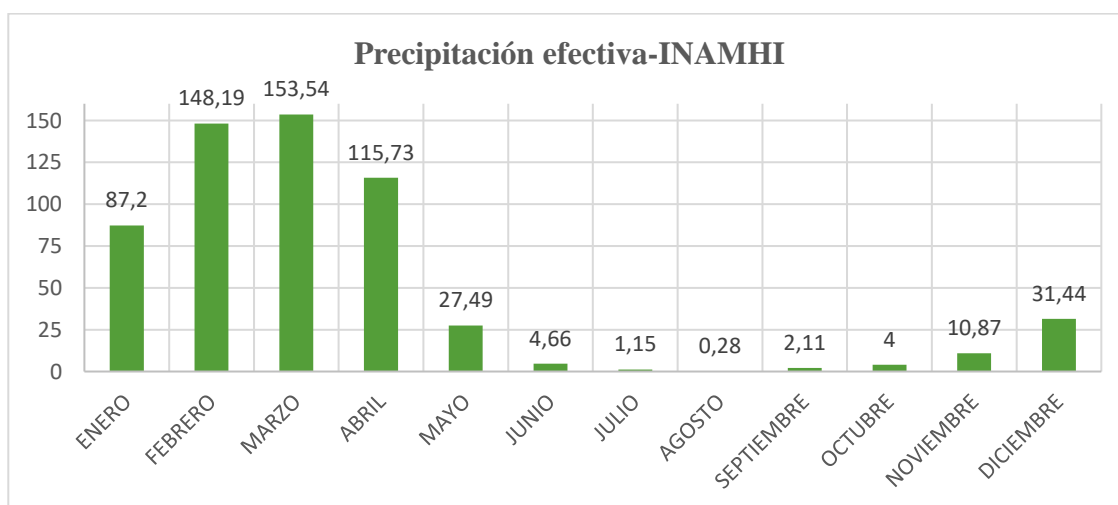
6.2.2 Determinación de la precipitación efectiva (Pe).

En la Figura 12, se puede conocer los valores de la precipitación efectiva del cantón Zapotillo, obtenidos mediante la fórmula de la USDA, los cuales son el resultado de la interpolación de los datos de las diferentes estaciones meteorológicas, que tienen incidencia en la zona de estudio, se ha obtenido datos de precipitación efectiva, donde el valor máximo es 153,54 mm que se presenta en el mes de marzo y el valor mínimo en el mes de agosto con 0,28 mm.

La Figura 13 muestra los resultados obtenidos de la precipitación efectiva (Pe) estimada con el método de la USDA, con los datos climáticos de INAMHI, SENAMHI. Se observa que la tendencia de Pe es similar en todo el año, con valores máximos en febrero (148 mm día-1) y marzo (153 mm día-1) y valores mínimos en julio (1,15 mm día-1) y agosto (0,28 mm día-1). Siendo más representativos los valores máximos para las parroquias de Cazaderos, Mangahurco, Paletillas, Bolaspamba, y los valores mínimos para las parroquias de Limones y Zapotillo

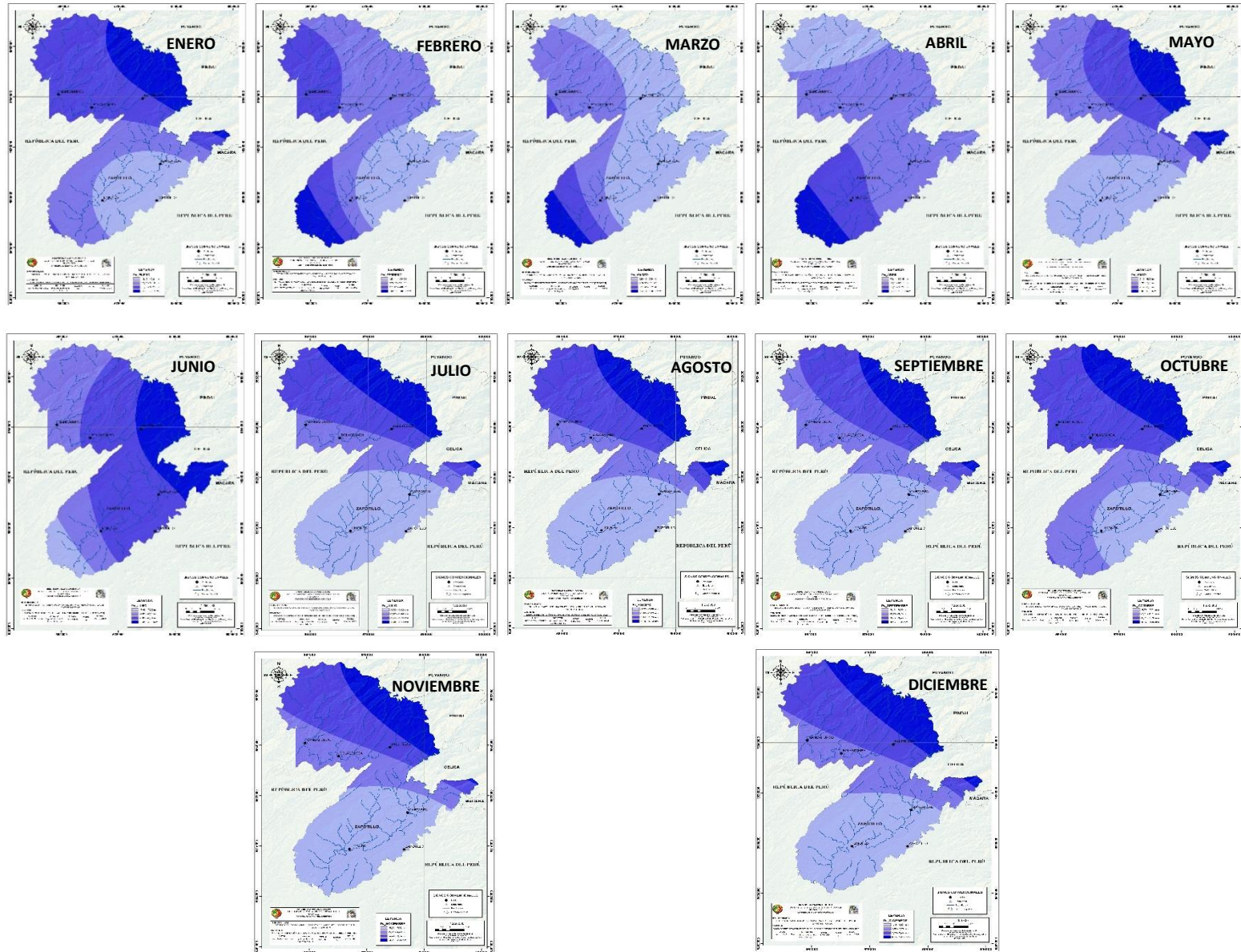
Figura 12.

Precipitación efectiva (mm) con datos obtenidos del INAMHI-SENAMHI.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13.
Mapas de precipitación efectiva del cantón Zapotillo con datos del INAMHI-SENAMHI.

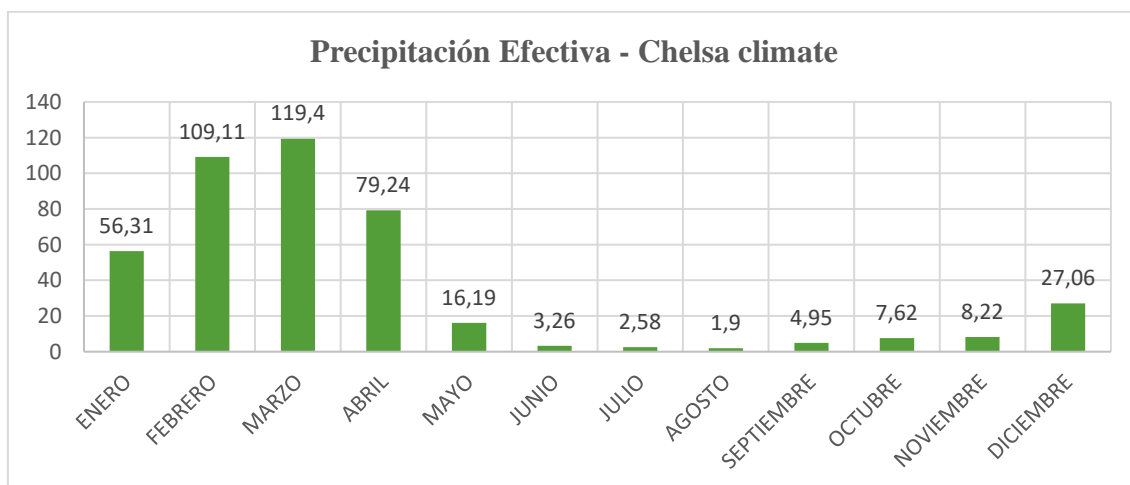


A través de la información provista de Chelsa Climate, se obtuvo los siguientes resultados de precipitación efectiva, determinados con la fórmula de la USDA, donde se puede evidenciar que la mayor precipitación efectiva es en el mes de marzo con 119,4 mm y la menor precipitación efectiva en el mes de agosto con 1,9 mm, tal como lo evidencia la Figura 14.

