

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la evapotranspiración por
factores climáticos en el valle del Mantaro,
utilizando el método de thornthwaite**

Roy Eduardo Cabrera Astete

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Rony Lázaro Chambergo
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 4 de Marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Evaluación de la evapotranspiración por factores climáticos en el valle del Mantaro utilizando el método de Thornthwaite

Autore:

1. **Roy Eduardo Cabrera Astete** – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (**15 palabras**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Continental por cada valiosa aportación que ayudo a que crezca profesionalmente, así mismo inculcaron enseñanzas positivas en mi formación.

A mi madre y familiares por darme la fuerza y confianza para culminar mis estudios superiores.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud para poder seguir adelante día a día y lograr mis objetivos.

A mi madre y abuela por su apoyo y motivación para seguir adelante en mi formación personal y universitaria para lograr ser un buen profesional.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Planteamiento del problema	14
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Económica.....	19
1.3.2. Ambiental.....	19
1.3.3. Social (salud, educación)	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.2. Bases teóricas.....	26
2.2.1. Ciclo hidrológico.....	26
2.2.2. Evaporación.....	27
2.2.3. Transpiración.....	28
2.2.4. Evapotranspiración.....	29
2.2.5. Estaciones climatológicas	30
2.2.6. Balance hídrico	35
2.2.7. El Sistema climático.....	36
2.2.8. Componentes del sistema climático	37
2.2.9. El clima.....	39
2.2.10. Elementos del clima	40
2.2.11. Factores del clima	47
2.2.12. El clima en el Perú	48
2.2.13. El clima en el valle del Mantaro	48
2.2.14. Variabilidad climática.....	49
2.2.15. Sistema Thornthwaite.....	49
2.2.16. Medición y estimación de las precipitaciones	50
2.2.17. Escases de agua.....	51
2.3. Definición de términos básicos	52

2.3.1. Radiación solar	52
2.3.2. Velocidad del viento.....	52
2.3.3. Presión atmosférica:.....	52
2.3.4. Variación y fluctuación climática	52
2.3.5. Sensación térmica	53
2.3.6. Sequia	53
2.3.7. Cambio climático	53
2.3.8. Precipitación.....	53
2.3.9. Temperatura.....	53
2.3.10. Transpiración.....	53
2.3.11. Evaporación.....	54
2.3.12. Evapotranspiración.....	54
2.3.13. Inversión térmica	54
2.3.14. Variabilidad climática.....	54
CAPÍTULO III.....	55
METODOLOGÍA.....	55
3.1. Tipo, alcance y diseño de la investigación	55
3.1.1. Método.....	55
3.1.2. Método específico de la investigación.....	55
3.1.3. Nivel.....	62
3.1.4. Diseño de la Investigación	62
3.2. Población y muestra.....	63
3.2.1. Población.....	63
3.2.2. Muestra	63
3.3. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	63
3.3.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	63
3.3.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	64
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.1. Resultados de evapotranspiración y análisis de la información	65
4.1.1. Nivel de precipitación en las 3 últimas décadas y la variación que presenta con el cambio climático	65
4.1.2. Estimación de la evapotranspiración y la alteración por consecuencia del cambio climático.....	72
4.1.3. Relación de evapotranspiración y la variación de la temperatura y precipitación	95
4.2. Discusión de resultados.....	104
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES	110

BIBLIOGRAFIA.....	112
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: DIFERENTES MÉTODOS PARA LA ETP Y SUS VARIABLES CLIMÁTICAS	16
TABLA 2: INSTRUMENTOS Y VARIABLES EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA	31
TABLA 3: DATOS DE LA ESTACIÓN DE HUAYAO	56
TABLA 4: HORA DE SALIDA DEL SOL (HS), HORA DE PUESTA DEL SOL (HP) Y DURACIÓN ASTRONÓMICA DEL DÍA (N), PARA DIFERENTES LATITUDES	59
TABLA 5: ÍNDICE DE HUMEDAD (LM)	60
TABLA 6:ÍNDICE DE LA VARIACION ESTACIONAL DE LA HUMEDAD	61
TABLA 7: INDICE DE EFICIENCIA TERMICA	61
TABLA 8: CONCENTRACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA	62
TABLA 9: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
TABLA 10: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL Y MULTIANUAL DEL AÑO 1952 AL 2022	66
TABLA 11: ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN DE HUAYAO (1952-2022).....	73
TABLA 12: DATOS DE ETR, TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN POR CADA 10 AÑOS	78
TABLA 13: DATOS Y ETR DEL AÑO 1952	79
TABLA 14: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1952	80
TABLA 15: DATOS Y ETR DEL AÑO 1962	81
TABLA 16: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1962	82
TABLA 17:DATOS Y ETR DEL AÑO 1972	83
TABLA 18: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1972	84
TABLA 19: DATOS Y ETR DEL AÑO 1982	85
TABLA 20: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1982	86
TABLA 21: DATOS Y ETR DEL AÑO 1992	87
TABLA 22: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1992	88
TABLA 23: DATOS Y ETR DEL AÑO 2002	89
TABLA 24: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2002	90
TABLA 25: DATOS Y ETR DEL AÑO 2012	91
TABLA 26: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2012	92
TABLA 27: DATOS Y ETR DEL AÑO 2022	93
TABLA 28: CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2022	94
TABLA 29: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN	118
TABLA 30: MATRIZ DE CONSISTENCIA	120
TABLA 31 DATOS Y ETR DEL AÑO 1953	121
TABLA 32 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1953	121
TABLA 33. DATOS Y ETR DEL AÑO 1954	122
TABLA 34 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1954	123
TABLA 35DATOS Y ETR DEL AÑO 1955	123
TABLA 36 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1955	124
TABLA 37 DATOS Y ETR DEL AÑO 1956	124
TABLA 38 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1956	125
TABLA 39 DATOS Y ETR DEL AÑO 1957	125
TABLA 40CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1957	126
TABLA 41 DATOS Y ETR DEL AÑO 1958	126
TABLA 42 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1958	127
TABLA 43 DATOS Y ETR DEL AÑO 1959	127
TABLA 44 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1959	128
TABLA 45 DATOS Y ETR DEL AÑO 1960	128
TABLA 46 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1960	129
TABLA 47 DATOS Y ETR DEL AÑO 1961	129
TABLA 48 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1961	130
TABLA 49 DATOS Y ETR DEL AÑO 1973	130
TABLA 50 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1973	131
TABLA 51 DATOS Y ETR DEL AÑO 1975	131
TABLA 52 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1975	132

TABLA 53 DATOS Y ETR DEL AÑO 1977	132
TABLA 54 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1977	133
TABLA 55 DATOS Y ETR DEL AÑO 1979	133
TABLA 56 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1979	134
TABLA 57 DATOS Y ETR DEL AÑO 1985	134
TABLA 58 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1985	135
TABLA 59 DATOS Y ETR DEL AÑO 1990	135
TABLA 60 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1990	136
TABLA 61 DATOS Y ETR DEL AÑO 1995	136
TABLA 62 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1995	137
TABLA 63 DATOS Y ETR DEL AÑO 1997	137
TABLA 64 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 1997	138
TABLA 65 DATOS Y ETR DEL AÑO 2000	138
TABLA 66 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2000	139
TABLA 67 DATOS Y ETR DEL AÑO 2010	139
TABLA 68 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2010	140
TABLA 69 DATOS Y ETR DEL AÑO 2015	140
TABLA 70 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2015	141
TABLA 71 DATOS Y ETR DEL AÑO 2021	141
TABLA 72 CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITE PARA EL AÑO 2021	142

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN LA EVAPOTRANSPIRACION	15
IMAGEN 2: CICLO HIDROLÓGICO	27
IMAGEN 3: ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA CONVENCIONAL	32
IMAGEN 4: OBSERVATORIO DE HUAYAO	32
IMAGEN 5: ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA	33
IMAGEN 6: SISTEMA DE OBSERVACIÓN	35
IMAGEN 7: SISTEMA CLIMÁTICO	37
IMAGEN 8: CAPAS DE LA ATMOSFERA	38
IMAGEN 9: ELEMENTOS Y FACTORES DEL CLIMA	40
IMAGEN 10: PRECIPITACIÓN FRONTAL	42
IMAGEN 11: PRECIPITACIÓN CONVECTIVA	42
IMAGEN 12: PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA	43
IMAGEN 13: MOVIMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES	44
IMAGEN 14: VIENTOS PLANETARIOS	46
IMAGEN 15: VIENTOS CONTINENTALES	47
IMAGEN 16: CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL LUGAR	49
IMAGEN 17: ESTACIÓN METEOROLÓGICA - HUAYAO.....	56
IMAGEN 18: PRECIPITACIÓN ANUAL Y TENDENCIA DEL PERIODO 1952 AL 2022	69
IMAGEN 19: PRECIPITACIÓN ANUAL Y TENDENCIA DE LAS ÚLTIMAS 3 DÉCADAS (1992 AL 2022-9	70
IMAGEN 20:REGISTRO POR CADA DÉCADA (1952-2022).....	77
IMAGEN 21: CLIMOGRAMA DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PROMEDIO – PERIODO 1952 - 2022.....	97
IMAGEN 22: PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO PARA LA ESTACIÓN DE HUAYAO (1952 - 2022).....	98
IMAGEN 23: PROMEDIO ANUAL DE LAS TEMPERATURAS PROMEDIO EN LA ESTACION DE HUAYAO 1952 – 2022	99
IMAGEN 24: VARIABILIDAD ANUAL DE TEMPERATURAS PROMEDIO (1952 – 2022)	100
IMAGEN 25:PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA ANUAL EN COMPARACIÓN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	102
IMAGEN 26: CUENTA DE INGRESO A SENAMHI.....	117

RESUMEN

Esta tesis se desarrolló en el Valle del Mantaro, ubicada en la región de Junín. Se analizó una data registrada de 50 años. La data básica se obtuvo de los registros diarios de la estación climatológica de Huayao, ubicada en 12°2'18" de latitud sur, 75°20'17" longitud oeste y a 3350 msnm., la cual se encuentra dentro de la red de estaciones meteorológicas de SENAMHI. En este estudio de investigación, se tiene como objetivo identificar como se relaciona la evapotranspiración con la variación de factores climáticos en el Valle del Mantaro las cuales son temperatura, precipitación, horas sol, días de cada mes, entre otros factores que se registraron en la estación meteorológica de Huayao. Específicamente, se realizará la estimación con la fórmula de Thornthwaite, mediante la toma de datos de la estación meteorológica de Huayao, la cual serán descargadas del portal del SENAMHI. Iniciamos obteniendo la latitud y longitud de la estación, posteriormente, pasamos a descargar los datos de temperatura, precipitación, y otros factores climatológicos y pasar a aplicar la fórmula para la estimación de la evapotranspiración sin corregir y la evapotranspiración corregida o real. Con los datos ya obtenidos, pasamos a realizar el análisis de clasificación de Thornthwaite para cada año, los cuales son desarrolladas por 4 índices que son: Índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica y la concentración estival de la eficacia térmica; estos índices en su conjunto nos expresan el tipo de clima. Los resultados obtenidos determinaron que el cambio climático tiene relación directa con la evapotranspiración, siendo así que la temperatura se incrementara en +0.13 °C/década y al contrario de las precipitaciones que cada vez vienen siendo más reducidas. Asimismo, se obtiene un cuadro donde observamos la evapotranspiración sin corregir y la evapotranspiración corregida, el tipo de clima y la clasificación para cada año.

Palabras clave: Evapotranspiración, factores climatológicos, método de Thornthwaite.

ABSTRACT

This thesis was developed in the Mantaro Valley, located in the Junín region. A 50-year data record was analyzed. The basic data was obtained from the daily records of the weather station of Huayao, located at 12°2'18" south latitude, 75°20'17" west longitude and at 3350 masl. which is located within the network of SENAMHI meteorological stations. This research study aims to identify how evapotranspiration is related to the variation of climatic factors in the Mantaro Valley which are temperature, precipitation, sun hours, days of each month, among other factors recorded at the Huayao weather station. Specifically, the estimate will be made with the Thornthwaite formula, by taking data from the Huayao weather station, which will be downloaded from the SENAMHI portal. We started, getting the latitude and longitude of the station, then went on to download the temperature data, precipitation, and other climatic factors and proceed to apply the formula for estimating the uncorrected evapotranspiration and corrected or actual evapotranspiration. With the data already obtained we carry out the Thornthwaite classification analysis for each year, which are developed by 4 indices that are: Global humidity index, seasonal variation of effective humidity, Thermal efficiency index and summer concentration of thermal efficiency, these indices as a whole express the type of climate. The results obtained determined that climate change has a direct relationship with evapotranspiration, being thus that the temperature will increase by +0.13 °C/decade and contrary to the rainfall that is increasingly reduced. Likewise, obtaining a table where we observe the uncorrected evapotranspiration and corrected evapotranspiration, the type of climate and classification for each year.

Key words: Evapotranspiration, climatological factors, Thornthwaite method

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua son recursos que son altamente sensibles al clima, frente a una variación provocaría que el proceso del ciclo hidrológico sea alterado y que los procesos como son la evaporación y transpiración sean drásticamente afectados, ya que este nos garantiza el retomo del agua a la tierra y nos permita el aprovechamiento de este recurso en diferentes áreas, como son las demandas para la agricultura, consumo humano e industrias. Las tendencias actuales indican que nos acercamos a una crisis del recurso hídrico, y hoy en día ya lo estamos viviendo en diferentes regiones del país como en diferentes países, las cuales están racionando el agua para consumo humano, asimismo, en otras regiones del país las precipitaciones disminuyeron drásticamente.

La evapotranspiración (ETP) regresa a la atmosfera cerca del 60% del agua total que cae a la superficie terrestre en forma de precipitación. Mientras en zonas desérticas la evapotranspiración aumenta a un 90 - 100% del total de agua precipitada anualmente. Por lo tanto, para determinar la evapotranspiración se debe considerar diferentes variables como son la radiación, la temperatura del aire, la precipitación y la humedad atmosférica, por otro lado, es necesario conocer la hora de salida del sol, la latitud y longitud.

Se observó hechos de conocimientos científicos en los que la evapotranspiración tienen una variación por el aumento o disminución de las temperaturas o alteración en las precipitaciones, para luego formular proposiciones que contrastaremos con la realidad. Todo será basándose en la recolección y procesamiento de la información recopilada. Con la recolección de información sobre las variables o factores climatológicos obtenidos, continuamos y aplicamos la fórmula de Thornthwaite, la cual nos permitirá estimar la evapotranspiración, para así obtener los 4 índices necesarios para la clasificación y posteriormente obtener el clima correspondiente registrado de cada año analizado en el Valle del Mantaro.

La tesis de investigación realizada en el Valle del Mantaro, exactamente, se trabajó con los datos obtenidos de la estación de Huayao, y se pretende evaluar la evapotranspiración por

factores climáticos en el Valle del Mantaro utilizando el método de clasificación de Thornthwaite. Con el desarrollo de la investigación, se busca determinar y analizar los datos de la estación durante los años 1952–2022 para así relacionarlo con el cambio climático, así como demostrar que relación se tiene con la variación de la temperatura y precipitación.

El presente trabajo de investigación se ha dispuesto en cuatro capítulos. El capítulo I se aborda el planteamiento del estudio, donde se sustenta la realidad de la problemática, delimitación de la investigación, se concreta el problema de la investigación, se precisa los objetivos y se justifica y describe la importancia de la investigación. En el capítulo II, se detalla el marco teórico, donde se menciona los antecedentes del problema, bases teóricas y definición de términos básicos. En el capítulo III, se comprende la metodología de la investigación, la cual se describe el tipo, alcance y diseño de la investigación, la población y muestra, la técnica e instrumentos de la recolección de datos. Por último, en el capítulo IV, se analiza y discute los resultados obtenidos, y, posteriormente, se mencionan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El agua viene a ser un recurso que es altamente sensible al clima, en la última década se evidencian cambios en la atmósfera por consecuencia del cambio climático, es así como el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero conducen a un calentamiento adicional de la atmósfera y la superficie de la tierra, de este modo, gran cantidad de los gases de efecto invernadero se mantienen en la atmósfera y afectan el clima. Las tendencias actuales indican que nos acercamos a una crisis de agua en diferentes partes del mundo.

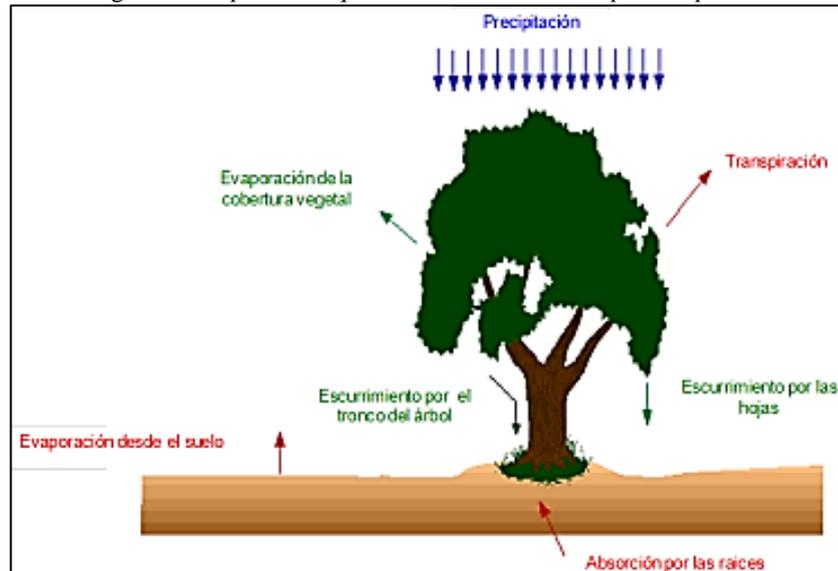
La transpiración depende de la energía que recibe por la presión del vapor como la actividad del viento. Por lo tanto, para determinar la transpiración, se debe considerar diferentes variables como son la radiación, la Temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento. La capacidad de agua en el suelo y su conducción hacia las raíces también son determinantes para saber la transpiración. Por otro lado, las características de los cultivos influyen en la evaporación, ya que hay distintas clases de plantas y estas presentan diversas tasas de transpiración. Por otra parte, el desarrollo, lugar donde es producido y el manejo que tienen, deben ser considerados en la evaluación de transpiración (1).

La evaporación en cuerpos de aguas superficiales requiere tener estimaciones más precisas para la realización de estudios y un correcto manejo de los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos, puesto que en las regiones áridas y semiáridas es muy escasa es ahí donde la evaporación adquiere mayor importancia. La evapotranspiración (ETP) es fundamental en el balance del agua, como también es un elemento clave en la integración entre la superficie terrestre y la atmósfera, su estimación es necesaria para la producción vegetal, gestión de recursos hídricos o estudios ambientales (2).

La evapotranspiración (ETP) regresa a la atmósfera cerca del 60% del agua total que cae a la superficie terrestre en forma de precipitación. Mientras en zonas desérticas, la ETP aumenta a un 90-100% del total de agua precipitada (3).

Las plantas conservan aproximadamente el 3% del volumen total del agua que absorben, esta cantidad es usada en diferentes procesos de metabolismo, mientras el otro 97% que resta del agua absorbida tiene la función de transportar nutrientes a través de la planta, es así como, en el transcurso de este proceso, es evaporada en forma de transpiración.

Imagen 1. Componentes que intervienen en la evapotranspiración



Fuente: Foro peruano para el Agua

Según Penman (1948) y Thornthwaite (1948), la magnitud de la evapotranspiración depende únicamente de las variables climatológicas de la zona durante el período de tiempo analizado.

En el siguiente cuadro, se ilustra algunas metodologías que se han utilizado en diversos países del mundo para así estimar la evapotranspiración y las variables climáticas que fueron necesarias para la aplicación de estas metodologías.

Tabla 1. *Diferentes métodos para la ETP y sus variables climáticas*

Método	Variables Climáticas					
	Temperatura	Radiación Solar	Velocidad del Viento	Humedad Relativa	Precipitación	Altitud
Thornthwaite-Wilm (1944)	X					
Penman-Monteith (1949)	X	X	X			
Turc Anual (1954)	X				X	
Hargreaves (1956)	X		X	X		X
Turc (1961)	X	X		X		
Jensen-Haise (1963)	X	X				X
Christiansen (1966)	X	X	X	X		X
García-López (1970)	X			X		
Blaney-Criddle (1977)	X		X	X		

Fuente: Marín Valencia, 2010:(4)

En la Tabla 1, se mencionan diferentes metodologías empíricas que son empleadas en diferentes partes de nuestro planeta. Su estimación varía de acuerdo con cada variable, algunos métodos requieren mayor cantidad de variables para lograr la estimación de la ETP.

El monitoreo de la evapotranspiración (ETP) es esencial para realizar diseños y gestionar programas de riego de cultivos, así como conservar y gestionar los recursos hídricos. Asimismo, es fundamental en el ciclo hidrológico, ya que la superficie terrestre y la atmósfera tienen una interacción muy importante en este ciclo. A pesar de ello, en el Perú, no se encuentran estudios detallados que permitan entender el intercambio de agua y de energía entre el suelo y la atmósfera (5).

El agua en sus distintas formas, son fuente de vida, y hoy en día es un bien que cada vez se está volviendo más escaso, siendo este un principal motor de desarrollo económico y social. En nuestro país el gran problema es la ineficiencia que tienen en el uso agrícola (6).

En la región Junín, no se realizaron estudios a detalle sobre las tendencias anuales y estacionales del clima. El servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2011) estudio “La tendencia actual de los indicadores extremos de cambio climático en la cuenca del río Mantaro” lo cual brinda información relevante de los últimos 45 años. En la precipitación, hubo una disminución en promedio de 3,9 mm/día/año, los días fríos están paulatinamente disminuyendo y la intensidad de la T° máx. Diaria está en una tendencia positiva, mientras que las heladas disminuyeron a razón de 0.52 días/año, lo que es crucial y preocupante

para todos en la región, puesto que estos datos son cruciales para la evaporación y evapotranspiración.

La evapotranspiración es generada por el aumento de la temperatura. Se puede observar que las regiones de mayor elevación no presentan mayor intensidad que las zonas bajas “En la sierra el aumento de la evapotranspiración sería menor” (7).

En junio del 2015, Innóvate Perú y el Instituto Geofísico del Perú muestran interés por la interacción que existe entre la biosfera y la atmósfera en la sierra central del Perú, por ello, instalaron una torre de flujo de 4 metros de altura en el observatorio de Huancayo. Así, realiza el proyecto “Estudio de los procesos físicos que controlan los flujos superficiales de energía y agua para el modelado de heladas, lluvias intensas y evapotranspiración en la sierra central del Perú”.(5), lo que ayudará a observar los cambios que suceden en el transcurso de los años.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo se relaciona la evapotranspiración con la variación de factores climáticos en el Valle del Mantaro?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de precipitación en el Valle del Mantaro en las últimas 3 décadas y que variación se presentó con el cambio climático?
- ¿Cuánto es la estimación de la evapotranspiración en el Valle del Mantaro en los últimos años por la alteración del clima por consecuencia del cambio climático?
- ¿Cómo demostrar la relación que tiene la evapotranspiración con los factores climáticos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Identificar la relación que tiene la evapotranspiración con la variación de factores climáticos en el valle del Mantaro

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el nivel de precipitación en el valle del Mantaro en las 3 últimas décadas y la variación que presenta con el cambio climático
- Estimar la evapotranspiración en el Valle del Mantaro en los últimos años y porque la alteración del clima por consecuencia del cambio climático
- Demostrar la relación de evapotranspiración y la variación de la temperatura y precipitación

1.3. Justificación e importancia

En la actualidad, el recurso hídrico tiene gran importancia ambiental, económica y social, siendo así que el aprovechamiento que tiene este recurso es pésimo, y teniendo como consecuencia el desperdicio y la contaminación (8).

La evaporación sigue siendo uno de los factores menos estudiados en el balance hídrico, debido a la limitada calidad de los datos y la incertidumbre sobre la fiabilidad de los resultados obtenidos por los métodos de medición variados, principalmente, debido a la "información insuficiente sobre el carácter del cambio en el tiempo y la sensibilidad" a las variables meteorológicas necesarias para su cálculo. El conocimiento de su comportamiento es ahora un componente fundamental de la investigación eco hidrológica y biometeorología, donde el clima está relacionado con el desarrollo de las plantas, el consumo de agua de ecosistemas, la respuesta y resiliencia de los ecosistemas al cambio climático (9).

La Costa peruana tiene un clima árido y la disponibilidad de agua con la que cuentan es cada vez más escasa, ya que disponen de un 2,18 % del total para una población de 65,98 % del total, mientras en la vertiente del Atlántico se cuenta con un 97,26 % del total de agua disponible (1 998 405 m³/año) en territorio peruano, la mayoría es para fines de uso agrícola 84%, poblacional 6,2% y minero el 2,2%.

El estudio sobre la evapotranspiración en el Valle del Mantaro es muy necesario, pues si bien es cierto, no se tienen muchos reportes y/o estudios que nos ayuden a estimar la evapotranspiración para así saber que cambios surgieron durante el transcurso de las décadas, tanto por el cambio climático que está afectando drásticamente a las temporadas de lluvias y las fuertes temperaturas registradas. Es así que, en el Valle del Mantaro, es importante este estudio, para que pueda ayudar a observar cómo se va comportando la evapotranspiración frente al cambio climático.

1.3.1. Económica

La evaporación y transpiración son fases fundamentales del ciclo hidrológico y ocurren naturalmente, estos dependen de factores climáticos y topográficos de cada región, por lo que son de gran importancia para toda la vida en la tierra. Los diversos beneficios que este ciclo trae a las personas incluyen prácticamente todas las actividades económicas en los diversos sectores productivos como son la agricultura, uso industrial, minería, transporte, etc. (10).

La presencia de lluvias en la sierra de la región Junín hace que se produzca una diversidad de cultivos y que estas sean de buena calidad. La precipitación en los meses de noviembre a abril es considerable ya que ocasiona que lagunas, ríos y manantiales se carguen, para que así la agricultura se desarrolle de forma exitosa y se logre comercializar diversidad de productos agrícolas a la Costa peruana en principal a los mercados de la capital, por lo que la presente evaluación aporta información sobre la evapotranspiración y la disponibilidad que tiene el recurso hídrico en el Valle del Mantaro. Asimismo, el cambio climático altera factores climáticos y la cual perjudicaría a la agricultura y la economía del Valle.

1.3.2. Ambiental

La vida es dependiente del agua. Por ello, el 1% del total del agua que se encuentra en nuestro planeta es seguro para el consumo humano. El agua interactúa con la energía solar para determinar el clima, transformar y transportar las sustancias físicas y químicas necesarias para toda la vida en la Tierra (11).

Los problemas ambientales no pasan de percibidos en el siguiente estudio, siendo así que el cambio climático es causante de muchos cambios y alteraciones en el clima del Valle del Mantaro. La escasez del agua es crucial en el Valle, puesto que no cuenta con una correcta gestión y, asimismo, encontramos mínimos estudios que demuestren que la evapotranspiración está sufriendo alteraciones por la variación de factores climáticos. La alteración más crucial es la temperatura, este es muy importante tanto

en la evaporación como en la transpiración siendo así que el presente estudio será de mucho apoyo en posteriores trabajos que requieran datos ya analizados y/o datos estadísticos. Estudios anteriores han demostrado que la evapotranspiración global ha aumentado entre los años 1980 y 2000, y ha disminuido desde 2000, esto es debido al cambio climático.

1.3.3. Social (salud, educación)

La evapotranspiración tiene importancia fundamental en la sociedad, puesto que gracias a este proceso la sociedad puede alimentarse y cumplir sus necesidades básicas. No obstante, el cambio climático es un factor crucial para este proceso, y las empresas o municipios no realizan estudios sobre la evapotranspiración y esto causa que los habitantes del Valle del Mantaro no tengan conocimiento sobre lo importante de estos procesos. Asimismo, no encuentran interés entre las autoridades para una buena gestión hídrica, y los conocimientos de las medidas que se deben optar frente al cambio climático son escasas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

- En la tesis titulada “Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y valle del Cauca”, realizada en la pontificia Universidad de Javeriana. Cuyo objetivo es el evaluar la aplicabilidad de las metodologías empíricas existentes de la evapotranspiración potencial y estimar la evapotranspiración potencial para los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca. Resulta que los métodos empíricos analizados con mayor cantidad de variables climatológicas presentan un mejor comportamiento, por otro lado, cuando se presentan precipitaciones altas mayores a 450mm/año, algunos métodos presentan deficiencia y conlleva a analizar otras metodologías. El estudio aporta diferentes métodos sobre la evapotranspiración y las diferentes comparaciones que existen entre ellos, así identificando el más accesible para el tema de investigación (4).

- En la tesis titulada “Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del río quinuas”, realizado en la Universidad de Cuenca, Ecuador, cuyo objetivo es analizar cuatro métodos de estimación de evapotranspiración, teniendo en cuenta los datos meteorológicos de tres observatorios climáticos que están localizados en una microcuenca del Rio Quinuas. El estudio se realizó con los datos meteorológicos registrados entre agosto de 2013 a julio de 2014. El presente estudio nos aporta los resultados que pudieron estimar la evapotranspiración de referencia a cambio climático, y la sensibilidad que tiene a los parámetros meteorológicos (9).

- En el artículo científico titulado “Estudio a largo plazo de la evaporación del lago y evaluación de siete métodos de estimación: resultados del lago Dickie, centro-sur de Ontario, Canadá”, cuyos objetivos son el proporcionar un estudio de evaporación utilizando conjuntos de datos a largo plazo de 30 años obtenidos para un pequeño lago ubicado en la región del Escudo Canadiense;

estimar la evaporación de la temporada sin hielo durante 30 años utilizando siete métodos; y comparar las desviaciones de la evaporación calculada por el método con la evaporación estimada por el presupuesto de energía e identificar los mejores métodos para estimar la evaporación del lago para la región. Dentro de la duración libre de hielo de un año, el agua del lago absorbió una porción de radiación neta a principios y mediados del verano, y liberó la energía absorbida en el otoño para compensar la evaporación. El estudio aporta diferentes métodos que servirán de ayuda para poder realizar la estimación de la evaporación e identificar cuales servirán mejor en la zona de estudio (12).

- En el artículo científico titulado “Cálculo de la evaporación en aguas abiertas como parámetro climático”, cuyo objetivo es derivar la ecuación de la evaporación en aguas abiertas utilizando la física de la tierra y las metodologías de escala, calcular la evaporación para las ubicaciones de las muestras y comparar la evaporación calculada con las observaciones. El cálculo de la evaporación en aguas abiertas es muy importante para la hidrología, la agricultura y otros campos. La evaporación es un fenómeno que es en función de parámetros meteorológicos dependientes mientras la energía solar cambiada con la tierra es una variable independiente. El estudio aporta información básica para determinar el cálculo de la evaporación con precisión. Por otro lado, propone un método que puede ser usado para proyectar la evaporación con el cambio climático, mientras que los métodos existentes no lo hacen (13).
- En el artículo científico titulado “Una evaluación global del aumento de la evapotranspiración terrestre debido al cambio del área de agua superficial”, cuyo objetivo es explorar los sesgos estimados del presupuesto global del agua inducidos por la omisión de la evaporación en las zonas de conversión de agua y tierra, cuantificar el cambio en la evapotranspiración causada por dicha conversión de tierra y agua para reducir las incertidumbres en la estimación de la tendencia de evapotranspiración global. El estudio aporta datos estadísticos e información real para poder analizar los diferentes escenarios en partes del mundo y lo que sucede en estos, dando estimaciones y pronósticos de la crisis del recurso hídrico y los procesos de evaporación y transpiración (14).