En la Figura 15 se representan los valores de la precipitación efectiva de todos los meses del año del cantón Zapotillo, determinados con los datos de Chelsa Climate, donde el color claro indica los valores más bajos, que son en los meses de Julio (2,58 mm día-1) y agosto (1,9 mm día-1) y que son más representativos en las parroquias de Limones y Cazaderos. mientras que la coloración oscura indica los valores altos que son en los meses de febrero (109,11 mm día-1) y marzo (119,4 mm día-1), que se evidencian en las parroquias de Bolaspamba, Paletillas y Garzareal.

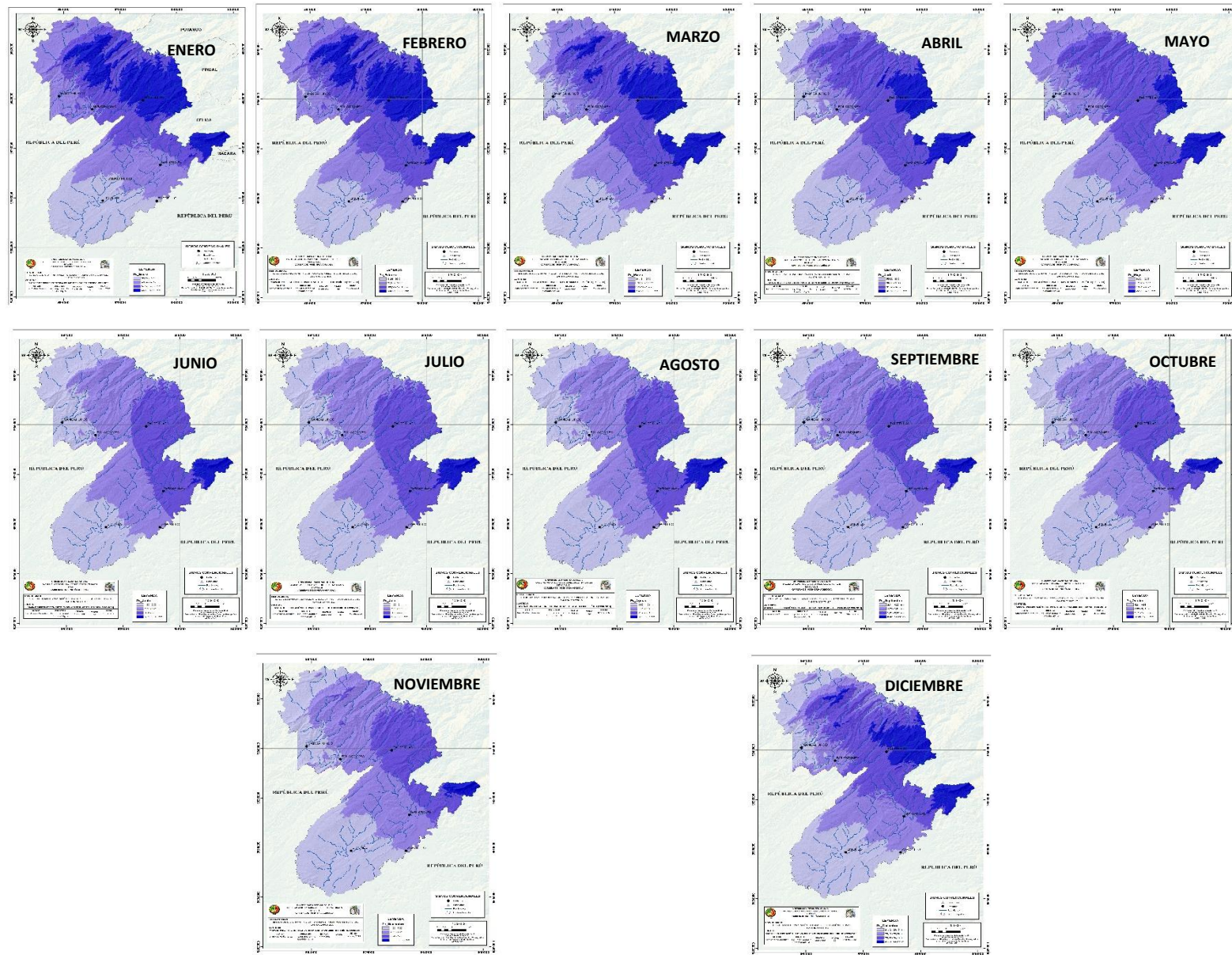
Figura 14.

Precipitación efectiva (mm) con los datos de Chelsa Climate, periodo 1990-2013



Fuente: Elaboración propia.

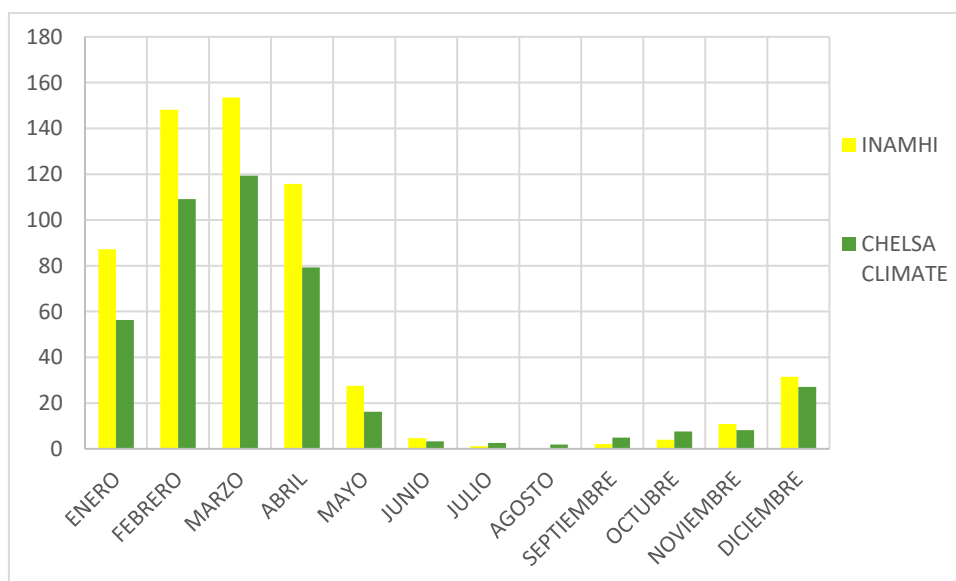
Figura 15.
Mapas de precipitación efectiva con datos de Chelsa Climate.



La Figura 16 muestra la comparación de la precipitación efectiva (Pe) estimada con el método de la USDA, con los datos climáticos de INAMHI, SENAMHI y Chelsa Climate. Se observa que la tendencia de Pe es similar en las dos fuentes de información, con valores máximos en febrero (148 mm día-1) y marzo (153 mm día-1) y valores mínimos en julio (1,15 mm día-1) y agosto (0,28 mm día-1).

Figura 16.

Gráfico comparativo de datos de Pe, del INAMHI-SENAMHI y Chelsa Climate.



Fuente: Elaboración propia.

6.3 Coeficiente de correlación de Pearson.

En la Tabla 8 se puede conocer el valor determinado a través del software estadístico Infostad con los resultados obtenidos de ETo, cuyo valor es 0,78 que es un valor cercano a 1, y por ende según la Tabla 2, es una correlación alta.

Tabla 8.

Correlacion de Pearson: Coeficientes/ probabilidades.

	INAMHI-SENAMHI	CHELSA CLIMATE
INAMHI-SENAMHI	1	2,6E-03
CHELSA CLIMATE	0,78	1

Fuente: Elaboración propia.