- En el artículo científico titulado “Efectos del cambio climático en la evapotranspiración en México”, cuyo objetivo del grupo es analizar exhaustiva y objetivamente información científica, técnica y socioeconómica para comprender los riesgos y el impacto del cambio climático, así como los posibles métodos de adaptación y reducción del mismo. Los resultados solo son indicativos debido a las limitaciones que los métodos de evapotranspiración tienen para hacer estimaciones de ET bajo escenarios de cambio climático y la complejidad del tema; sin embargo, es importante resaltar que los resultados permiten formar una idea del efecto potencial del aumento de la temperatura media en zonas de riego. El estudio nos proporciona un nuevo método para estimar la ET ante los escenarios de cambio climático, que incluye la selección del método Hargreaves-Samani (HS), calibrado y comparado con el método ASCE Penman-Monteith (15).
- En el artículo científico titulado “Influence of Potential Evapotranspiration on the Water Balance of Sugarcane Fields in Maui, Hawaii”, cuyo objetivo es evaluar la eficiencia del sistema de riego HC&S comparando la precisión de la estimación de AET por el método HC&S con tres métodos basados en la física: Penman-Monteith, Priestley-Taylor y Hargreaves, así como, para un conjunto de datos históricos de evaporación de sartenes e identificar un método AET que sea aplicable a otros cultivos y transferible a ubicaciones con características similares. Los hallazgos pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia del riego, así como otros escenarios de gestión para así optimizar el uso del agua en la isla de Maui. El estudio nos proporciona una información muy importante sobre una condición climática, se descubrió que la velocidad del viento es el parámetro climático más influyente sobre la evapotranspiración potencial (12).
- En el artículo Científico titulado “Determinação da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no índice de seca na campanha gaúcha, Brasil”, cuyo objetivo es la evaluación de la efectividad de los diferentes métodos en el cálculo de la evapotranspiración, utilizando los datos meteorológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas de las redes de FEPAGRO y INMET. Resultando los métodos de Camargo y Thornthwaite óptimos para estimar la evapotranspiración de tal modo que estos métodos sean utilizados cuando no se cuenten con algunos datos meteorológicos. El estudio

aporta que metodologías presentan un óptimo desempeño para la estimación de la evapotranspiración (17).

- En la tesis titulada “Análisis comparativo en la aplicación de diversos métodos para el cálculo de la evapotranspiración en un mismo escenario”, realizado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Tiene como objetivo el determinar la evapotranspiración con la mayor precisión posible que se pueda alcanzar con los datos meteorológicos disponibles en la Provincia del Guayas; mediante el estudio comparativo de diversos métodos propuestos. Esto da como resultado que los 3 métodos estudiados presentan déficit hídrico en los meses de mayo y diciembre, así presentando el método de Penmn-Monteith como base para comparar los resultados, ya que este es el único método aceptado y recomendado por la FAO. El estudio aporta un análisis comparativo de los métodos propuestos teniendo en cuenta los datos registrados de las estaciones meteorológicas y así demostrar que método tiene un margen de error mínimo (18).

2.1.2. Antecedentes nacionales

- En la Tesis titulado “Análisis de los métodos de estimación de evaporación y evapotranspiración a las condiciones locales de la ciudad de Córdoba”, realizado en la Secretaría de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional de la Pampa. El estudio aporta los métodos utilizados son ampliamente conocidos como de balance hídrico. Además, la metodología realiza una comparación de valores de ETP que fueron obtenidos por el método de tanque frente a estimaciones alcanzadas por otros métodos (14).
- En el artículo científico titulado “Análisis de la Evapotranspiración Potencial en función de elementos Climáticos en la zona Circunlacustre de la cuenca del Titicaca Peruano”, cuyo objetivo es el emplear la información de las estaciones meteorológicas de Puno, Juliaca, y Desaguadero. Se tomó diferentes factores climáticos como son Temperatura máxima, mínima, humedad relativa, velocidad del viento, horas del sol y evaporación de los años. El estudio aporta un proceso en el cual usar la información obtenida y así analizarla de una manera aceptable (20).

- En la Tesis titulado “Determinación de una formula Empírica de la evapotranspiración Potencial en Puno”, realizado en Universidad Nacional de la Pampa. El estudio aporta una ecuación apropiada para la evapotranspiración. Además, determina una ecuación que describe la evapotranspiración en función al método del tanque evaporímetro. Algunos métodos empíricos como Hargreaves, Blaney y Criddle y el de Serruto, utilizan los siguientes elementos climáticos: Temperatura, Humedad relativa, Radiación, altura sobre el nivel de mar obtenido en la estación Illpa (16).
- En la revista titulada, “Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO56 PenmanMonteith) con limitados datos climáticos en la cuenca andina amazónica Peruana)”, cuyo objetivo es evaluar el rendimiento de los diez modelos de evapotranspiración empíricos simples, haciendo uso de los datos de ocho estaciones climatologías (22).
- En la tesis titulada “Variaciones de la temperatura y precipitación como indicadores del cambio climático en el distrito de Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos, Cajamarca, 2017”, realizado en la Universidad Alas Peruanas, en la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, la cual tiene como objetivo principal estudiar las variaciones y las tendencias de los principales indicadores meteorológicos del cambio climático, durante el período 1964 hasta el 2016, en el distrito de Pedro Gálvez. Este estudio aporta las variaciones de temperatura y precipitación frente al cambio climático, y evidenciando que las temperaturas se incrementaron a través de los años, así mismo, las precipitaciones presentan patrones inusuales al hallarse anomalías en diferentes años (54).
- En la tesis titulada “Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del Río Mantaro”, realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina. El estudio aporta proyecciones de precipitación a escala interanual en la cuenca del Rio Mantaro, tendencia a sequias y la caracterización de las sequias bajo escenarios del cambio climático en la cuenca del rio Mantaro (58).

2.2. Bases teóricas

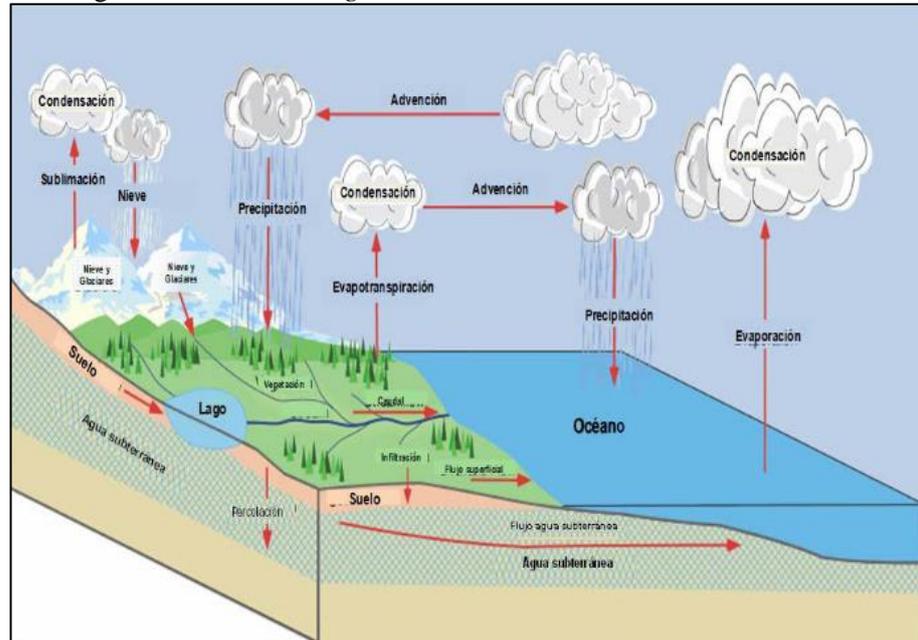
2.2.1. Ciclo hidrológico

El agua es la unidad básica de la vida, alrededor del 60% de la superficie terrestre está formada por agua. El 97,2% se encuentra en el océano, el 2% se encuentra en los casquetes polares, el 0,6% esta almacenada en aguas subterráneas y sólo el 0,02% está disponible en lagos, ríos, y otros lugares de la superficie. El agua en la atmosfera representa una proporción muy pequeña del 0.0002%, pero su velocidad de movimiento es alta, de 8 a 10 días, se produce un ciclo completo, mediante un cambio en el estado del agua. Los estados de agregación del agua como son el sólido, líquido y gaseoso y su movimiento forman el ciclo hidrológico. Los movimientos más relevantes durante el ciclo son la evaporación y transpiración, estos son los que en el ciclo hidrológico permiten el ascenso hacia la atmosfera para, posteriormente, mediante la precipitación retornen a los diferentes subsistemas (23).

El ciclo hidrológico es el movimiento del agua entre diferentes compartimentos de la hidrosfera. Este ciclo biogeoquímico ocurre cuando los cambios químicos y el agua se mueven de un lugar a otro o cambian su estado. Este empieza con la evaporación del agua del océano. A medida que asciende, el aire húmedo se enfría y el vapor se vuelve líquido, esto se llama condensación, por otro lado, si las gotas se juntan para formar una nube y, luego, se derrumban por su propio peso, esto es la precipitación. Cuando el ambiente es muy frío, la lluvia cae en forma de nieve o granizo. Cuando hace calor, caen gotas de agua (24).

Parte del agua que llega a la superficie terrestre será utilizada por los seres vivos; lo restante atravesará la tierra hasta llegar a un río, lago o mar. A este fenómeno se le llama escorrentía. Otro porcentaje del agua se filtrará hacia las capas freáticas, formando acuíferos o agua subterránea. Este proceso es la infiltración. Pronto, toda esta agua regresará a la atmósfera (24).

Imagen 2. Ciclo hidrológico



Fuente: Ciclo hidrológico - Perú(25)

2.2.1.1. Fases del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico tiene una relación constante con el medio ambiente, siendo este muy crucial para los seres vivos, puesto que nos sirven para sobrevivir. Este muestra una atmósfera poco contaminada y una pureza del agua que no altera su desarrollo, por el contrario el ciclo se retrasaría por la alteración en los procesos de evaporación y condensación (26).

Principales procesos en el ciclo del agua:

- Evaporación
- Condensación
- Precipitación
- Transpiración
- Escorrentía

2.2.2. Evaporación

La evaporación viene a ser un proceso de suma importancia para el ciclo hidrológico, pues aproximadamente el 75% de la precipitación que ocurre en los continentes es retornada en forma de vapor. Este proceso es regulado por la energía disponible en la superficie y por la facilidad en que el vapor de agua se difunde en la atmósfera (27).

La evaporación definida como el fenómeno por el cual el agua en estado líquido pasa aun estado gaseoso. Este es proceso es llamado sublimación, y

correspondería al caso del agua que cambia de estado de nieve a estado gaseoso al calentar la superficie de la nieve con la radiación solar. El cambio que se realiza del estado líquido o sólido al estado gaseoso es por la absorción del calor, lo que aumenta los estados excitados de las moléculas y rompe los enlaces entre ellas, pasando a un estado caótico mayor (28).

2.2.2.1. Factores que afectan la evaporación

Los estudios que investigan la evaporación sugieren que hay dos factores adicionales: el nivel de cobertura terrestre y la cantidad de agua disponible. Ambos factores determinan si estos suelos se riegan adecuadamente. Sin embargo, en ambientes con poca precipitación y riego mínimo, la disponibilidad de agua juega un papel importante en el control de la evaporación del suelo.

2.2.3. Transpiración

La transpiración se realiza por la vaporización del agua líquida que se encuentra contenida en los tejidos de la planta, para, posteriormente, removerse hacia la atmósfera (1). Esto se puede considerar como reacción de estas plantas a la demanda atmosférica, esto es efectuado a través de estomas.

La planta responde a dos ambientes distintos, el primero es sobre la exposición que tiene la planta a la radiación, temperatura entre otros. El segundo es el estrés hídrico que genera la raíz y esto genera que controlen la pérdida de agua por las hojas (29).

La transpiración es el resultado fisiológico por el cual, el agua se transforma de un estado líquido a un estado gaseoso esto a través del metabolismo de las plantas y hacia la atmósfera. Asimismo, se considera transpiración la cantidad de agua que pierden las plantas, por goteo o drenaje, que puede tener un valor considerable cuando las condiciones ambientales no son favorables para la transpiración (28).

2.2.3.1. Factores que afectan en la transpiración

Existen factores que afectan este proceso, y son los mismos que afectan la evaporación. El factor más influyente es la evaporación y, por tanto, la saturación de la atmósfera, la temperatura del aire, la insolación, la velocidad del viento y la presión atmosférica (30).

Según la Escuela Técnica Superior de Ingeniería:

Los factores meteorológicos influyen indirectamente en la intensidad de la transpiración, debido a su influencia en la apertura estomática. Las horas sol, la temperatura o la humedad del aire benefician la transpiración. La humedad del suelo también afecta la tasa de transpiración. Si los suelos presentan baja humedad y las plantas no absorben el agua suficiente, la transpiración se interrumpirá y estos morirán. En otras situaciones que cuenten con las mismas condiciones atmosféricas y el mismo suelo, la transpiración de un árbol depende de la especie del árbol, la edad, el crecimiento, el tipo de follaje y profundidad radicular (30).

2.2.4. Evapotranspiración

La Evapotranspiración viene a ser el resultado en el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso, si bien desde la superficie del terreno, o a través de las plantas. En efecto, es el resultado de la evaporación y la transpiración (30).

Para realizar mediciones de evapotranspiración, se requiere instrumentos específicos y parámetros físicos, lo que lo hacen muy complejas. Mientras los métodos experimentales en general son costosos y necesitan de personal de investigación para desarrollarlos apropiadamente, lo que llevó a que se desarrollen procedimientos de estimación de evapotranspiración con datos climatológicos que son accesibles de las estaciones climatológicas.

2.2.4.1. Factores que afectan la evapotranspiración

Factores climáticos como la radiación, las altas temperaturas, la baja humedad relativa y las altas velocidades del viento (movimiento del vapor de agua) aumentan la evapotranspiración. Los tipos de cultivo, como la altura de la planta, la de su desarrollo, o el cumplimiento del ciclo de vegetación y la extensión del campo de cultivo, afectan significativamente el nivel de evapotranspiración. Un caso reconocido es que la vegetación abundante, alta y densa indica una ETP más alta. La mayoría de las condiciones físicas del suelo afectan la evapotranspiración, como los suelos arenosos al tener una baja capacidad de almacenamiento de agua y poco volumen de raíces. El nivel de agua en el suelo está determinado por la capacidad de retención

de agua del suelo (que permite un fácil acceso al agua) después de 2 días de riego, asimismo, el tipo de riego también afectan la ETP (23).

La evaporación y la transpiración causan la pérdida de agua y estos son fenómenos interdependientes que engloban la evapotranspiración. Los factores cruciales que afectan desde la superficie de cuerpos de agua son:

2.2.4.2. Energía Disponible

La radiación solar es la principal fuente utilizada para la evaporación, parte de esta radiación es usada en calentar el suelo y, el aire mientras la otra es usada en el proceso de evaporación. Por otro lado, la energía acumulada en el suelo y aire se puede transferir al proceso de evaporación.

2.2.4.3. Temperatura

Cuando la temperatura aumenta, la tensión del vapor de saturación también tendrá un aumento en su saturación. Asimismo, si se ve un incremento de T° del aire, causará que la tensión de vapor en el aire y agua se eleve. Esto se debe a que la evaporación es proporcional al déficit de tensión.

2.2.4.4. Velocidad y Turbulencia del Viento

La evaporación es favorecida por la velocidad del viento. Sin embargo, si esta velocidad es suficiente para remover gran cantidad de moléculas evaporadas no quiere decir que incrementará la evaporación. Es así como la velocidad máxima de viento que producirá efecto sobre la evaporación es de 40 km/h, por otro lado, en superficies extensas de agua, será mayor la influencia de esta y despreciable en superficies pequeñas.

2.2.4.5. Presión

La presión cuando presente un incremento la evaporación disminuirá.