7. Discusiones

7.1 Recopilar la información de las variables climáticas que inciden en el cálculo de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva en el cantón Zapotillo.

Se selecciono las estaciones meteorológicas en base a ciertos criterios como su ubicación respecto a la zona de estudio, disponibilidad de la información de las variables climáticas, y se usó la información de los años disponibles de cada una de las estaciones, sin embargo, esta información difiere con Fernández, (2019), que recomienda usar datos de estaciones meteorológicas de mínimo 30 años, para que la información tenga mayor veracidad.

7.1.1 Descarga y tabulación de la información climática del INAMHI.

Al momento de recopilar la información de las estaciones meteorológicas, existieron factores limitantes, como el difícil acceso a estos anuarios, datos faltantes etc. Este último es uno de los más complejos, ocasionado principalmente por fallas del equipo, negligencia del operador o ausencia de un operador capacitado en la estación, lo que coincide con la investigación de Gallegos et al. (2016), en cuya investigación compara los métodos de rellenos de datos faltantes y selecciona el mejor método para poder calcular los registros de datos diarios de precipitación, temperatura máxima, media y mínima, de las estaciones climatológicas de San Luis Potosí, México, información que es corroborada por Herrera et al., (2017) en su investigación en donde estima datos faltantes de precipitación en la cuenca Guadalupe, Baja california, México.

7.1.2 Relleno de datos faltantes

En el relleno de datos faltantes de los anuarios meteorológicos, se aplicó los siguientes métodos; media aritmética, Jansa Guardiola y razón normal, cada uno de los métodos se adapta a una determinada situación dentro de la investigación, estos métodos también fueron usados en la investigación de Gonzalez (2022), quien analizo los mismos métodos para el relleno de datos faltantes, y obtuvo resultados muy positivos en su investigación, esta información es respaldada por Herrera et al. (2017), quien relleno datos faltantes en su investigación y realizo una comparación entre los métodos de la razón normal y regresión lineal, obteniendo resultados muy positivos y determinando que el método de la regresión lineal es 1,5 veces mejor que el método de la razón normal.

7.1.2.1 Métodos de relleno de datos.

En la presente investigación se ajustaron 4 métodos a la tendencia de la información climática, los cuales son el método de la regresión lineal, media aritmética, Jansa Guardiola, razón normal, cada uno de ellos se ajusta a una circunstancia diferentes, en el caso del método de la media aritmética que según Gonzalez, (2022), es ideal cuando la información de las estaciones difiere menos de un 10% de la información registrada en la estación base, lo cual es muy diferente cuando se utiliza el método de la razón normal que según (Carrera, 2003) se aplica cuando la información difiere más del 10%, y el método de Jansa Guardiola es ideal cuando existe un vacío de información, en el cual se puede manipular los datos anteriores y posteriores para obtener el dato faltante, este método es el de más baja complejidad, y a la vez el que requiere mayor cantidad de información (Gonzalez, 2022).

7.1.3 Validación de datos de las estaciones meteorológicas.

Análisis de consistencia de datos.

De los resultados obtenidos en el análisis de la curva de doble masa de las variables climatológicas, se puede evidenciar que no existe desviaciones considerables a lo largo de los años en estudio, además en la variable precipitación se pudo conocer que la estación meteorológica que tiene los valores más elevados es la estación de Celica.

En las tablas de las variables climáticas se puede conocer que existe homogeneidad en la información, con valores de R^2 próximos a 1, cuyo valor mínimo es de 0,89 esto nos da a conocer que la información climatológica es muy fiable, lo que corrobora Fernández, (2019) en su investigación, en donde da a conocer que cuando el valor de R^2 es cercano a 1, la serie se considera estacionaria.

7.2 Calcular la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, mediante diferentes métodos empíricos.

7.2.1 Cálculo de la Evapotranspiración potencial (Eto).

En base a los resultados obtenidos en el cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de Hargreaves simplificado, cuya ecuación fue la que se adaptó a la disponibilidad de la información del INAMHI - SENAMHI, se obtuvo valores máximos en el mes de octubre (5,6 mm día⁻¹) y diciembre (5,56 mm día⁻¹), mientras que los

valores mínimos son en el mes de junio (4,3 mm día-1) y julio (4,42 mm día-1), como segundo método para determinar ETo se usó el método de Penman Monteih, cuya información se descargó de Chelsa Climate, y luego la información fue trabajada con la misma metodología de los datos anteriores, y se determinó que el mes con la evapotranspiración potencial más elevada fue el mes de octubre con 5,03 mm día-1 y el valor más bajo fue en el mes de junio con 4,19 mm día-1, información que corrobora (Sanchez, 2023), quien en su investigación obtiene resultados similares a los de la presente investigación, así mismo, estos resultados coinciden con Valencia, (2010), donde determino la ETo de Zapotillo con el Software CROPWAT 8.1 de la FAO (2006), cuyos resultados mantienen la misma tendencia de la información a los indicados, pero con valores inferiores.

Los resultados obtenidos en la presente investigación difieren de los de la investigación de Valencia (2010), debido a que se utilizaron fórmulas distintas para determinar la evapotranspiración potencial (ETo). El software Cropwat emplea la fórmula de Penman Monteih modificado, que se basa en más datos meteorológicos y ofrece valores más ajustados. La metodología de Hargreaves simplificado, en cambio, solo utiliza datos de temperatura y radiación, lo que puede generar valores diferentes. Otro factor que influye en el resultado es la cantidad de datos meteorológicos considerados, ya que Valencia (2010) usó datos del período 1970-2006, provistos por PREDESUR.

El método de Penman Monteih modificado se utilizó para estimar la evapotranspiración (ETo) con los datos climáticos de Chelsa Climate. Estos resultados se compararon con los obtenidos por Valencia (2010), que también aplicó el mismo método con datos provistos por PREDESUR. Por su parte, Sánchez (2023), menciona que la variabilidad de la información se explica por las diferentes fuentes y periodos de los datos climáticos. Por ende, en este estudio, se usaron datos directos de Chelsa Climate correspondientes a los años 1990-2013, mientras que Valencia (2010) usó datos de los años 1970-2006.

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos con la información de Chelsa Climate y los datos del INAMHI- SENAMHI muestra que ambos conjuntos de datos presentan una tendencia similar, pero con una variación significativa en los valores. Los datos del INAMHI- SENAMHI arrojan los valores más altos de evapotranspiración potencial del cantón Zapotillo, mientras que los datos de Chelsa Climate reportan los

valores más bajos. Esta variación puede deberse al tipo de datos utilizados, ya que según Gutiérrez (2013), el INAMHI- SENAMHI se basa en la medición diaria y directas en cada estación meteorológica, mientras que Böhner et al. (2017) afirman que Chelsa Climate emplea datos de reanálisis global, lo que puede generar diferencias en los valores estimados de evapotranspiración potencial.

7.2.2 Determinación de la precipitación efectiva

Según el método de la USDA, la precipitación efectiva en el cantón Zapotillo muestra una marcada estacionalidad, con valores máximos en febrero (148,19 mm), marzo (153,54 mm) y mínimos en julio (1,15 mm) y agosto (0,28 mm). Estos resultados coinciden con los reportados por el GAD cantonal Zapotillo (2019), que se basan en la precipitación observada en el área de estudio. Sin embargo, al comparar los datos del INAMHI con los de Chelsa Climate, se observa una diferencia significativa, siendo los primeros más altos que los segundos. Esta discrepancia puede deberse al tipo de datos utilizados, ya que el INAMHI-SENAMHI registra las lecturas diarias de cada estación meteorológica, mientras que Chelsa Climate emplea datos de reanálisis global, según explican Böhner et al. (2017). Por lo tanto, se recomienda tener en cuenta esta variabilidad al estimar la precipitación efectiva del cantón Zapotillo.

7.3 Coeficiente de correlación de Pearson.

Según la Tabla 3, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0,78 cuyo resultado indica que es una correlación alta, mientras que Cueva (2022) en su investigación “Correlación estadística de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas durante el periodo 2014-2021” , obtiene resultados positivos al determinar el coeficiente de correlación de Pearson, en las principales variables climáticas y corrobora el resultado obtenido en esta investigación, debido a que menciona que cuando el coeficiente de correlación está en un rango de 0,75 a 1, se la considera una correlación alta.