2.2.4.6. Calidad del Agua

La salinidad y la presencia de diversos solutos en el recurso hídrico hacen que se incremente la energía requerida para que las moléculas de agua realicen la fase de evaporación. Por otro lado, la salinidad reduce la presión de vapor y esto hace que en largos periodos de tiempos se desprecie.

2.2.5. Estaciones climatológicas

La disponibilidad de datos meteorológicos es fundamental para una buena planificación de la ingeniería. Los datos que registran estas estaciones son muy importantes para estudios ambientales y pronósticos que servirán para la región, de las cuales las variables que registran son temperatura, humedad, viento, precipitación y evaporación.

Para que los datos obtenidos sean comparables a nivel mundial, las mediciones deben estar normalizadas, lo que requiere un cierto grado de estandarización de los instrumentos que contienen (31).

Para su correcta operación, es fundamental un observador meteorológico, el cual tendrá la función de leer el registro de los instrumentos para, posteriormente, informar de manera exacta y veraz los datos registrados, al servicio de meteorología (32).

Tabla 2. *Instrumentos y variables en la estación meteorológica*

INSTRUMENTOS	VARIABLES
Termómetro	Temperatura
Termómetro de máxima	Temperatura máxima
Termómetro de mínima	Temperatura mínima
Termómetros de subsuelo	Temperaturas del suelo (a diferentes profundidades)
Barómetro	Presión de la atmósfera en la superficie
Pluviómetro	Cantidad de precipitación
Psicrómetro o higrómetro	Humedad relativa del aire y temperatura de punto de rocío.
Piranómetro	Insolación solar
Heliógrafo	Horas de sol
Anemómetro (cazoletas)	Velocidad (cazoletas) y dirección (veleta) de viento
Cielómetro	Altura de las nubes (sólo en el punto donde se encuentra ubicado)

Fuente: Manual de meteorología (32)

Hay dos tipos de estaciones meteorológicas:

2.2.5.1. Estaciones climatológicas convencionales

Estas son las áreas previstas específicamente para la recogida de datos climáticos, en estas estaciones encontramos casetas meteorológicas, la cual es una estructura formada por medidas normalizadas que se utiliza para proteger los termómetros de mercurio. Está pintado de blanco y tiene 34 orificios de ventilación para que las medidas se tomen con un termómetro a la sombra.

Asimismo, cuenta con un evaporador que incluye un tanque estándar, vidrio estabilizador y tornillo micrométrico para medir en consecuencia. Tiene un pluviómetro, una veleta (nos indica que dirección toma el viento) y un anemómetro (la cual registra la magnitud cualitativa del viento). Para conseguir los datos hallados en este tipo de estaciones, tiene que entrar una persona y tomar las medidas manualmente a las 8 de la mañana todos los días del año (31).

Imagen 3. *Estación climatológica Convencional*



Fuente: Estaciones Meteorológicas & Meteorología (33)

Imagen 4. *Observatorio de Huayao*



Fuente: Lamar, ciencias atmosféricas igp (34)

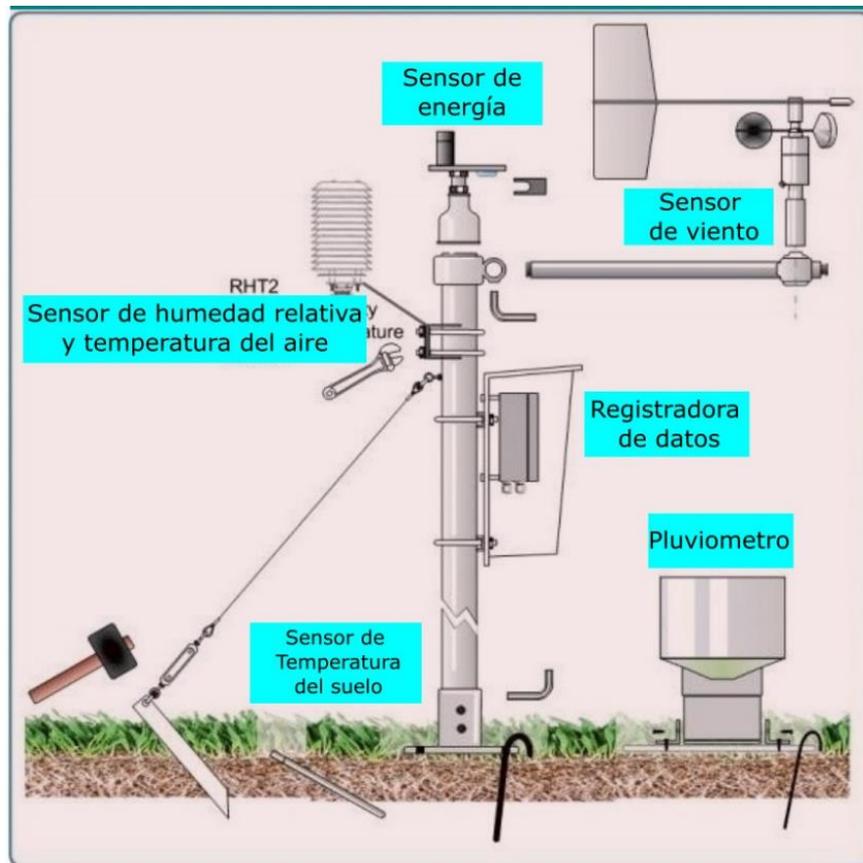
En la Imagen 8, se observa la estación de Huayao, la cual es considerada como una estación climatológica principal, durante el día se realizan 3 observaciones

2.2.5.2. Estaciones climatológicas automáticas

Las mediciones que se realizan en estas estaciones son de forma digital, estas mediciones se realizan con dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos, consta de un conjunto de sensores especializados que van registrando y transmitiendo la información meteorológica de forma automática e independiente. Su labor principal es recolectar y monitorear ciertas variables meteorológicas cada 10 minutos, esta información obtenida de las variables serán enviadas por algún medio de transmisión a intervalos regulares (31).

La información recopilada puede ser transferida satelitalmente hacia el servicio meteorológico, siendo así que no es necesario un observador meteorológico.

Imagen 5. Estación meteorológica Automática

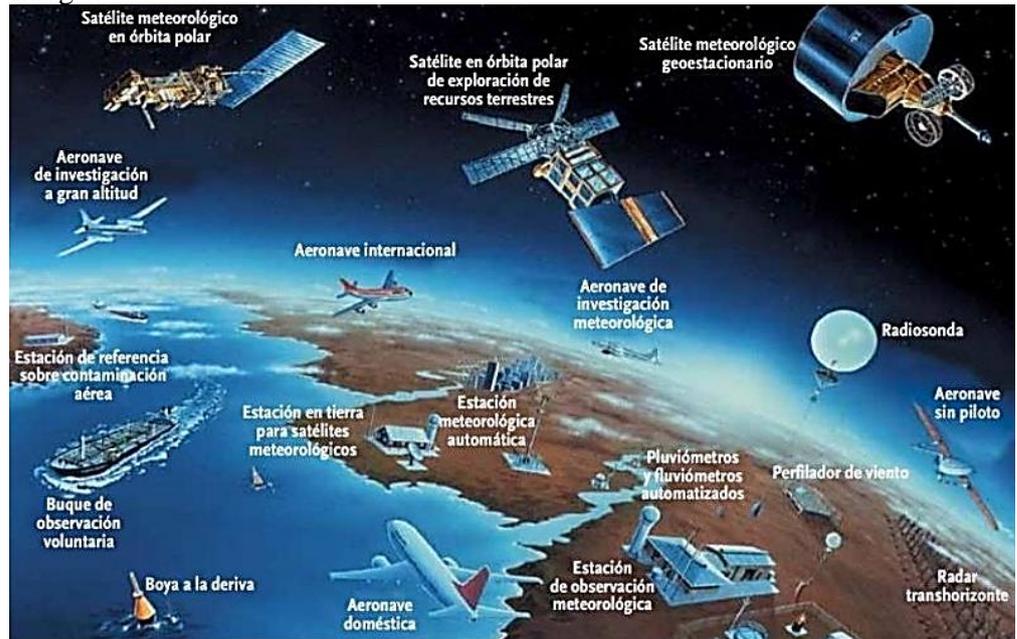


Fuente: Estaciones meteorológicas (35)

2.2.5.3. Observaciones meteorológicas

- Sinópticas** → Las observaciones realizadas en momentos fijos del día se utilizan a menudo para el pronóstico del tiempo.
- Climatológicas** → Se observan fluctuaciones y están se revisarán en horas fijas, que son de 3 a 4 veces por día.
- Aeronáuticas** → Estas son observaciones importantes que se hacen en los aeropuertos para permitir el tránsito aéreo.
- Marítimas** → Realizados con botes y boyas, son observaciones sobre los océanos. Se realizan observaciones sinópticas y posteriormente transmitidas a las estaciones costeras.
- Agrícolas** → Están hechos de características físicas y naturales del medio ambiente, estos servirán para encontrar una relación que tiene el tiempo y la vida de las plantas con la de los animales.
- Precipitación** → Son observaciones que tienen en cuenta la cantidad de agua en sus diversas formas (líquida o sólida), y la frecuencia en la que suceden.
- Altitud** → Las observaciones de presión atmosférica, temperatura, humedad y viento se realizan en diferentes capas de la atmósfera, alcanzando a menudo una altitud de 16 a 20 km.

Imagen 6. Sistema de observación



Fuente: Blog meteoclim (36)

La guía de instrumentos meteorológicos y métodos de observación proporciona una lista completa de instrumentos y equipos que se pueden utilizar para medir el clima y otros parámetros. Los sistemas de procesamiento y transmisión de datos relevantes deben estar sujetos a la aplicación de diez principios de monitoreo del clima al seleccionar los instrumentos. Estos principios deben observarse de la siguiente manera (37):

- Una buena fiabilidad
- Exactitud
- La idoneidad para el entorno donde se va a operar la estación
- La simplicidad del diseño
- Los motivos para la realización de observaciones

2.2.6. Balance hídrico

Esto implica evaluar el flujo de agua en la entrada y la salida de la zona de las raíces de las plantas durante un período de tiempo. Estos se basan en el equilibrio de la humedad obtenida antes y después de cada riego. De esta forma, podemos conocer el consumo de agua de las plantas para el periodo anterior y posterior a riego, para así conocer el consumo total de agua del cultivo. Los métodos de ETP directo son el medidor de volatilidad Thornthwaite y el método gravimétrico para determinar el consumo directo.

[...] evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un determinado período de tiempo. Se basan en el balance hídrico, obtenido a partir de la humedad antes y después de cada riego. Es así como se conoce el consumo de agua de la planta para el período anterior y posterior al riego, hasta obtener el consumo total de agua durante el ciclo de cultivo. Los métodos directos de ETP son el lisímetro, el medidor de volatilidad de Thornthwaite y el método gravimétrico que determina directamente el uso de consumo (36).

Estudios que evaluaron la evaporación, consideran que existen dos factores adicionales: el “grado de cobertura del suelo” y “cantidad de agua disponible”. En ambos factores será determinado si estos suelos son provistos de agua suficiente. Sin embargo, en circunstancias donde la precipitación es reducida y el riego es mínimo, la disponibilidad del agua desempeña un rol importante en el control de la evaporación del suelo.

Para realizar mediciones de evapotranspiración, se requiere instrumentos específicos y parámetros físicos, lo que lo hacen muy complejas. Mientras los métodos experimentales en general son costosos y necesitan de personal de investigación para desarrollarlos apropiadamente. Esto conlleva a que se perfeccionen procedimientos sobre la estimación de la evapotranspiración con datos climatológicos que son accesibles de las estaciones climatológicas.

2.2.7. El Sistema climático

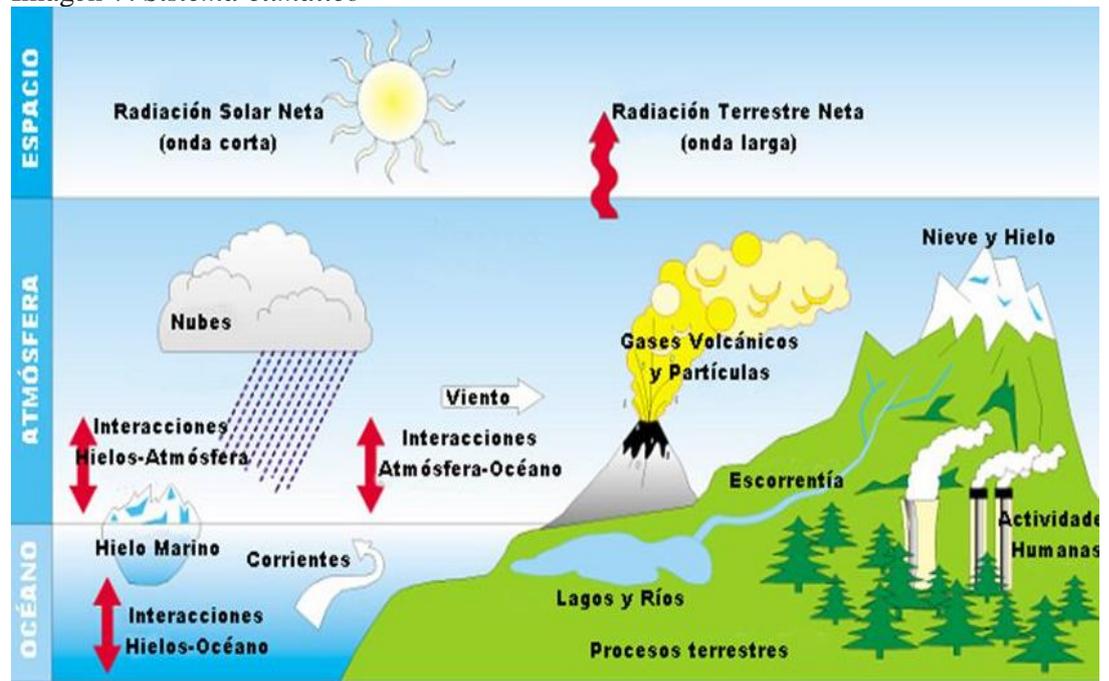
El sistema climático es el funcionamiento global interdependiente de diversos procesos que ocurren dentro y entre la atmósfera, la hidrosfera, la biósfera y la litosfera. El clima representa el equilibrio del sistema climático (38).

El tiempo atmosférico suele confundirse con el clima, pero este es el estado que tiene la atmósfera en un momento y lugar determinado, incluida la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la presión. El clima es un patrón promedio que persiste en una región en particular durante un largo período de años (39).