8. Conclusiones

- La evapotranspiración potencial mantiene la misma tendencia de la información, tanto con los datos del INAMHI-SENAMHI, como con los datos de Chelsa Climate, al igual que con los métodos utilizados que fueron el de Hargreaves simplificado y Penman Monteih modificado, cuyo valor máximo se da en el mes de octubre y su valor mínimo en el mes de junio.
- 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-SENAMHI y Chelsa Climate, presentan su máximo valor en el mes marzo y el valor mínimo en el mes de agosto.
- La base de datos Chelsa Climate, es una gran fuente de información meteorológica en caso de que en las estaciones circundantes a la zona de estudio no cuenten con mayor información.

9. Recomendaciones

- Realizar convenios con las entidades encargadas de manejar los datos climatológicos del Ecuador, para poder obtener información actualizada y tener un rango de información más amplio, con los cual se busca tener información con mayor grado de veracidad.
- Aplicar otros métodos en la determinación de la evapotranspiración potencial usando la información del INAMHI-SENAMHI, para enriquecer la información del cantón Zapotillo.
- 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 riego y de esta manera contribuir a la conservación de los recursos hídricos.

10. Bibliografía

- Allen et al. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán*, 45. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Allen, R. (2006). Evapotranspiración de referencia (ET_o) Ecuación de FAO Penman-Monteith. *Evapotranspiración Del Cultivo*, 86. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Blanco, F. (2017). Capítulo primero Los recursos hídricos en el mundo : cuantificación y - distribución Félix Blanco y de la Torre. *El Agua: ¿fuente de Conflicto o Cooperación?*, 21–70. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115629>
- Böhner et al. (2017). CHELSA V2.1: Technical specification. *Scientific Data*, 4.
- Bruna, P., & Ortega, M. (2018). Introducción a la evapotranspiración del agua en las plantas cultivadas. *Centro de Transferencia Agroalimentaria*, 8. https://www.aragon.es/documents/20127/674325/IT_269-18.pdf/9712441a-f8c1-e991-2831-5bc8dbded142
- Castillo, P. (2022). *Distribucion potencial de grallaria ridgelyi jocoto para la identificacion de zonas prioritarias de conservacion en las zonas sureste de Ecuador y norte de Peru*. 18. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24549/1/Pablo Andrés Castillo Escobar.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24549/1/Pablo%20Andr%C3%A9s%20Castillo%20Escobar.pdf)
- CEPAL. (1991). *América latina y el Caribe: el manejo de la escasez de agua*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/9252/S9100516_es.pdf
- Colmenero, D. F., & Manzaneda, A. (2019). *Modelos de distribución de árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares*. https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/11369/1/TFM_COLMENERO-BLANCA-DF.pdf
- Contreras, J. J. (2015). *Análisis Comparativo De Cuatro Modelos De Evapotranspiración De Referencia En La Microcuenca Del Río Quinuas*. 20–40. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21725>
- Cueva, E. (2022). *“CORRELACIÓN ESTADÍSTICA DE ESTACIONES*

METEOROLÓGICAS CONVENCIONALES Y AUTOMÁTICAS DURANTE EL PERIODO 2014-2021” Proyecto.

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9720/1/PC-002470.pdf>

Estévez y Gavilan. (2015). *Procedimientos de validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas . Aplicación a la Red de Información ... August*, 1–12.

FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. In *Informe Sobre Temas Hídricos no. 38*. <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>

Fernández, M. E. (2019). *Estimación del balance hídrico de la Microcuenca Chaquilcay en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguarongo, Gualaceo-Ecuador*.

<https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/29.2019.05/3171#:~:text=El análisis de la curva,o grupos de estaciones confiables.>

Fisher, R., Hobgen, S., Mandaya, I., Kaho, N. R., Timur, T., & Zulkarnain. (2017). *Satellite image analysis and Terrain Modelling. November*, 150. http://compositor.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat_7_Compositor.pdf

GAD cantonal Zapotillo. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL Equipo Coordinador y Técnico del PDOT*. 39. <https://gobiernodezapotillo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/Resumen-Zapotillo.pdf>

Gallegos et al. (2016). Estimation of missing daily precipitation and maximum and minimum temperature records in San Luis Potosí. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(1), 3–16. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2015.11.008>

Gonzalez, A. (2022). *Hidrologia superficial.pdf*. <https://www.calameo.com/read/007062763a78c6d2b9176>

Herrera et al. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México*. <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>

Mondragón. (2019). *WILMAR DARÍO FERNÁNDEZ GÓMEZ PhD . Docente director TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA BOGOTÁ 2019*. 1–46.

Rodriguez. (2021). *Estimacion de la reduccion porcentual en rendimientos en los cultivos de maiz y frijol*. <https://hdl.handle.net/10568/113242>

Rodriguez, A., & Ovalles, M. (2019). *Ciclo hidrológico*. 9–25. <https://pabelbastista.files.wordpress.com/2011/08/ciclo-del-agua.pdf>

Sanchez, D. (2023). Universidad Nacional De Loja Autor. *Universidad Nacional De Loja*, 66. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf>

Sánchez, F. D., Marín, R., Gúzman, H., Verdugo, N., Domínguez, E., Vargas, O., Panizzo, L., Sánchez, N., Cortés, G., García, M., & Gómez, J. (2001). *El agua*. 114–189. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18771>

Sánchez, J. (2008). Hidrología e Hidrogeología. *San Ramon - Dpto. Geología - Universidad Salamanca - España*, 1, 120–134. <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

Valencia, R. (2010). Evaluación de la desertificación en el cantón Zapotillo, sus principales causas y efectos. *Universidad Nacional de Loja*, 62. <http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4343/ARELLANO WASHINGTON - JIMENEZ GALO.pdf?sequence=1>

11. Anexos

Anexo I. Valores del factor de ponderación W

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 2. Factor de ajuste (c)

Rs mm/día	RH máx = 30%				RH máx = 60%				RH máx = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
U día m/seg	<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 3. 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 4. Presión de saturación del valor (ea) en mbar

Temperatura °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea 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
ea 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

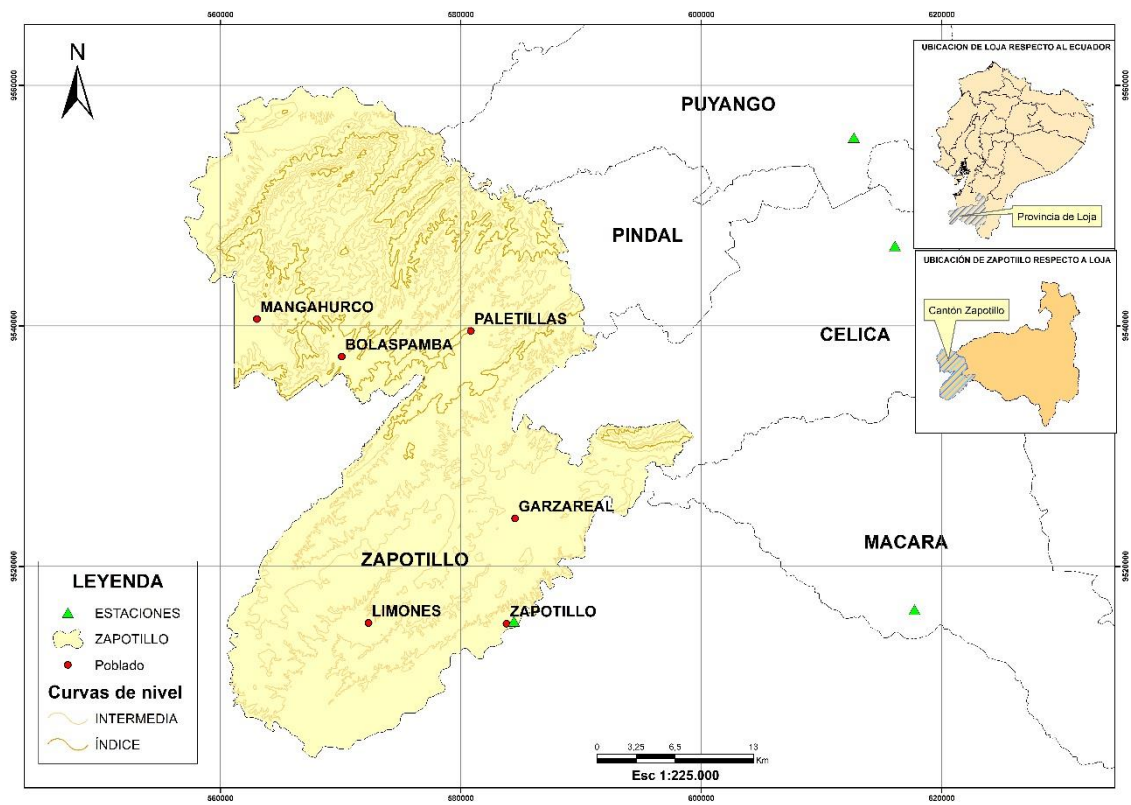
Anexo 5. La radiación de onda larga (Rnl), efecto de la presión real del vapor de agua f(ed) sobre la radiación de onda larga, efecto de la radiación entre el número real y el máximo de horas de fuerte insolación f(n/N), sobre la radiación de onda larga (Rnl)