[...] El clima de la tierra está controlado por el equilibrio energético entre los distintos factores que componen el sistema climático. Aproximadamente un tercio de la energía del Sol recibida por la Tierra

se refleja de regreso al espacio; el resto es absorbido por diferentes partes del sistema climático: la atmósfera, los océanos, las capas de hielo, los continentes y diversas formas de vida. Cada una de estas secciones ayuda a distribuir la energía reduciendo el contraste entre las áreas donde se recibe la mayor cantidad de energía y las áreas que reflejan la mayor cantidad de energía. (40)

Imagen 7. Sistema climático



Fuente: El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones climáticas(41)

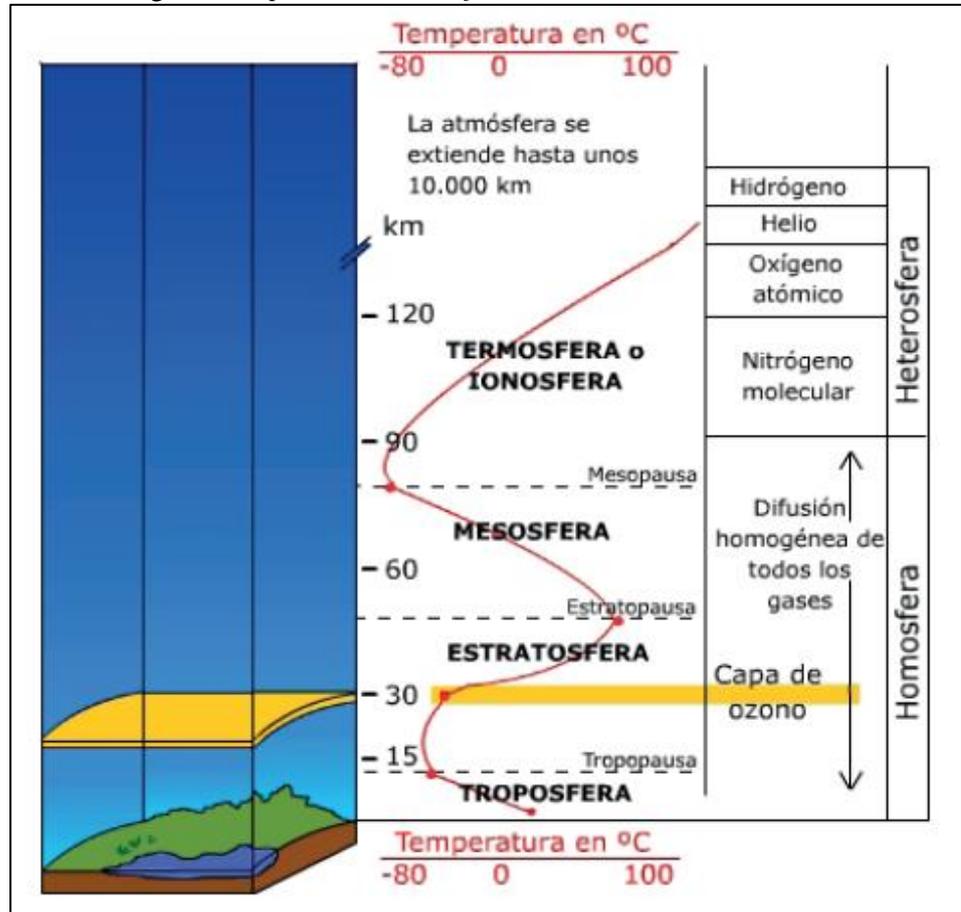
2.2.8. Componentes del sistema climático

2.2.8.1. Atmósfera

Es la masa de aire que envuelve la superficie de la tierra y que hace posible la vida en ella, dándonos el oxígeno que día a día respiramos. Está conformada por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y la diferencia que es de 1% se encuentra el dióxido de carbono y otros gases. El nitrógeno es fundamental en el crecimiento de las plantas y con la ayuda de algunas bacterias fijadoras de nitrógeno, los gases presentes en la atmósfera se convierten en compuestos de nitrógeno solubles en el suelo y son

absorbidos por las raíces de las plantas. Esta es muy importante, puesto que nos sirve como barrera protectora contra la radiación UV, (38) y está formada por varias capas:

Imagen 8. Capas de la atmosfera



Fuente: (32)

- **La troposfera.** La capa inferior y su espesor varían de 9km a 12km, aquí es la capa donde vivimos, contiene la mayor parte de los gases de la atmosfera, y es donde se desarrollan la mayoría de los fenómenos atmosféricos y meteorológicos que conocemos, el aire en la troposfera se calienta por el calor que irradia de la superficie de la tierra (42).
- **La estratosfera.** Se encuentra hasta 50 km de altura, en esta capa, se encuentra la capa de ozono que nos protege de los rayos ultravioleta proveniente del sol (42).
- **La mesosfera.** Se extiende hasta los 80 km de altura, aquí la temperatura alcanza los -140 °C, y se dice que, en esta capa, los

meteoritos se desintegran siendo así que generan las llamadas estrellas fugaces (42).

- **La ionosfera.** Se le denomina así porque la mayoría de las moléculas presentes se ionizan al absorber la radiación solar de alta energía(42). La temperatura aumenta en esta capa y la vida ya no puede mantenerse a esta temperatura. Esta capa protege a los organismos vivos de la absorción de rayos gamma y rayos X de alta energía. Para esto, se debe detener el paso y devolver las ondas de radio hacia la tierra para ayudar en la radiocomunicación a grandes distancias (38).

2.2.8.2. Hidrósfera

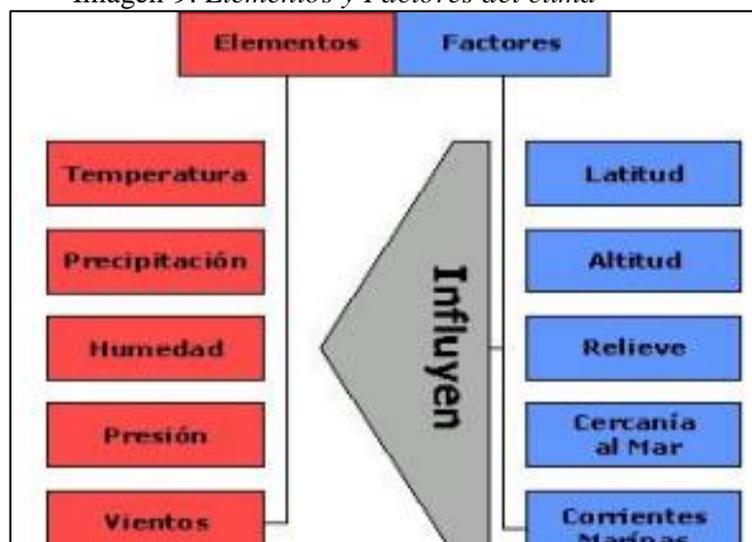
La Tierra es el único planeta del sistema solar que tiene agua líquida en su superficie. También, está formado por cuerpos de agua que existen en la Tierra en cualquier de sus estados. Esta cantidad se dividirá en 4 grandes depósitos (43):

- **Mares y océanos.** Estos comprenden el 97% del total de agua.
- **Aguas continentales.** Aquí se comprende las aguas superficiales, aguas subterráneas y los glaciares, estos, en su conjunto, constituyen aprox. el 2.8% del total de la hidrósfera.
- **Atmosfera.** Cuentan con una parte mínima del total 0.001%, estas se encuentran en forma de vapor de agua.
- **Biosfera.** Son parte del cuerpo de los seres vivos y comprenden un 0.00005%.

2.2.9. El clima

El clima afecta de una forma u otra a diversas actividades humanas, tiene una gran influencia entre otros elementos del entorno, como las plantas, diferentes suelos y también en paisajes, que varían según el tipo de la erosión las cuales se han desarrollado bajo diferentes condiciones climáticas. Por otro lado, (41) las características climáticas descritas existen desde hace mucho tiempo, Esto se debe a su estado "relativamente permanente", el clima se puede definir como promedio del tiempo atmosférico, es decir, para establecer el clima de algunos lugares, las observaciones deben hacerse en varias etapas para luego establecer la temperatura, humedad, precipitación, etc. (41).

Imagen 9. Elementos y Factores del clima



Fuente. Elementos y Factores del clima (41)

Por otro lado, se puede afirmar que el clima cambia la tierra a gran escala. experimentar fluctuaciones climáticas globales, debido a varios factores, se alteran los períodos fríos y cálidos, hacia adelante y hacia atrás de la capa de hielo (41).

2.2.10. Elementos del clima

Estos elementos deben correlacionarse entre sí, este comprende conjunto de condiciones atmosféricas, y estas son denominadas elementos climáticos. Estos elementos se diferencian de dos maneras, temporales y espaciales, la diferencia dependerá de los factores climáticos.

2.2.10.1. Temperatura

La temperatura es ocasionada por la radiación solar y el calor emitido por la tierra, el calor del aire controla la tasa de evapotranspiración cuando este transfiere energía al cultivo. “En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco” (1). La temperatura considerada el más importante de los elementos del clima y sirviendo de base para establecer los diferentes tipos de clima.

2.2.10.2. Humedad

La humedad desempeña un rol muy importante con respecto a las plantas, a través de sus efectos en el potencial hídrico y en la evapotranspiración. “a mayor temperatura del aire hay mayor capacidad de retención de humedad (44).

Por el contrario, en los territorios trópicos húmedos, a pesar de la alta entrada de energía, la alta humedad del aire reduce la necesidad de evapotranspiración" (1).

- **Humedad absoluta:** Indica la cantidad total de vapor de agua, expresada en gramos, que cae sobre cada metro o centímetro cúbico de aire dependiendo de la temperatura. A mayor elevación mayor cantidad de vapor de agua, es así como el aire llega a su capacidad de retención y alcanza la saturación (41).
- **Humedad relativa:** Es un indicador que hace referencia a la relación entre el vapor de agua y el total de moléculas de aire, llegando al punto de saturación (100%) (45).

2.2.10.3. Precipitación

Es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación realizan la interacción entre la atmósfera y los cuerpos de agua superficiales en el ciclo hidrológico del agua" (46).

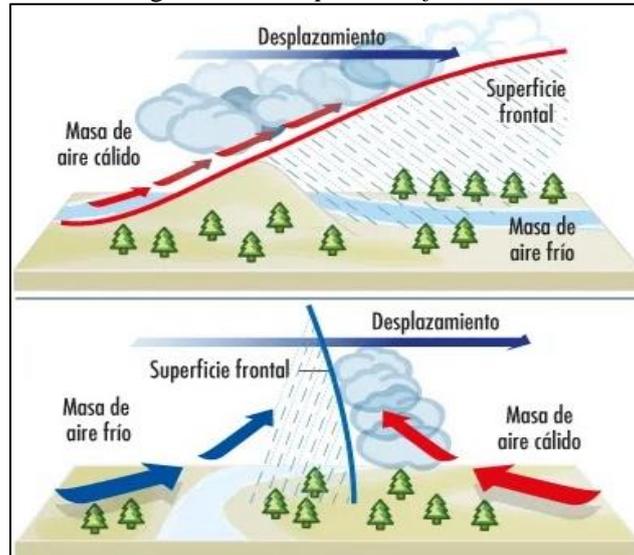
La precipitación se produce cuando la atmósfera presenta una saturación con el vapor de agua y esa agua es condensada, para así finalmente caer en forma de lluvia, llovizna, escarcha, nieve o granizo. Cabe mencionar que a mayor intensidad el tiempo de precipitación es menor, por otro lado, la intensidad de precipitaciones está asociada con el máximo de temperatura (1).

Las precipitaciones se presentan en forma de lluvia, llovizna, nieve y granizo. El aumento de la masa de aire y la diferencia de temperatura, crean una condición en la que la temperatura general del aire excede punto de rocío, que atrae pequeñas gotas de agua y recombinándose, absorbiendo su masa y produciendo la precipitación. Cuando hablamos de precipitación, tenemos que distinguir entre cantidad e intensidad para poder dividir la precipitación en varias categorías (41).

a. Tipos de precipitación según su origen

- **Precipitaciones Frontales**, se produce por el encuentro de masas de aire frías y masas de aire cálidas.

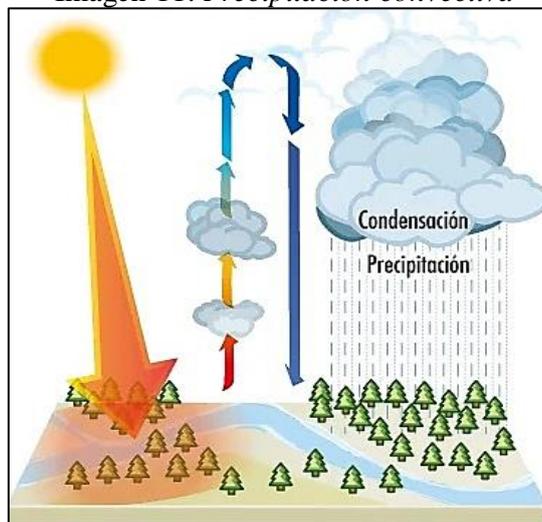
Imagen 10. *Precipitación frontal*



Fuente. Tipos de precipitación (47)

- **Precipitaciones Convectivas**, producidas por la elevación vertical del aire, debido al calentamiento que sufren. A medida que el aire cálido y húmedo asciende, se enfría, lo que da como resultado la condensación del vapor de agua, la formación de nubes y la lluvia.

Imagen 11. *Precipitación convectiva*



Fuente. Tipos de precipitación(47)

- **Precipitaciones Orográficas**. Son originadas por la presencia de una barrera natural, siendo así que el aire se eleve, se enfríe y logre condensarse para generar una lluvia abundante (41).

Imagen 12. *Precipitación orográfica*



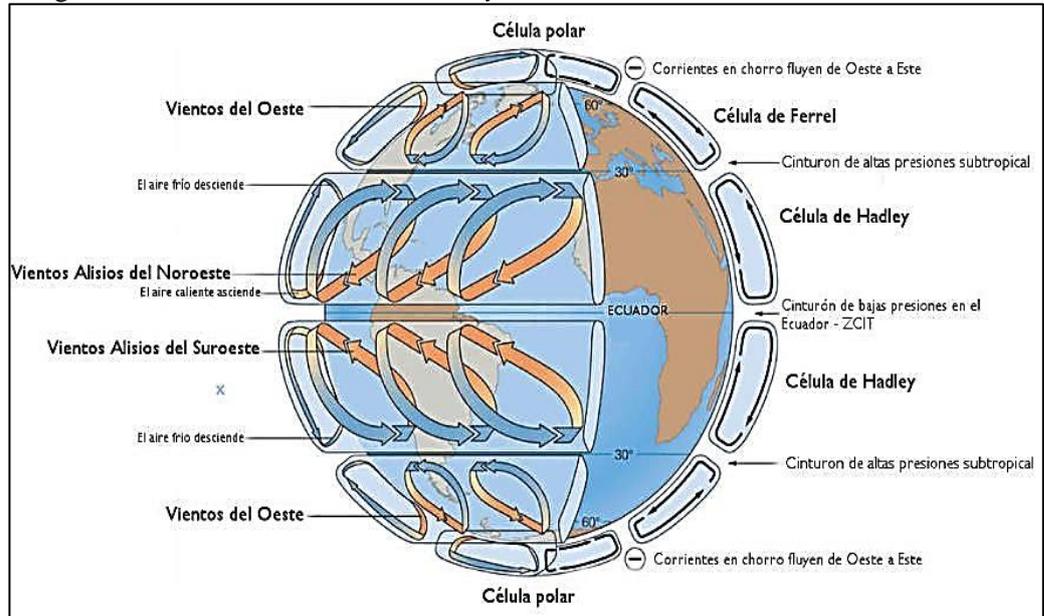
Fuente. Tipos de precipitación(47)

2.2.10.4. Viento

La alta intensidad de los vientos y las turbulencias del aire causan que el vapor sea removido y estas transfieren gran cantidad de aire hacia la superficie. Es necesario que se sustituya por un aire más seco para que el aire se sature gradualmente con la evaporación del agua, la disminución de la intensidad de remoción de vapor de agua y tasa de evapotranspiración (1).

El movimiento de aires en la troposfera se divide en dos planos, los cuales son los movimientos horizontales, los cuales consisten en vientos de la superficie, en cambio los movimientos verticales suceden en las capas superiores de la atmósfera (48).

Imagen 13. *Movimientos horizontales y Verticales*



Fuente: Tipos de viento (48)

2.2.10.5. Las células atmosféricas

- **Célula de Hadley.** Tiene una extensión desde la latitud 30° sur hasta la latitud 30° norte. Es una celda de circulación de aire cerrada en la que el aire cálido sube desde el ecuador y se mueve a latitudes más altas a través de las capas superiores de la atmósfera. Este aumento de aire cálido es responsable de la mayoría de lluvia y tormentas eléctricas sobre la banda de convergencia ecuatorial. Esta solamente logra extenderse en las latitudes de 0 a 30° debido al efecto Coriolis. La superficie o viento cruzado de la celda de Hadley se denomina viento alisio (desde el noreste en el hemisferio norte y desde el sureste en el Hemisferio sur) (48).
- **Célula de Ferrel.** Aires que se originan en los trópicos y se encuentran en la parte inferior de esta célula, se trasladan con dirección a los polos y una vez llegada al paralelo 60 tienen la obligación de ascender por convección, y para que así, estas masas de aire vuelvan hacia los trópicos de donde provenían, desde las altas capas de la atmósfera hasta las más bajas. Los vientos superficiales u horizontales son llamados vientos del Oeste (49).
- **Célula de Polar.** Se encuentran entre dos cascos polares de la Tierra, entre los 60° y 90° de latitud de cada hemisferio. Ambas celdas están

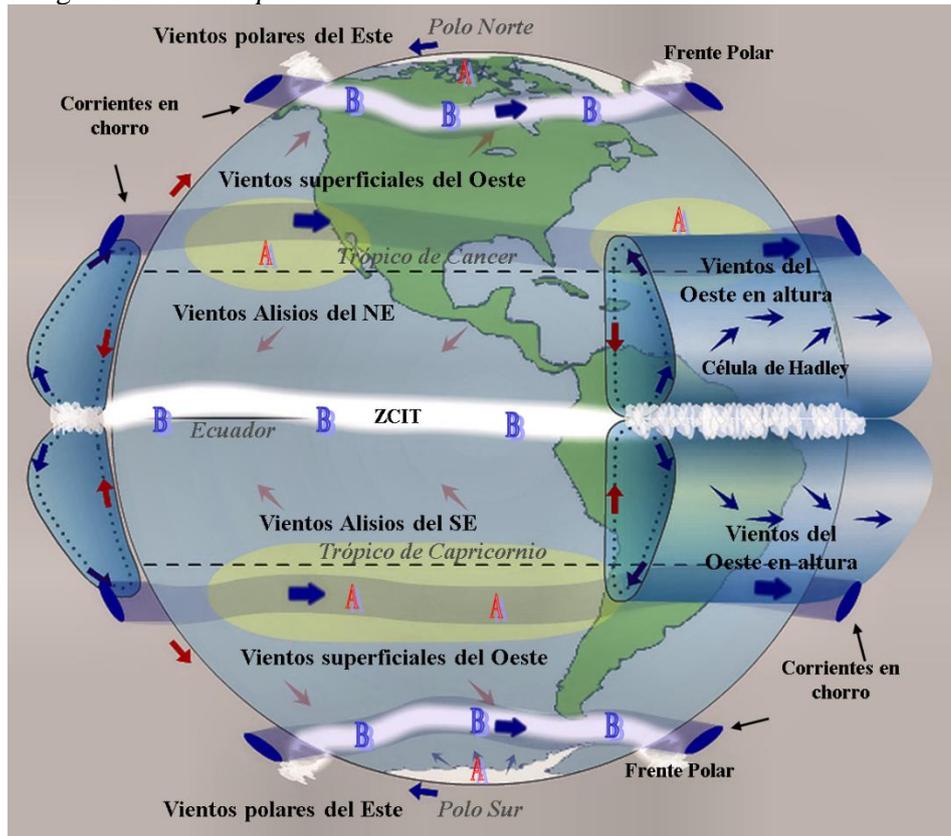
formadas por aire frío procedente de los polos, creando una especie de anticiclónico permanente en esta zona y desplazando el aire frío superficial hacia el ciclón o depresión subpolar. Incluso, en los anillos polares, el aire ascendente se sumerge en los polos y, cuando llega a este punto, el aire frío desciende, creando una alta presión o vórtice. Los vientos en la superficie de la celda polar se denominan vientos del este (48).

2.2.10.6. Clases de viento

a. Vientos planetarios. Estos vientos afectan al planeta durante todo el año.

En las regiones ecuatoriales, las cuales son más calientes del planeta, es donde se recibe más radiación. Son zonas calurosas y lluviosas porque el aire se calienta rápidamente y sube creando una zona de baja presión y porque contiene mucha humedad que provoca precipitaciones diarias. Esta área se llama la calma ecuatorial. Desde allí, el aire se mueve hacia áreas de alta presión llamadas presión subtropical, generando así vientos alisios y vientos del oeste durante todo el año, que son los vientos planetarios predominantes (38).

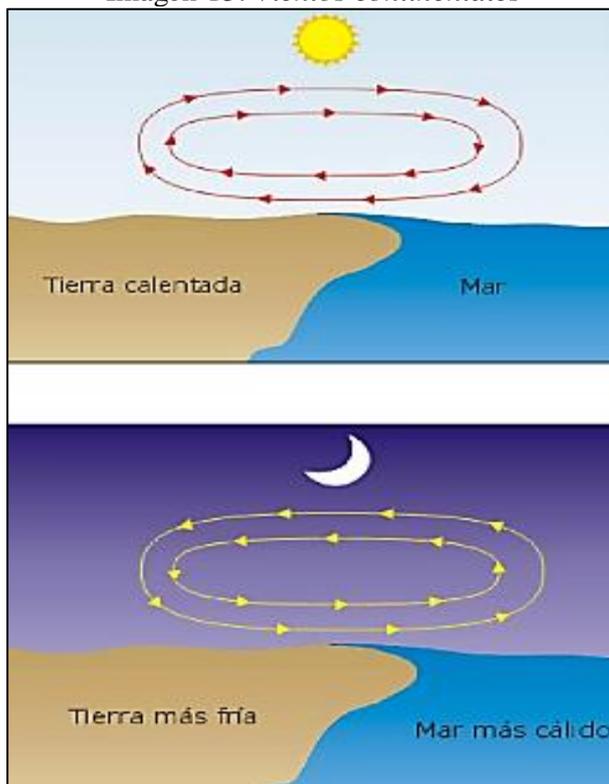
Imagen 14. *Vientos planetarios*



Fuente: [https://www.ensayostube.com/geografia/Vientos-planetarios-Vientos-lo54.php\(50\)](https://www.ensayostube.com/geografia/Vientos-planetarios-Vientos-lo54.php(50))

b. Vientos continentales. Entre estos vientos, se encuentran los monzones que son vientos estacionales, los ciclones, anticiclones y la brisa marina. La tierra y el mar presentan diferencias entre sus temperaturas y presiones lo cual causa que se formen las brisas. La tierra, a comparación del mar, se calienta más rápido y esto hace que se formen sobre ella un centro de baja presión que sopla hacia ella, los vientos vienen del mar, cuando hay un centro de alta presión. Por las noches, la tierra se convierte en una zona de alta presión por el rápido enfriamiento que sufren (38).

Imagen 15. *Vientos continentales*



Fuente. El viento, Hidrología general(51)

c. Vientos locales. Al igual que otros vientos, los vientos locales representan el movimiento del aire desde una zona de baja presión hacia una zona de alta presión, determinando la dirección predominante del viento y la dirección predominante de un área más amplia o menos amplia. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta muchos factores que influyen o determinan las características de magnitud y periodicidad del movimiento del aire.

2.2.11. Factores del clima

2.2.11.1. La latitud. Es la distancia del Ecuador hacia un punto determinado del planeta, siendo así que mientras más cerca nos encontremos del ecuador mayor será la temperatura y conforma nos alejemos las temperaturas bajaran.

2.2.11.2. La altitud. Es un punto con referencia del nivel del mar, es así como este influye sobre la precipitación y la temperatura. Es así como las zonas con el aire más denso se encuentran en menor latitud, al contrario de las zonas más altas, las temperaturas van descendiendo y el aire es menos denso (45).

2.2.11.3. Relieve. Es determinante en la conformación de las diferentes climas del planeta, siendo este influenciado directamente sobre las temperaturas, las precipitaciones y los vientos (52).

2.2.11.4. Las corrientes Marinas. Contribuyen en el clima puesto que movilizan masas de aire a lo largo de los cuerpos oceánicos, siendo aires calientes o frías (52).

2.2.11.5. Cercanía al mar u oceanidad. Grandes corrientes oceánicas circulan entre el ecuador y los polos, redistribuyendo la energía solar entre estas regiones, llevando el calor del ecuador a los polos y el frío de los polos al ecuador. Por lo tanto, modifican las condiciones de latitud tropical (41).

2.2.12. El clima en el Perú

El clima cálido y húmedo, y las fuertes lluvias en Perú son el resultado de su ubicación tropical. Los países tienen climas tropicales y subtropicales distintos debido a la presencia de dos factores cruciales: la Cordillera de los Andes y la corriente de Humboldt. Esta es la razón por la cual Perú experimenta casi todos los tipos de clima en el mundo. Estos factores sugieren que Perú es responsable de la mayor parte del cambio climático a nivel mundial. El clima de la costa peruana se caracteriza por una temperatura húmeda provocada por las corrientes frías. En las zonas montañosas, el clima varía de templado a helado, mientras que la selva se caracteriza por altas temperaturas, humedad y abundancia de lluvias, mientras la costa se caracteriza por dos variaciones climáticas, ocurriendo la primera en la zona comprendida entre Lambayeque y Tacna, la cual es subtropical y tiene una temperatura promedio de aproximadamente 18 grados centígrados y 21 grados centígrados y altos niveles de humedad atmosférica entre 90 y 98%. Por el contrario, el área entre Tumbes y Piura se caracteriza por un clima semitropical. La Sierra tiene un clima variado con temperaturas que van desde los 6°C hasta los 16 °C (37).

2.2.13. El clima en el valle del Mantaro

En el artículo de Hernán Baltazar Castañeda, menciona que el clima en el valle del Mantaro, según la clasificación climática de Thornthwaite, varía de

Semihúmedo a Semiárido y Seco, y con un punto de vista térmico, presenta un clima Semifrío en la zona del Valle del Mantaro” (53).

En la cuenca, la precipitación varía fuertemente estacionalmente, con el mayor valor entre enero y marzo, así como el menor valor entre junio y mayo. El 83% de la precipitación anual ocurre entre octubre y abril, de lo cual el 48% se distribuye casi equitativamente entre los tres primeros meses del año. En época seca, que son junio, julio y agosto, en el Valle de Mantaro, la precipitación se mantiene en 40 mm/trimestre (53).

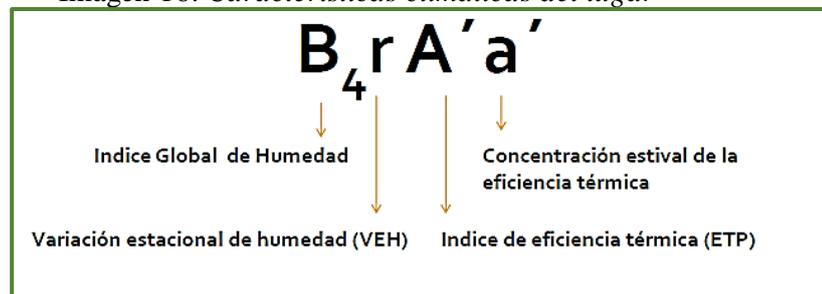
2.2.14. Variabilidad climática

El cambio climático se refiere a la alteración de las condiciones y otras estadísticas climáticas en un espacio geográfico al pasar de los años. Este cambio se debe a procesos internos naturales que suceden dentro del sistema climático (variación interna) o a variaciones debidas a influencias externas naturales o provocadas por el hombre (variación externa) (54).

2.2.15. Sistema Thornthwaite

Se basa en 4 índices climáticos que se muestran en la Imagen 16. Según Thornthwaite está compuesta por 4 letras y unos subíndices, las cuales caracterizaran el clima de una zona. La evapotranspiración mediante Thornthwaite se estima a partir de la temperatura media mensual y la precipitación mensual, esta es corregida por la duración del día (55).

Imagen 16. Características climáticas del lugar



Fuente. Clasificación en función de la humedad y eficiencia térmica (THORNTHWAITE y HARE, 1955)

La evapotranspiración es muy importante para el ciclo hidrobiológico, lo que llevo a que se desarrollen un numero de fórmulas que estimen la pérdida de

agua directamente con datos meteorológicos, puesto que la medición directa resulta ser extremadamente dificultosa.

La clasificación climática usa principalmente la evapotranspiración como un parámetro esencial para la estimación y clasificación de los distintos tipos de climas.

2.2.16. Medición y estimación de las precipitaciones

En nuestro planeta la precipitación es un aspecto que el hombre dejó de lado durante muchos años, sin realizar observaciones y estudios que ayudarían al progreso y bienestar de una población moderna. Como resultado, actualmente, se están realizando mediciones en gran cantidad de estaciones meteorológicas de distintas partes de nuestro planeta, es así como en el mar y en diferentes altitudes de la atmósfera, con ubicaciones fijas a lo largo de rutas trazadas por barcos y aeronaves, aprovechando el hecho que todos tienen instrumentos meteorológicos a bordo se analizan los datos registrados para así realizar estudios y posibles pronósticos (31).

Los usos de la información proporcionada por las diversas fuentes de observación son variados: desde el registro temporal en estaciones específicas, hasta la elaboración de previsiones meteorológicas. En todos los casos, los centros meteorológicos centralizan la información por región proceso, control de calidad y distribuyen esa información a los usuarios que la necesiten para el estudio de la atmósfera. La precipitación se mide en milímetros (mm) de agua o litros que caen por unidad de área (m^2). Con el instrumento llamado pluviómetro, se estima la cantidad de precipitación que cae en un lugar durante un día. Esto equivale a que el agua se acumule en una superficie impermeable horizontal durante un período de lluvia o solo en parte (31).

La pluviometría mide las precipitaciones durante un día, y es así como nos proporciona los datos para entender sobre el intercambio de agua entre la tierra y la atmósfera. La unidad de medida es el milímetro (mm). Esta debe tomarse de una horizontal y que tenga una superficie plana, por lo que un milímetro de agua precipitada equivale a un litro de agua por metro cuadrado. La medición de la precipitación en la cuenca se vuelve difícil dependiendo de los factores topográficos (23).

2.2.17. Escases de agua

2.2.17.1. Cambio climático

Hoy en día, el cambio climático ya no es una amenaza, ya se hizo realidad y lo estamos pasando. Según el Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2020 de las Naciones Unidas, hay más certeza que dudas de que el cambio climático impactara negativamente en la calidad como en la cantidad de agua disponible en el mundo para satisfacer las diferentes necesidades humanas (el agua potable y al saneamiento básico). El aumento de los fenómenos meteorológicos (tormentas de hielo, huracanes, sequías, olas de calor, etc.) parece tener un efecto directo en el cambio climático (56).

Este país genera un 0,4% de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se encuentra entre los tres países con mayor vulnerabilidad a los riesgos climáticos. En 30 años, nuestro país ha perdido un aproximado del 22% de la superficie glaciaria, lo que representa el 71% de los glaciares tropicales del mundo, por lo que debemos unir esfuerzos y tomar acciones concretas que ayuden a evitar más daños al sistema climático; Bueno, al integrar el cambio climático en los procesos de planificación y desarrollo a nivel nacional, sectorial y local, realizaremos una buena acción en protección de nuestro planeta (57).

Los futuros escenarios para el cambio climático estiman un aumento de la temperatura media mundial de hasta 5,8 °C para 2100, y se estima que se producirán impactos importantes con un 30 % a un 50 % de masa glacial derretida y múltiples casquetes polares. El cambio afectará los recursos hídricos en todo el mundo (53).

2.2.17.2. Sequia

Debido a la emergencia climática, se refuerza la llegada o aumento de sequías, se espera que, por un tiempo estimado, no llueva, lo que provocará que el recurso hídrico tanto para humanos como para animales, ganadería, industria o cultivos sea escasa. Este fenómeno avanza en el tiempo y, gradualmente, causa estragos en las áreas afectadas, y en casos extremos puede persistir y causar daños irremediables en la agricultura y cuerpos de agua. Este fenómeno afecta a humanos, plantas y animales. Algunas comunidades andinas sufrieron dos o más temporadas

consecutivas de falta de lluvias y consecuentes daños en sus cosechas o ganados (56).