ANEXO 5. CORRECCIONES DEL VALOR DE R_{nl}

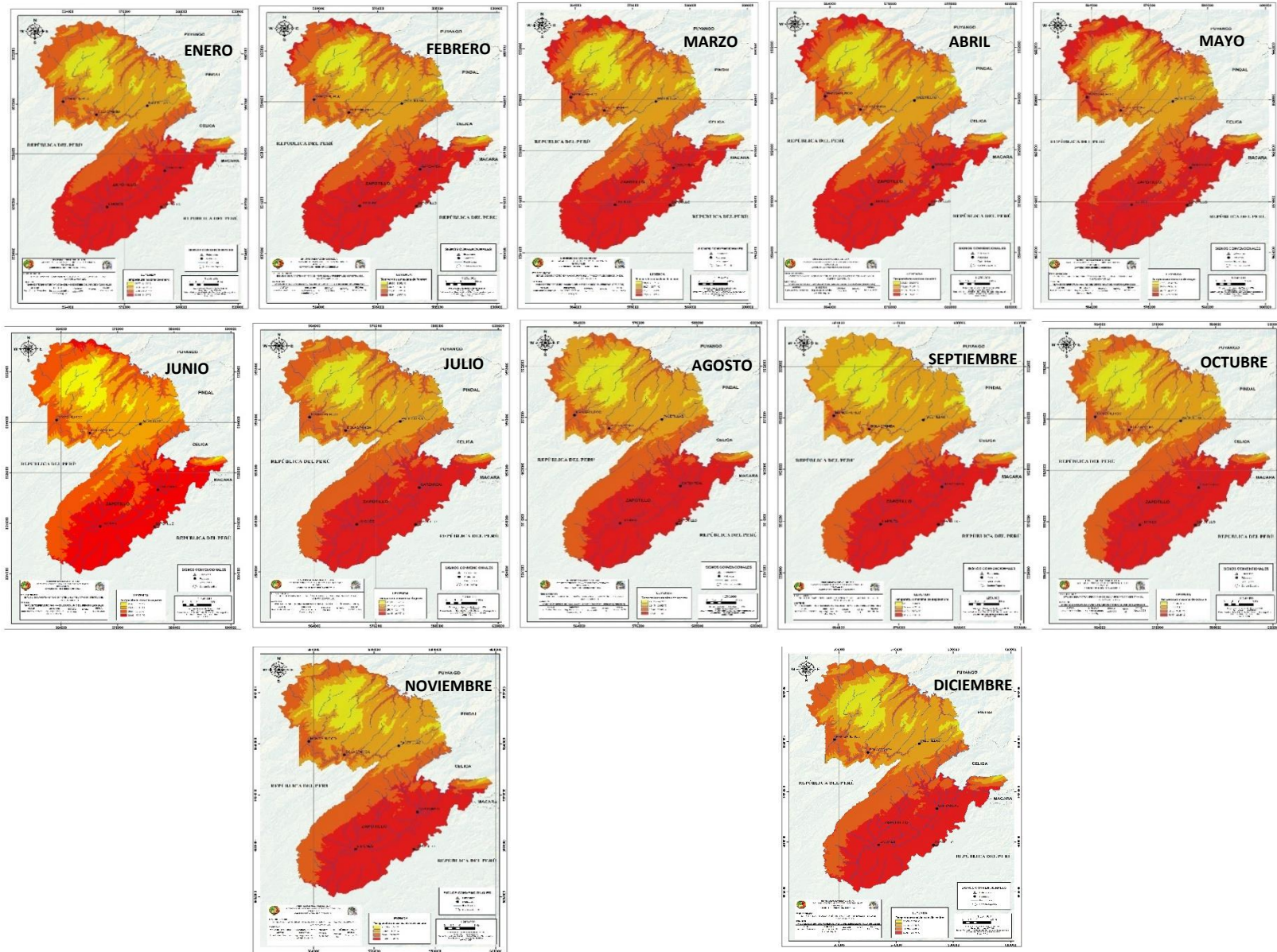
Temperatura °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36		
f(T) = dTk ⁴	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1		
ed mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40			
F(ed) = 0.34-0.044(ed) ^{0.5}	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06			
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

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

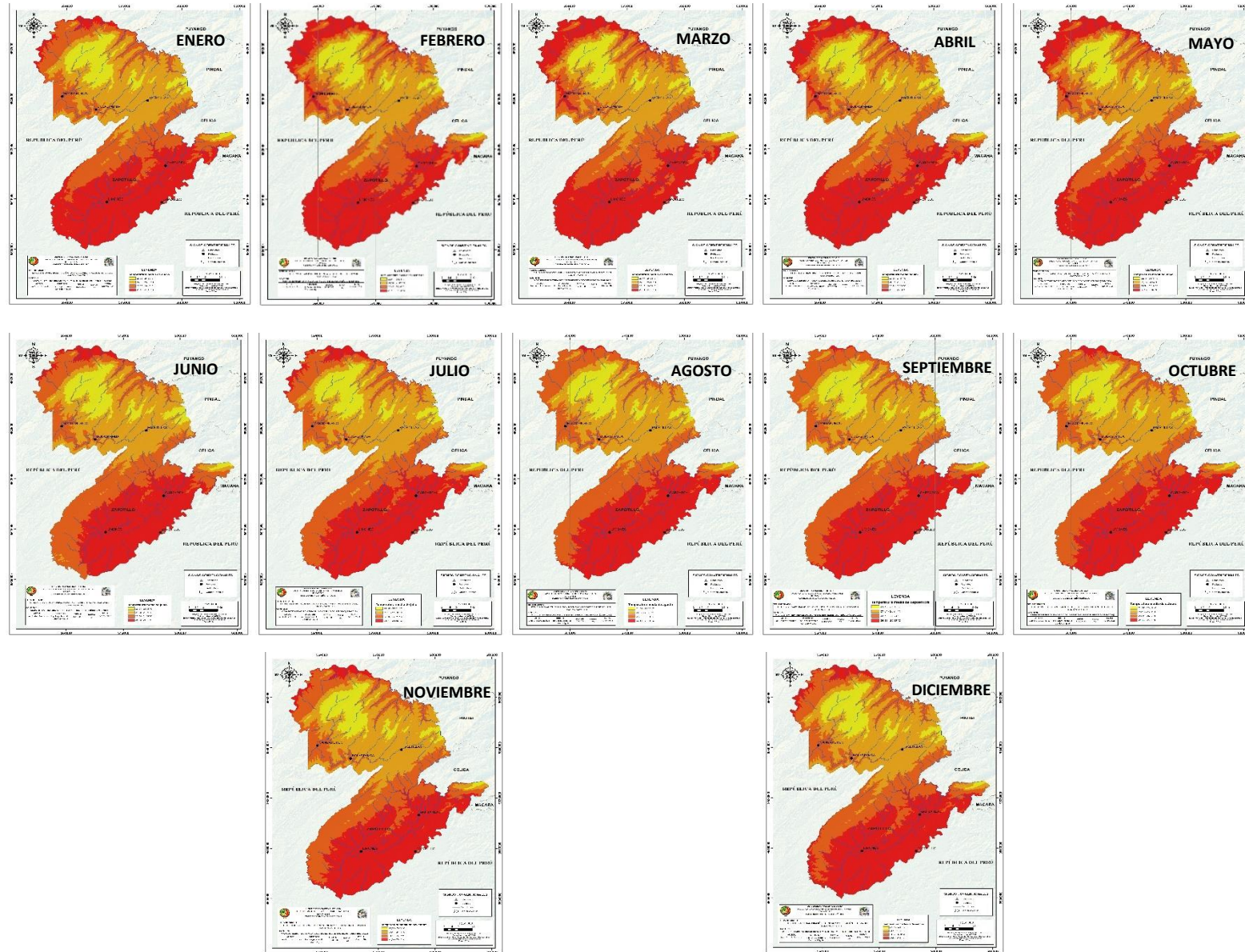
Anexo 6. Mapa de las estaciones meteorológicas con influencia en la zona de estudio



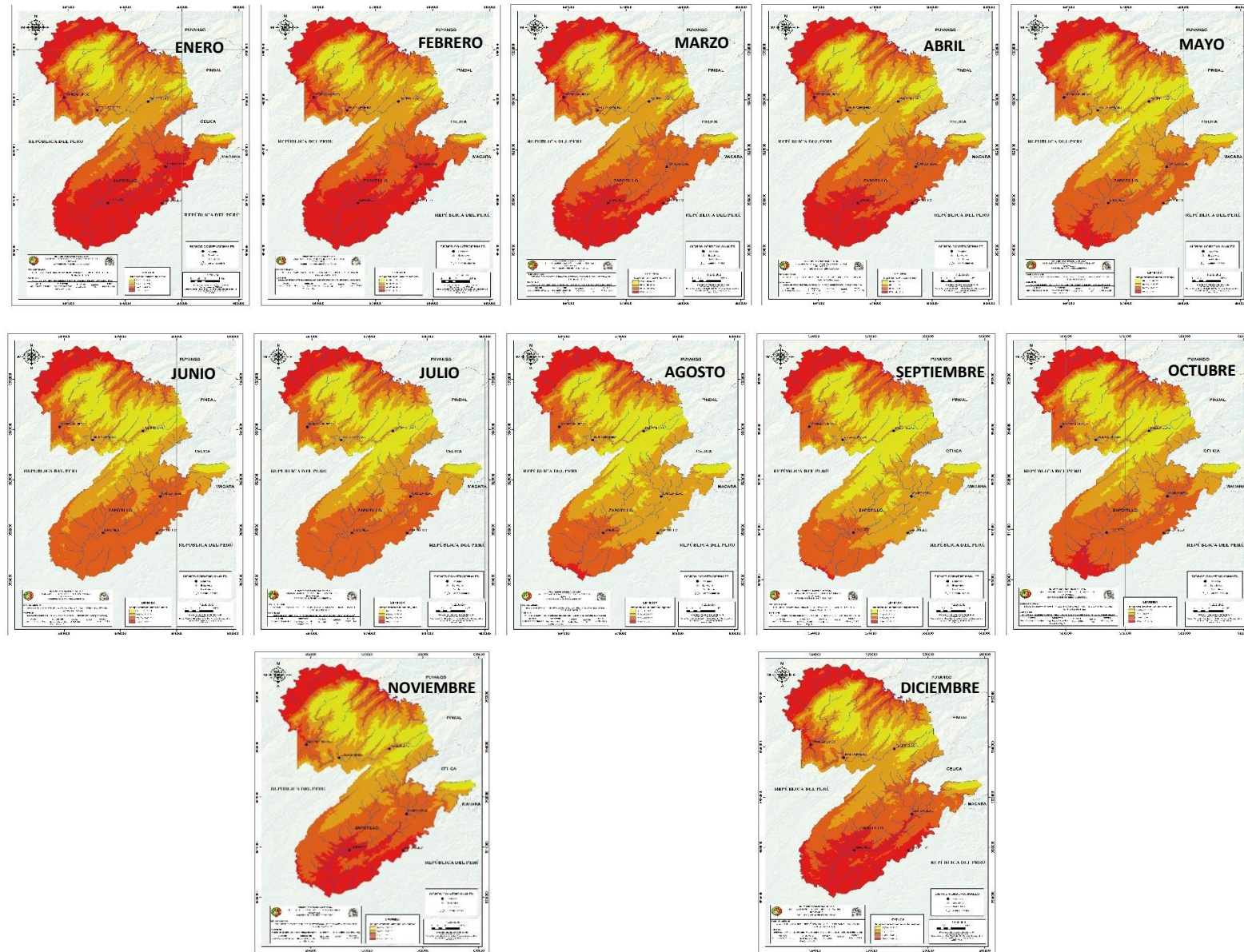
Anexo 7. Mapas de temperatura máxima de zapotillo.



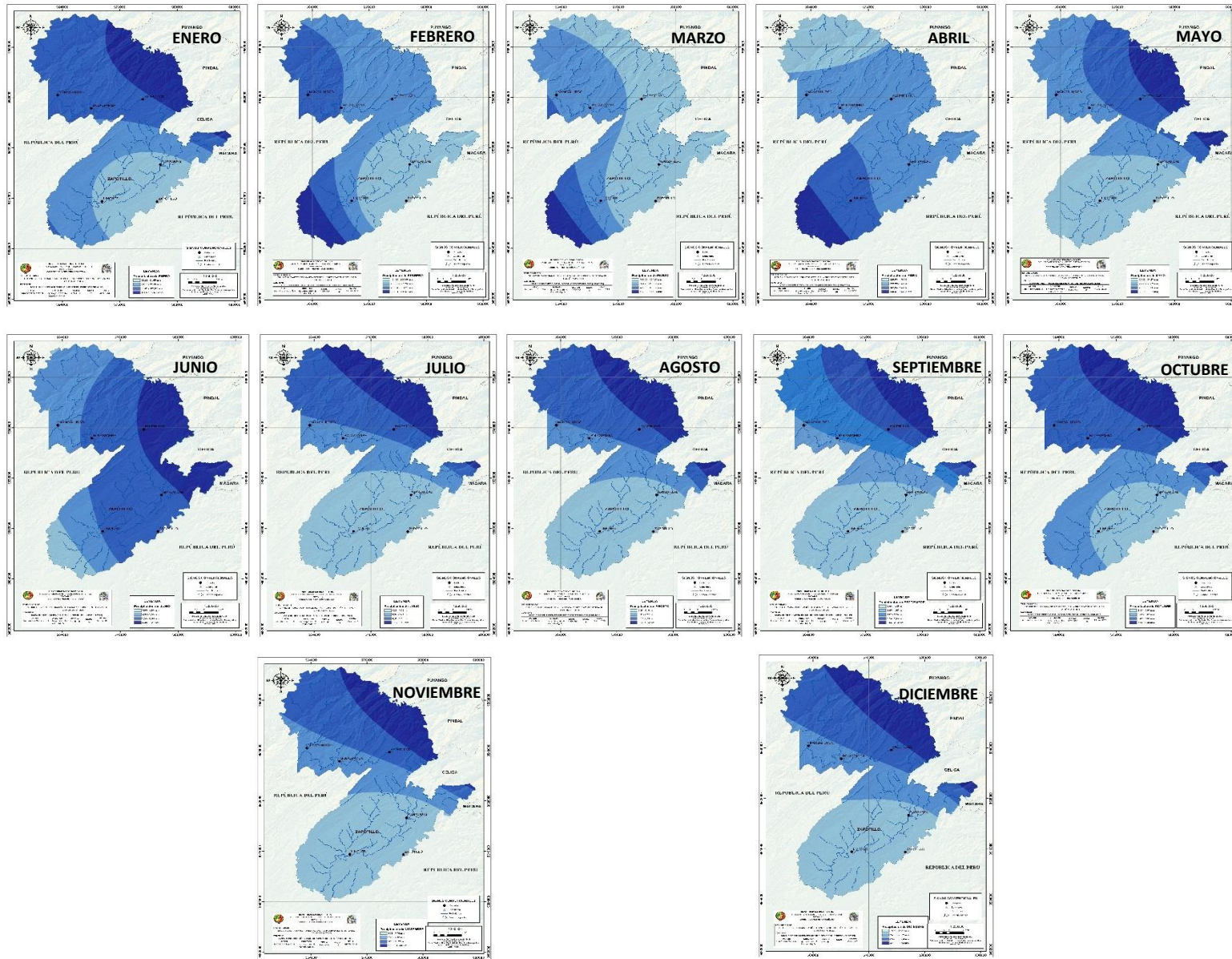
Anexo 8. Mapas de temperatura media de zapotillo.



Anexo 9. Mapas de temperatura mínima de zapotillo.



Anexo 10. Mapas de precipitación del cantón Zapotillo.