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la sequía es una desviación acumulativa de las condiciones de precipitación normales o pronosticadas. Este déficit Las precipitaciones pueden ser de corta duración o tardar varios meses en aparecer: disminución del caudal del río, del nivel del agua del embalse o de la altura de agua subterránea (58).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Radiación solar

La radiación solar es una fuente muy importante de energía para el planeta ya que esta energía logra evaporar gran cantidad de agua. También, la presencia de nubes refleja y absorbe gran cantidad de radiación solar. Por otro lado, la radiación solar es diferente para cada latitud y para cada estación del año (1).

2.3.2. Velocidad del viento

La alta intensidad de los vientos y las turbulencias del aire causan que el vapor sea removido y estas transfieren gran cantidad de aire hacia la superficie. Es necesario que se sustituya por un aire más seco para que el aire se sature gradualmente con la evaporación del agua, la disminución de la intensidad de remoción de vapor de agua y tasa de evapotranspiración (1).

2.3.3. Presión atmosférica:

La atmósfera ejerce una enorme cantidad de peso sobre la superficie de la tierra, aunque no prestamos atención a este hecho. Este peso se compara con el peso que ejercen los océanos sobre el fondo marino, por lo que “estaríamos en el fondo de un océano de gas” conocido como presión atmosférica (41).

2.3.4. Variación y fluctuación climática

A veces, notamos cambios o fluctuaciones en el clima sin importar las razones, en el transcurso de los años, más a menudo, cada 10 años, llamamos a estos cambios una variación climática, en algunos casos una simple variable atmosférica ayuda a definir el clima de una zona.

Las fluctuaciones climáticas son cambios que sufren la temperatura, la precipitación u otro variable atmosférica (38).

2.3.5. Sensación térmica

La combinación de elementos del clima (generalmente temperatura, viento y humedad relativa) causan una sensación de calor o frío que una persona puede sentir. Hay una variedad de indicadores que intentan estimar este efecto, y aunque no son temperaturas, también, se expresan en grados (59).

2.3.6. Sequía

La sequía es una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizado por un período de tiempo, con un valor de precipitación más bajo que lo normal. La causa raíz de toda la sequía es la falta de precipitaciones lo que provoca una disponibilidad insuficiente de agua para satisfacer las necesidades existentes. Sin embargo, para determinar el principio y el final, así como la intensidad de la sequía, no existe una definición universalmente aceptada de sequía, ya que varía de un lugar a otro e incluso de persona a persona (59).

2.3.7. Cambio climático

Se entiende por estado de variabilidad del clima de un estado que puede discernirse mediante una evaluación estadística y la variabilidad de su naturaleza, que puede persistir durante períodos de tiempo, generalmente, décadas o incluso más.

2.3.8. Precipitación

Es un cuerpo de agua, que se encuentra en estado líquido o sólido y la cual se formará en las nubes, penetrará en la atmósfera y subirá a la superficie en diferentes formas, como lluvia, nieve, granizo, etc. La precipitación es la cantidad de lluvia que ocurre durante un período de tiempo (37).

2.3.9. Temperatura

La temperatura es ocasionada por la radiación solar y el calor emitido por la tierra, el calor del aire controla la tasa de evapotranspiración cuando este transfiere energía al cultivo. “En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.” (1).

2.3.10. Transpiración

Es el resultado fisiológico en el que el agua se transforma de estado líquido a estado gaseoso, a través del metabolismo vegetal, y hacia la atmósfera. Asimismo, es considerado como transpiración la cantidad de agua que pierden las plantas

mediante goteo o secreción, lo que puede tener un valor considerable cuando las condiciones ambientales son desfavorables para la evaporación (28).

2.3.11. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de un estado líquido a un estado gaseoso. Este paso se define como sublimación y correspondería al caso del agua que pasa del estado nieve al estado gaseoso al calentar la superficie de la nieve con la radiación solar (28).

2.3.12. Evapotranspiración

El proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso ya sea directamente desde los cuerpos de agua o a través del metabolismo de las plantas. Por tanto, es el resultado de la evaporación y la transpiración. Las estimaciones de la transpiración suelen ser difíciles porque es difícil distinguir entre lo que se evapora de las plantas y lo que es transpiración, razón por la cual las mediciones generalmente se realizan en suelos con vegetación y son mediciones correspondientes a la evapotranspiración.

2.3.13. Inversión térmica

La temperatura del aire aumenta con la altitud. Vemos que la temperatura aumenta cada vez más. Se llama "al revés" porque lo habitual es lo contrario: la temperatura disminuye con la altitud (59).

2.3.14. Variabilidad climática

Se refiere a la variación promedio de las condiciones y otras estadísticas climáticas en el tiempo, más allá del alcance de un fenómeno meteorológico particular. Se cree que dicha variación se debe a procesos internos naturales que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones de influencias externas naturales o antropogénicas (variación externa) (54).

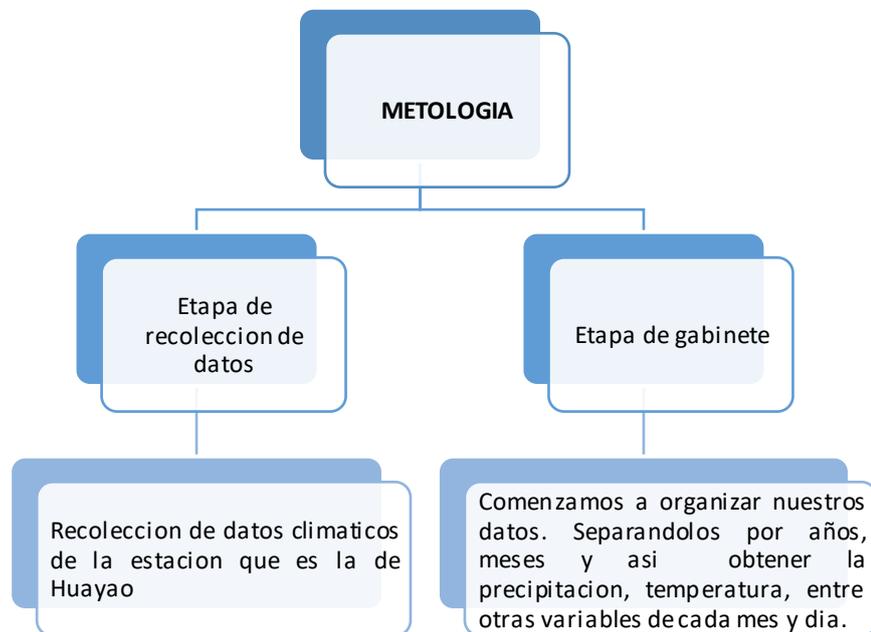
CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo, alcance y diseño de la investigación

3.1.1. Método

En cuanto al método general se utilizó el deductivo analítico, el cual comienza con la planificación donde se incorpora las características más importantes, las cuales tienen que tener coherencia entre sí, para así poder relacionar los conceptos y las variables que ayudaran luego hacer predicciones específicas sobre el comportamiento de un problema o fenómeno. Posteriormente, se analizó para encontrar patrones o tendencias que nos ayudaron a realizar posibles predicciones (60).

En el presente proyecto, se observó hechos generales de conocimientos científicos en los que la evapotranspiración tiene una variación por el cambio de temperatura o disminución de precipitación para formular proposiciones que contrastaremos con la realidad. Todo se realizó basándose en la recolección y el procesamiento de la información.



3.1.2. Método específico de la investigación

3.1.2.1. Determinar las precipitaciones anuales y mensuales

Mediante una solicitud de acceso a la plataforma del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), se obtuvo los datos de Humedad relativa, temperatura y precipitación. Se observa el medio probatorio en el ANEXO N°01.

Para la zona del Valle del Mantaro, los registros de información de la estación de Huayao situada en 12°2'18" S y 75°20'17" O a 3350 msnm, del periodo comprendido entre enero de 1952 y diciembre de 2022.

El Observatorio de Huayao a pocos kilómetros del pueblo de Huayao, es la cuna del IGP, la cual fue fundada en 1922 como "Observatorio Magnético de Huancayo", debido a su cercanía al ecuador magnético. Después de 25 años, sus funciones mejoraron y su capacidad fue mayor, lo que llevó a convertirse en el "Observatorio Geofísico de Huancayo" para así después de otros 15 años unirse con varias entidades y lograr formar el Instituto Geofísico del Perú. Es así como la estación de Huayao es el corazón del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) en el Observatorio de Huancayo y es considerada como una "Estación Climatológica Principal" (34).

Tabla 3. Datos de la estación de Huayao

ESTACIÓN	HUAYAO
LATITUD	12°2'18"S
LONGITUD	75°20'17"
ALTITUD	3350 msnm
DEPARTAMENTO	JUNÍN
PROVINCIA	CHUPACA
DISTRITO	HUACHAC

Fuente. Elaboración propia

Imagen 17. Estación meteorológica - Huayao



Fuente. Laboratorio de microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR)(34)

3.1.2.2. Método de THORNTHWAITE

Los cálculos de Thornthwaite determinan la evapotranspiración en función de la temperatura media, y dando correcciones en base a la duración del día como también los días de cada mes. Este método es muy empleado en estimar el balance hídrico para climatología e Hidrología. Las medidas necesarias para este método son la Temperatura, precipitación, las horas sol de cada mes en la latitud estudiada.

$$ETP_{sc} = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

- ✓ ETP_{sc}: Evapotranspiración(mm) sin corrección
- ✓ I: Índice calorífico anual
- ✓ T: Temperatura media mensual en °C
- ✓ a: Exponente empírico este es en función de I

✚ Índice calorífico mensual (i)

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

- ✓ i: Índice calorífico
- ✓ T= Temperatura mensual

✚ Índice calorífico anual(I)

$$I = (i_{ene} + i_{feb} + i_{mar} + \dots + i_{dic})$$

- ✓ I: Índice calorífico es la suma de 12 índices mensuales.

✚ Exponente empírico (a):

$$a = (6.75 * 10^{-7} * I^3) - (7.71 * 10^{-5} * I^2) + (1.79 * 10^{-2} * I) + 0.49239$$

- ✓ I: Índice calorífico es la suma de 12 índices mensuales.

✚ Total, anual de déficits mensuales de agua (d):

$$d = ETP - ETR$$

- ✓ ETP: Evapotranspiración en mm(corregida).
- ✓ ETR: Evapotranspiración real en mm.

✚ **Total, anual de los excedentes mensuales de agua (s):**

$$s = RR - ETR$$

- ✓ RR: Precipitación anual en mm.
- ✓ ETR: Evapotranspiración real en mm.

✚ **ETP corregida (ETPc)**

$$ETPc = ETPsc * \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right)$$

- ✓ ETPsc: Evapotranspiración en mm (sin corregir)
- ✓ ETPc: Evapotranspiración corregida.
- ✓ N: Número máximo de horas sol dependiendo de latitud y el mes.
- ✓ d: Número de días del mes.

✚ **Calculando Evapotranspiración real (ETR):**

- ✓ Si $pp > ETP$ entonces $ETR = ETP$
- ✓ Si $pp < ETP$ entonces $ETR = pp + |\text{variación de la reserva}|$

Para poder hallar las horas sol, primero tenemos que saber la latitud exacta, para cada mes las horas sol serán diferentes. Podremos encontrar las horas sol en la siguiente Tabla 3.

Tabla 4. Hora de salida del sol (HS), hora de puesta del sol (HP) y duración astronómica del día (N), para diferentes latitudes

LATITUD (S)	0°			2°			4°			6°			8°		
	HS	HP	N												
ENERO	06:06	18:13	12.1	06:06	18:16	12.2	06:00	18:19	12.3	05:56	18:22	12.4	05:53	18:26	12.6
FEBRERO	06:11	18:18	12.1	06:09	18:19	12.2	06:07	18:21	12.0	06:05	18:23	12.3	06:03	18:25	12.4
MARZO	06:06	18:12	12.1	06:05	18:12	12.1	06:05	18:13	12.1	06:05	18:13	12.1	06:04	18:13	12.2
ABRIL	05:57	18:03	12.1	05:58	18:02	12.1	05:59	18:01	12.0	06:01	17:59	12.0	06:02	17:58	11.9
MAYO	05:53	18:00	12.1	05:56	17:57	12.0	05:58	17:54	11.9	06:01	17:52	11.9	06:04	17:49	11.8
JUNIO	05:57	18:04	12.1	06:00	18:01	12.0	06:04	17:57	11.9	06:07	17:54	11.8	06:11	17:50	11.7
JULIO	06:02	18:10	12.1	06:06	18:06	12.0	06:09	18:03	11.9	06:12	18:00	11.8	06:15	17:57	11.7
AGOSTO	06:01	18:08	12.1	06:03	18:06	12.1	06:05	18:04	12.0	06:07	18:02	11.9	06:09	18:00	11.9
SEPTIEMBRE	05:52	17:58	12.1	05:52	17:58	12.1	05:53	17:58	12.1	05:53	17:57	12.1	05:54	17:57	12.1
OCTUBRE	05:42	17:49	12.1	05:41	17:50	12.2	05:40	17:52	12.2	05:39	17:53	12.2	05:38	17:54	12.3
NOVIEMBRE	05:41	17:48	12.1	05:35	17:51	12.3	05:36	17:54	12.3	05:33	17:56	12.4	05:30	17:59	12.5
DICIEMBRE	05:51	17:59	12.1	05:48	18:02	12.2	05:45	18:06	12.4	05:41	18:09	12.5	05:38	18:13	12.6

LATITUD (S)	10°			12°			14°			16°			18°		
	HS	HP	N												
ENERO	05:50	18:29	12.7	05:47	18:32	12.8	05:44	18:35	12.9	05:40	18:39	13.0	05:37	18:42	13.1
FEBRERO	06:02	18:27	12.4	06:00	18:28	12.5	05:58	18:30	12.5	05:56	18:32	12.3	05:54	18:34	12.7
MARZO	06:04	18:14	12.2	06:04	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:15	12.2
ABRIL	06:04	17:56	11.9	06:05	17:55	11.8	06:06	17:53	11.8	06:08	17:52	11.7	06:09	17:50	11.7
MAYO	06:07	17:46	11.7	06:09	17:43	11.6	06:12	17:40	11.5	06:15	17:37	11.4	06:18	17:34	11.3
JUNIO	06:14	17:47	11.6	06:18	17:43	11.4	06:21	17:40	11.3	06:25	17:36	11.2	06:29	17:32	11.1
JULIO	06:18	17:54	11.6	06:21	17:51	11.5	06:25	17:47	11.4	06:28	17:44	11.3	06:32	17:40	11.1
AGOSTO	06:11	17:58	11.8	06:13	17:56	11.7	06:15	17:54	11.7	06:17	17:52	11.6	06:20	17:50	11.5
SEPTIEMBRE	05:54	17:57	12.1	05:54	17:56	12.0	05:55	17:56	12.0	05:55	17:55	12.0	05:56	17:55	12.0
OCTUBRE	05:36	17:55	12.3	05:35	17:57	12.4	05:34	17:58	12.4	05:32	17:59	12.5	05:31	18:01	12.5
NOVIEMBRE	05:27	18:02	12.6	05:25	18:05	12.7	05:22	18:08	12.8	05:19	18:10	12.9	05:16	18:14	13.0
DICIEMBRE	05:34	18:16	12.7	05:30	18:20	12.8	05:27	18:24	13.0	05:23	18:28	13.1	05:19	18:31	13.2

Fuente. Atlas de Energía Solar del Perú y National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2002)

3.1.2.3. Clasificación de Thornthwaite

Esta clasificación está hecha para 4 índices que, en su unión, expresarán las características climáticas de una zona. Los primeros dígitos indican el régimen de humedad mientras los dígitos restantes indican el régimen térmico de la zona.

a. Cálculo de régimen de humedad

El grado de humedad expresa el primer índice de la clasificación de Thornthwaite y este es representado por una letra mayúscula. (Im) viene dado por la siguiente fórmula:

$$Im = lh - 0.6 * Ia$$

- ✓ **Ih:** Índice de humedad.
- ✓ **Ia:** Índice de aridez.

Una vez calculado el **Índice de Humedad**, pasamos a la Tabla 4 para conocer el primer dígito, posteriormente, comparamos el resultado con cada rango de los 9 tipos climáticos y para así buscar entre que límites se encuentra y que letra le corresponde.