Anexo 11. Datos tabulados de temperatura máxima de la estación meteorológica Zapotillo

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Media
1989	34,5	34,4	34,6	34,2	31,7	29,8	29,8	30,9	32,2	31,8	32,8	33,4	390,10	32,51
1990	34,3	34,2	33,4	34,0	32,8	31,0	29,6	30,6	32,2	31,8	33,1	33,4	390,40	32,53
1991	34,3	34,2	34,6	34,3	33,7	31,2	29,6	30,5	31,7	32,8	33,0	34,0	393,90	32,83
1992	34,6	33,6	31,8	30,5	29,8	31,3	30,4	30,8	31,5	33,2	33,5	33,6	384,60	32,05
1993	34,6	33,6	32,6	31,1	28,4	28,8	28,9	31,1	32,2	33,1	33,5	33,4	381,30	31,78
1994	34,7	33,4	32,4	32,2	29,5	31,1	30,4	31,4	33,3	33,1	33,6	34,4	389,50	32,46
1995	34,9	35,6	35,5	32,4	32,3	31,1	31,1	32,7	34,3	34,1	34,6	34,8	403,40	33,62
1996	34,9	36,0	34,3	34,6	33,7	30,2	30,1	30,4	32,7	34,2	32,9	34,7	398,70	33,23
1997	34,5	35,3	34,2	32,6	31,1	29,9	32,1	32,6	33,6	33,7	33,4	32,3	395,30	32,94
1998	32,5	32,7	32,2	30,8	28,4	29,0	30,7	30,3	32,1	32,3	33,9	34,0	378,90	31,58
1999	34,7	31,7	31,8	31,3	30,0	28,4	30,2	31,0	32,2	33,5	33,6	34,2	382,60	31,88
2000	34,2	34,2	31,8	31,5	31,4	28,8	31,6	31,3	32,4	33,4	33,4	34,6	388,60	32,38
2001	35,4	34,3	32,3	31,6	32,0	31,7	31,6	32,6	33,8	33,4	33,6	34,2	396,50	33,04
2002	34,3	35,8	33,7	31,9	32,5	31,7	32,2	33,2	34,7	32,5	33,6	33,2	399,30	33,28
2003	35,1	35,8	36,3	34,3	32,5	31,8	32,1	32,8	33,5	33,1	33,4	34,2	404,90	33,74
2004	36,1	35,4	37,0	35,9	32,4	31,7	32,0	32,1	33,4	33,4	33,6	34,8	407,80	33,98
2005	35,9	33,9	32,2	33,1	32,8	32,8	32,6	32,0	32,4	32,5	33,0	34,1	397,30	33,11
2006	34,8	32,0	31,4	31,9	32,4	30,6	30,9	32,4	33,1	33,3	33,5	34,1	390,40	32,53
2007	34,1	35,0	34,3	32,0	32,6	31,6	32,1	31,2	32,3	31,8	33,4	33,8	394,20	32,85
2008	32,5	31,3	31,3	31,8	30,3	27,4	30,5	30,6	32,9	33,0	33,3	34,4	379,30	31,61
2009	33,6	31,5	31,6	32,1	31,8	30,5	31,7	32,0	32,9	33,9	33,6	33,2	388,40	32,37
2010	33,0	32,1	32,1	31,3	30,6	31,4	30,8	32,2	31,9	32,7	33,2	33,4	384,70	32,06
2011	35,3	34,1	35,5	34,0	32,2	31,8	31,2	32,0	33,2	32,3	33,4	33,7	398,70	33,23
2012	32,0	32,9	33,5	34,1	32,2	32,1	30,4	31,6	32,9	32,9	33,9	33,7	392,20	32,68
Suma	824,80	813,00	800,40	783,50	757,10	735,70	742,60	758,30	787,40	791,80	802,80	813,609	7847,00	653,92
MAX	36,10	36,00	37,00	35,90	33,70	32,80	32,60	33,20	34,70	34,20	34,60	34,80	407,80	33,98
MED	34,37	33,88	33,35	32,65	31,55	30,65	30,94	31,60	32,81	32,99	33,45	33,90	392,35	32,70
MIN	32,00	31,30	31,30	30,50	28,40	27,40	28,90	30,30	31,50	31,80	32,80	32,30	378,90	31,58
DESV	0,40	0,56	0,45	0,55	0,43	0,46	0,58	0,58	0,44	0,49	0,45	0,48	5,42	0,30

Anexo 12. Datos tabulados de temperatura media de la estación meteorológica Zapotillo

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Media
1990	26,3	16,2	25,6	26,5	25,6	25,5	24,6	23,9	24,6	25,6	25,9	25,9	296,20	24,68
1991	27,6	27,8	27,6	27,8	27,7	25,6	24,6	23,6	24,8	25,4	25,8	27,3	315,60	26,30
1992	28,5	27,7	27,4	26,5	25,9	25,5	24,4	24,4	24,4	25,7	25,8	26,7	312,90	26,08
1993	27,6	27,0	26,8	26,3	24,3	24,2	24,6	24,6	24,8	24,6	24,6	24,5	303,90	25,33
1994	28,2	27,2	26,4	26,5	26,4	24,7	23,4	23,8	25,3	25,5	25,9	27,2	310,50	25,88
1995	28,3	28,2	28,1	27,7	27,0	24,5	24,1	24,5	25,1	25,6	26,1	25,9	315,10	26,26
1996	27,4	28,5	27,5	27,6	26,5	24,2	23,1	23,7	24,8	24,8	25,4	26,7	310,20	25,85
1997	27,4	28,2	28,0	27,3	26,9	26,1	27,0	27,2	28,0	27,1	27,4	27,6	328,20	27,35
1998	27,8	28,0	27,5	26,7	25,5	24,7	25,2	24,3	25,5	25,3	26,2	26,6	313,30	26,11
1999	27,5	26,5	26,6	26,2	25,8	24,6	23,6	24,6	24,5	25,4	26,0	26,3	307,60	25,63
2000	27,6	26,8	26,4	27,2	25,5	24,2	24,1	24,2	25,2	25,9	26,0	26,2	309,30	25,78
2001	27,1	27,8	26,4	26,6	26,5	26,1	25,4	24,6	25,0	25,8	26,4	27,2	314,90	26,24
2002	27,4	28,3	26,2	26,2	27,6	25,5	27,3	25,1	25,8	25,4	25,8	27,1	317,70	26,48
2003	27,7	26,8	28,2	25,6	26,2	24,5	26,4	25,6	25,4	25,2	26,1	27,4	288,70	24,06
2004	28,6	27,2	27,6	25,5	26,8	25,6	25,5	25,2	25,1	25,5	25,8	27,0	289,90	24,16
2005	28,3	27,3	26,8	27,4	27,0	26,1	24,7	24,6	24,4	24,7	25,7	26,5	313,50	26,13
2006	27,6	26,9	26,2	26,3	25,4	24,3	24,2	25,1	25,9	26,1	27,0	27,6	312,60	26,05
2007	28,1	28,8	28,3	27,0	26,7	24,9	25,0	24,3	25,0	24,7	26,1	26,4	315,30	26,28
2008	26,2	26,0	25,9	26,0	24,1	22,2	23,3	24,2	25,5	25,3	25,7	26,8	301,20	25,10
2009	26,7	26,0	26,1	25,9	25,3	24,3	24,7	24,9	25,4	25,9	25,8	26,6	307,60	25,63
2010	26,8	26,6	26,4	26,0	25,1	24,7	23,6	24,3	24,3	24,8	25,2	26,0	303,80	25,32
2011	27,6	27,1	27,8	27,2	25,8	25,2	24,1	24,5	25,2	24,7	26,1	26,2	311,50	25,96
2012	27,6	27,1	27,2	27,3	25,1	25,4	24,0	24,1	25,0	25,3	25,9	26,6	310,60	25,88
2013	26,6	26,4	26,1	26,4	25,3	24,5	24,3	24,6	24,7	25,2	25,4	26,4	305,90	25,49
Suma	660,50	644,40	647,10	639,70	624,00	597,10	539,30	589,90	603,70	609,50	622,10	638,70	5876,60	489,72
MAX	28,60	28,80	28,30	27,80	27,70	26,10	27,30	27,20	28,00	27,10	27,40	27,60	328,20	27,35
MED	27,52	26,85	26,96	26,65	26,00	24,88	24,51	24,58	25,15	25,40	25,92	26,61	309,29	25,77
MIN	26,20	16,20	25,60	25,50	24,10	22,20	23,10	23,60	24,30	24,60	24,60	24,50	288,70	24,06
DESV	0,40	0,56	0,45	0,55	0,43	0,46	0,58	0,58	0,44	0,49	0,45	0,48	5,42	0,30

Anexo 13. Datos de temperatura mínima, de la estación meteorológica Zapotillo.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Media
1989	22,2	22,4	22,4	21,9	21,4	19,2	16,6	17,2	16,5	16,4	17,3	18,4	213,50	17,79
1990	21,4	22,3	22,3	21,9	21,3	18,2	16,8	15,5	15,5	16,3	17,3	19,1	227,90	18,99
1991	22,4	21,9	21,6	20,5	21,7	19,4	18,2	17,2	18,0	18,4	19,3	21,5	240,10	20,01
1992	23,7	23,1	22,8	22,5	21,9	19,6	18,1	17,1	17,1	18,0	18,9	19,4	242,20	20,18
1993	21,7	21,7	21,1	21,1	20,8	19,7	18,7	18,2	16,2	18,2	19,2	19,2	235,80	19,65
1994	21,4	21,5	21,4	21,5	20,2	19,2	17,8	9,9	10,5	17,9	18,2	18,2	217,70	18,14
1995	15,5	21,7	14,8	13,1	12,3	19,2	17,7	16,6	16,8	17,7	19,1	18,0	202,50	16,88
1996	21,1	21,8	21,6	20,6	19,2	17,0	15,6	15,7	15,6	15,7	16,0	18,5	218,40	18,20
1997	20,1	21,0	20,7	20,0	20,7	20,2	19,8	19,5	19,8	18,6	19,8	20,7	240,90	20,08
1998	20,6	21,0	20,4	19,8	18,5	16,9	15,7	14,0	14,3	14,8	15,2	15,2	206,40	17,20
1999	15,9	17,5	17,0	19,2	16,7	15,9	17,2	17,0	17,2	17,9	18,7	20,2	210,40	17,53
2000	20,6	21,6	21,5	20,2	20,3	18,7	17,4	16,9	17,3	17,9	18,3	19,7	230,40	19,20
2001	21,1	21,4	21,6	21,4	19,4	17,2	17,0	16,2	16,0	16,3	18,3	18,5	224,40	18,70
2002	19,7	20,9	21,0	20,8	19,2	16,2	15,1	15,1	14,9	16,4	18,4	18,5	216,20	18,02
2003	19,6	19,1	18,7	17,6	15,2	14,6	13,7	17,1	17,0	16,7	18,9	19,3	207,50	17,29
2004	20,5	21,6	21,9	20,2	17,9	16,3	15,5	14,3	16,4	18,1	17,1	19,5	219,30	18,28
2005	22,2	21,3	20,6	20,2	19,4	17,0	14,5	14,4	13,8	14,1	15,0	15,8	208,30	17,36
2006	18,4	21,4	21,8	18,2	16,5	15,6	15,7	15,0	15,6	17,6	18,8	19,9	214,50	17,88
2007	21,7	21,5	21,5	20,3	18,0	16,5	16,4	15,2	15,5	16,3	17,6	17,5	218,00	18,17
2008	20,0	20,5	20,7	20,0	18,8	18,0	17,8	18,1	17,6	17,2	17,5	18,9	225,10	18,76
2009	20,3	20,3	20,2	19,0	18,5	18,2	18,0	17,2	17,6	17,7	18,4	20,6	226,00	18,83
2010	22,2	21,9	21,9	21,1	19,6	18,0	16,4	15,7	15,8	16,2	16,3	18,3	223,40	18,62
2011	20,0	20,7	19,4	20,5	18,4	17,8	15,9	15,7	15,6	15,8	16,7	16,6	213,10	17,76
2012	21,2	20,2	20,2	20,0	19,4	18,0	17,4	16,1	16,5	17,0	17,6	18,6	222,20	18,52
2013	20,2	20,5	20,6	20,6	18,6	15,6	14,4	14,7	14,6	16,0	17,4	16,2	209,40	17,45
Suma	513,70	528,80	517,70	502,20	473,90	442,20	417,40	399,60	401,70	423,20	445,30	447,90	4419,50	368,29
MAX	23,70	23,10	22,80	22,50	21,90	20,20	19,80	19,50	19,80	18,60	19,80	21,50	242,20	20,18
MED	20,55	21,15	20,71	20,09	18,96	17,69	16,70	15,98	16,07	16,93	17,81	18,66	220,98	18,41
MIN	15,50	17,50	14,80	13,10	12,30	14,60	13,70	9,90	10,50	14,10	15,00	15,20	202,50	16,88
DESV	0,40	0,56	0,45	0,55	0,43	0,46	0,58	0,58	0,44	0,49	0,45	0,48	5,42	0,30

Anexo 14. Datos precipitación de la estación meteorológica Zapotillo.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Media
1989	163,6	328,4	302,3	108,1	0,6	20,6	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,1	928,30	77,36
1990	16,7	27,7	20,5	27,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	8,0	107,00	8,92
1991	20,5	113,7	163,5	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	303,30	25,28
1992	36,3	104,9	392,8	162,4	155,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	851,90	70,99
1993	2,7	283,4	675,4	300,2	67,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	7,5	12,8	1350,30	112,53
1994	3,5	40,7	50,3	60,7	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	208,50	17,38
1995	4,8	0,0	3,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	14,6	24,90	2,08
1996	5,8	39,7	38,6	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,0	89,90	7,49
1997	7,8	112,4	133,9	242,8	39,2	4,4	0,0	0,5	24,7	10,0	21,2	336,2	933,10	77,76
1998	619,4	568,5	685,6	883,7	73,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	1,7	2836,50	236,38
1999	14,0	412,3	180,2	51,8	22,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	683,90	56,99
2000	30,5	205,8	373,2	157,3	23,7	7,1	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	85,2	885,00	73,75
2001	250,0	144,7	485,0	247,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	35,2	4,8	1179,80	98,32
2002	55,2	84,3	945,7	280,9	12,6	0,0	0,0	2,0	0,0	5,7	23,6	0,0	1410,00	117,50
2003	79,2	60,9	96,5	0,0	26,8	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	6,5	341,40	28,45
2004	141,1	50,1	28,6	25,5	30,4	0,0	4,0	0,0	0,0	3,0	0,6	13,5	296,80	24,73
2005	3,2	51,7	362,8	33,1	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,8	1,4	10,4	468,00	39,00
2006	105,9	568,2	394,0	132,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,6	1210,00	100,83
2007	44,7	36,2	331,2	64,9	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	0,0	480,90	40,08
2008	185,5	463,9	683,4	150,7	5,0	2,9	1,8	0,0	0,0	1,8	10,8	0,0	1505,80	125,48
2009	205,3	327,0	321,6	135,3	66,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	4,2	9,1	1070,20	89,18
2010	55,8	298,7	537,4	139,1	22,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,3	1062,50	88,54
2011	10,7	98,1	7,5	211,5	13,1	15,3	0,7	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	361,70	30,14
2012	40,3	40,3	345,3	150,2	15,6	40,3	0,0	0,0	0,0	5,0	4,9	5,4	647,30	53,94
2013	4,6	145,0	80,3	9,4	36,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	5,4	6,2	291,80	24,32
Suma	2107,10	4606,60	7638,80	3585,70	655,30	145,70	7,10	2,50	26,90	53,90	157,00	542,20	16095,30	1341,28
MAX	619,40	568,50	945,70	883,70	155,50	45,00	4,00	2,00	24,70	10,40	35,20	336,20	2836,50	236,38
MED	84,28	184,26	305,55	143,43	26,21	5,83	0,28	0,10	1,08	2,16	6,28	21,69	804,77	67,06
MIN	2,70	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,90	2,08
DESV	0,40	0,56	0,45	0,55	0,43	0,46	0,58	0,58	0,44	0,49	0,45	0,48	5,42	0,30

Anexo 15. Certificado de traducción del abstract



Universidad
Nacional
de Loja



Loja, 11 de abril 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: **Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Zapotillo, para mejorar la toma de decisión en cuanto a los requerimientos hídricos de los cultivos**, autoría de **Juan Andrés González Armijos**, con CI: 1105345514 de la Carrera 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 ARMIJOS RAMÍREZ
DOCENTE DE LA CARRERA PINE-UNL
1031-12-1131340
1031-2017-1905329



Educamos para Transformar