Este índice se clasifica en nueve tipos climáticos, que van desde tipo árido hasta el per húmedo, según la siguiente tabla:

Tabla 5. *Índice de Humedad (Im)*

Tipo climático	Letra	Im
<i>Perhúmedo</i>	A	$Im > 100$
<i>Húmedo</i>	B ₄	$100 > Im > 80$
	B ₃	$80 > Im > 60$
	B ₂	$60 > Im > 40$
	B ₁	$40 > Im > 20$
<i>Sub-Húmedo a Húmedo</i>	C ₂	$20 > Im > 0$
<i>Seco a Sub-Húmedo</i>	C ₁	$0 > Im > -20$
<i>Semiárido</i>	D	$-20 > Im > -40$
<i>Árido</i>	E	$-40 > Im > -60$

Fuente. Tipos de climas humedad (THORNTHWAITE y HARE, 1955).

✚ Variación estacional de la humedad

El segundo dígito está representado por una letra minúscula que indica la variación estacional de un lugar.

La fórmula del índice de aridez (Ia) se emplea en climas húmedos, ya que nos interesa caracterizar la magnitud y la distribución de los períodos secos en el lugar estudiado.

$$Ia = 100 * \frac{d}{n}$$

- ✓ **n**: Necesidad de la vegetación expresada en el **ETP**.
- ✓ **d**: Total anual de déficits mensuales de agua.

Por el contrario, utilizamos el Índice de Humedad (Ih) si la zona presenta un clima seco, para así saber cómo se distribuye la posible humedad en el lugar y qué importancia tiene esta estación.

$$Ih = 100 * \frac{S}{n}$$

- ✓ **n:** Necesidad de la vegetación expresada cm el **ETP**.
- ✓ **s:** Total anual de los excedentes mensuales.

Ambos índices serán clasificados en la siguiente tabla y así proceder a determinar el segundo dígito o índice.

Tabla 6. *Índice de la variación estacional de la humedad*

Simbolo	la/lh	Significado
r	la<16.7	Solo para climas húmedos (A, B, C2). Poco o ningún déficit en cualquier estación
d	lh>10	Solo climas secos (C1,D,E). Poco o ningun excedente en cualquier estación.
S		Variación estacional de humedad de caracter moderado, siendo el verano la estación mas seca.
	16,7<la<33.3	En climas húmedos (A,B,C2). Déficit estival moderado.
	10,0<lh<20,0	En climas secos (C, D, E). Excedente invernal moderado.
w		Variación estacional de humedad de carácter moderado, siendo el invierno la estación mas seca.
	16,7<la<33.3	En climas húmedos (A,B,C2). Déficit invernal moderado.
	10,0<lh<20,0	En climas secos (C, D, E). Excedente estival moderado.

Fuente. índice de la variación de estacional de la humedad (THORNTHWAITE y HARE, 1955).

✚ Tipos de climas según el índice térmico

El tercer símbolo de la clasificación lo representa una letra mayúscula la cual indicara la eficiencia térmica. Este es determinando con el valor ya hallado de la ETP anual en mm.

Tabla 7. *Índice de eficiencia térmica*

ETP (mm)	Símbolo	Tipo de clima
n>1140	A'	Megatermal
1140>n>997	B4'	Cuarto mesotermal
997>n>885	B3'	Tercer mesotermal
885>n>712	B2'	Segundo mesotermal
712>n>570	B1'	Primer microtermal
570>n>427	C2'	Segundo microtermal
427>n>285	C1'	Primer microtermal
285>n>142	D'	Clima de tundra
142>n	E'	Clima de hielo

Fuente. Tipos de climas según el índice térmico (THORNTHWAITE y HARE, 1955).

✚ Tipos de clima según la concentración de la eficiencia térmica en verano (Concentración estival de eficacia térmica):

El cuarto índice es la eficacia térmica en verano y es el último dígito de la clasificación Thornthwaite. Es expresado con una letra minúscula, y esta indicará cómo es el régimen térmico durante los 3 meses de verano en

relación con el resto del año y, asimismo, el nivel de concentración de temperaturas altas durante esa época del año.

Este índice es la suma de la evapotranspiración de los tres meses de verano (enero, febrero y marzo para el hemisferio Sur) y después dividiéndolo con la estimación de la evapotranspiración anual (12 meses).

$$\text{Eficiencia Térmica } \% = \frac{\text{ETP verano}}{\text{ETP Anual}} * 100$$

Tabla 8. Concentración de la eficiencia térmica

ETP (verano)/ETP (anual)*100	Símbolo
Valores menores a 48,0	a'
Entre 48,0 y 51,9	b4'
Entre 51,9 y 56,3	b3'
Entre 56,3 y 61,6	b2'
Entre 61,6 y 68,0	b1'
Entre 68,0 y 76,3	c2'
Entre 76,3 y 88,0	c1'
Valores mayores a 88,0	d'

Fuente. Tipos de clima según la concentración de la eficiencia térmica en verano (THORNTHWAITE y HARE, 1955).

3.1.3. Nivel

El nivel de investigación tomado en cuenta es el explicativo, porque explicaremos la relación que tiene la evapotranspiración con respecto a la variación factores climáticos frente al cambio climático. Esto ayudará a determinar y estimar la evapotranspiración con la variabilidad de factores climáticos.

3.1.4. Diseño de la Investigación

3.1.4.1. Diseño no experimental

El trabajo de investigación empleó un diseño no experimental, ya que, en ningún momento, se procedió a la manipulación de variables.

“No existe manipulación de las variables por parte del investigador” (61). Se desarrolla el estudio y, posteriormente, se analiza para obtener la información necesaria. En este tipo de estudio, no se elabora ninguna situación, sino se

realiza una observación de situaciones ya existentes, siendo así que estudia exactamente cómo ocurrieron. Las ventajas que se tiene del diseño no experimental es que se conoce el cómo sucedió para así investigar el efecto que tuvo o tendrá, como es en el caso de este proyecto en el cual se usará los datos meteorológicos ya registrados durante varios años para así realizar una clasificación y observar el comportamiento que tiene la evapotranspiración en el transcurso de estos años.

3.1.4.2. Diseño no experimental longitudinal

El Diseño no experimental longitudinal realiza recolección de datos que fueron registrados en varios años, en puntos y periodos específicos, siendo así que brindan información sobre las variables y su evolución a través de los años (62).

Los valores de las variables se comparan en diferentes ocasiones, sean futuro versus presente o presente versus pasado. Además, se dividen en retrospectivo y prospectivo (61).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población del estudio es representada por todas las estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas dentro del Valle del Mantaro, las cuales el SENAMHI pone a disposición, en estas son registradas los datos necesarios para aplicar el método de Thornthwaite.

3.2.2. Muestra

El estudio tendrá como muestra la estación meteorológica de Huayao, por ser la más representativa a nivel nacional y, asimismo, por contar con la data necesaria para realizar la estimación y una correcta clasificación, los periodos comprendidos son desde el año 1952 hasta el año 2022.

3.3. Técnica e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos empleadas en el estudio comenzaron con el procesamiento de la data registrada en la estación de Huayao, la cual se

descargó de la página del SENAMHI, posteriormente, buscar los datos necesarios que usaremos para la aplicación del método de Thornthwaite y finalmente procesar la información con el método ya explicado. Asimismo, realiza la clasificación mediante los 4 índices que son planteados por Thornthwaite.

Tabla 9. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

ITEM	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
Distribución de precipitaciones y temperatura	Procesamiento de datos	Datos de la precipitaciones y temperatura obtenidas del SENAMHI -Software Excel
Estimación de la Evapotranspiración	Procesamiento de estimaciones	Formula de determinación de la Evapotranspiración
Clasificación de los climas según Thornthwaite	Procesamiento de climas	Clasificación climática mediante los 4 índices que plantea Thornthwaite

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos utilizados son varios, entre ellos se utilizó la información geográfica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), adicionalmente se usó los datos registrados en la estación climatológica durante los años 1952 al 2022; entre ellos están:

- Radiación solar
- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Precipitación

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de evapotranspiración y análisis de la información

4.1.1. Nivel de precipitación en las 3 últimas décadas y la variación que presenta con el cambio climático

El promedio de temperaturas registradas y comparadas con otros resultados nos da a entender que el cambio climático que se va presentado en el Valle del Mantaro altera a las precipitaciones, causando que exista la desglaciación en nuestro principal nevado que es el Huaytapallana, sequias a alrededores del valle. Se prevé que el cambio climático influirá en las principales componentes del ciclo hidrológico, con mayor evapotranspiración y menor precipitación, lo que según algunos autores derivaría en un incremento en la frecuencia y duración de eventos de sequía. Y cada vez se vea afectado el ciclo hidrológico y así las precipitaciones. Asimismo, en estos años, hubo un retraso drástico de temporadas de lluvia presentando sequias y escasez del recurso hídrico.

Se logró identificar que las temperaturas van en aumento por la contaminación que existe en el valle y en el resto del país, también, por el exceso de gases de efecto invernadero que es producido por el hombre. Estos resultados se logran determinar analizando los datos obtenidos de la estación meteorológica de Huayao, y, una vez obtenida, se pasa a analizarlas rigurosa y minuciosamente, dando como resultado las precipitaciones mensuales como anuales.

El total de precipitación que se observa en la Tabla 11, corresponde a la sumatoria de los días de cada mes, resultando así una precipitación en mm correspondiente a cada mes, al final se presenta el sumatorio total correspondiente a cada año, para así posteriormente realizar un gráfico, el cual podremos observar la tendencia correspondiente al periodo analizado. Con los resultados mostrados en esta tabla, se puede analizar una posible tendencia tanto en los próximos meses como en los años.

Con los mismos resultados hallados, se logró identificar la variación que se presenta en las 3 últimas décadas, las cuales en los gráficos posteriores se logra observar y explicar con más claridad, logrando observar un periodo seco entre los meses de mayo y agosto, y a partir de setiembre hasta el mes de abril un periodo lluvioso.

Tabla 10. *Precipitación total mensual y multianual del año 1952 al 2022*

AÑOS	ENERO (mm)	FEBRERO (mm)	MARZO (mm)	ABRIL (mm)	MAYO (mm)	JUNIO (mm)	JULIO (mm)	AGOSTO (mm)	SETIEMBRE (mm)	OCTUBRE (mm)	NOVIEMBRE (mm)	DICIEMBRE (mm)	TOTAL ANUAL (mm)
1952	184.8	146.8	179.4	36.2	22.7	23.8	4.8	16.8	30.4	83.5	115.9	106.1	951.2
1953	199.3	204.8	137.2	30	0	11.1	1.9	12.8	0	55.4	109.2	75	836.7
1954	151.5	132.5	111.7	53.2	0.00	0	1.5	4	56.1	96.3	96.8	146.8	850.4
1955	121.1	107.5	117.8	23.3	31.4	7.6	1.1	11.1	21.7	44.4	33.4	81.2	601.6
1956	122.9	202.6	61.9	41.2	12.8	0.8	22.4	6.1	37.5	38.2	44.8	71.5	662.7
1957	79.6	151.2	119.5	94	24.9	11.5	2.9	13.3	67	65.6	63.5	79.2	772.2
1958	141.7	137.1	65.1	44.9	35.4	8.6	4.9	2.3	23	88.6	66.4	85.7	703.7
1959	102.2	198.3	151.9	88.1	25.2	35.3	1	6.9	36	91.9	49.5	109.1	895.4
1960	88.4	112.5	39.1	66.6	16.4	0.3	10.1	20.6	31.4	49.8	115.1	51	601.3
1961	193.6	165	101.1	63.6	62.8	0	0	15.7	26.1	25.9	97.7	144.2	895.7
1962	92.3	110.4	140.9	63.1	38	0.5	4.3	1.8	29	68.3	71	99.2	718.8
1963	184	114	144	69.9	13	2.3	0	19.8	32.3	40.1	63.1	96.6	779.1
1964	99	74.8	127.4	50.2	39.3	0	1.3	26.9	71.4	124.6	93.5	99.6	808
1965	93.6	124.8	117.3	59.5	11.2	0	9.7	15.9	95.5	77.8	68.2	80.3	753.8
1966	102.2	42.5	67.8	24.9	42.4	6.1	0	4.3	46.9	99.5	64.8	112.3	613.7
1967	107.5	142.9	184.7	39.9	41.5	1.5	23.4	23	52.2	99.4	43.6	65.5	825.1
1968	152.2	93.8	118.3	40.9	1.5	3.9	20.6	68	18.8	57.3	42.2	65	682.5
1969	51.9	78.1	59	65.3	6.1	12.8	21.9	14.2	37.6	44.1	78.3	106	575.3
1970	178.4	121	69.5	40.9	25.3	5.5	4	1	67.7	69.6	37.5	115.2	735.6
1971	83.5	177.6	150	45.8	5.4	3.5	6.1	79.1	24.5	64.4	68.3	82.4	790.6
1972	94.3	121.9	148	135.7	38.4	4.3	9.2	17.3	21.5	44.8	45.7	140.4	821.5
1973	152.8	153.7	137.1	97.4	12.9	3.6	23.9	21.3	48.1	94.1	39.8	87.9	872.6

1974	154.9	176.8	67.9	56.6	0.5	26.2	2.8	30.4	13.2	68.5	54.2	62.1	714.1
1975	83.6	120.1	162.6	38.4	31.2	3.6	0.5	38.9	130.7	86	65.5	111.4	872.5
1976	95.6	126.7	133.5	31.2	17.3	15.2	1.5	25.4	37.4	26.3	56.1	103.8	670
1977	85.5	124.6	124	125.1	22.9	1.8	7.3	6.7	53	70	125.6	89.9	836.4
1978	226	93	66.2	24.8	5.4	1.6	0	0	72.7	38.6	134.9	84.9	748.1
1979	129.4	80.6	108.7	72	22.4	0.5	3.4	20.9	31.6	22.9	76	61.9	630.3
1982	118	112.9	65.5	64.1	0	10.4	6.8	24	43	133.6	77.8	86.9	743
1983	124.8	55.4	120.6	36.1	24.4	13.8	0.7	0	0	0	52.7	35.1	463.6
1984	170.9	219.4	141.9	36.7	24.3	11.2	3.4	1.6	43.7	87.7	162.5	58.6	961.9
1985	78.5	161.7	80.7	55.6	19.2	5.6	9.7	10.1	89.9	76.3	89.2	137.2	813.7
1986	157.2	223.8	157.8	126.9	11.4	0	6.4	20.9	41	33.1	35.7	78	892.2
1987	156.3	147	68.3	72.7	14.4	15.3	11.7	6.2	40.2	33.9	41.5	118.2	725.7
1988	209.5	129	87.7	54	25.6	1	0	8.6	27.1	68.7	29.9	161.5	802.6
1989	96.6	188.9	145.3	88.9	19.2	15.1	0.5	17.5	13.5	123	45.2	40.8	794.5
1990	119.1	135.6	100.7	41.1	20.1	63	10.2	21.5	61	75.1	133.1	95.4	875.9
1991	71	54.4	163.3	82.1	34.4	16.6	1.4	0	57.4	57.6	65.7	38.7	642.6
1992	77.9	102.8	82.2	23.2	8.1	17.2	4.5	11.7	26.7	51.6	34.9	60.5	501.3
1993	139.9	144.6	107.2	103.2	18.6	1	3.7	25.1	0	66	109.1	133.7	852.1
1994	121.2	198	128.3	90.9	31.1	1.5	1.3	16.9	16.5	58.7	61.8	111.7	837.9
1995	68.9	131.3	125.4	19.6	26.9	2.6	9.2	16.4	36.5	76	56	98.3	667.1
1996	121.4	113.8	105.2	37.7	4.6	1.3	0	16.3	22.8	58.8	32.3	86	600.2
1997	103.9	137.9	70.6	37.5	2.9	0.3	1.3	18.3	46.7	34.4	75	125.6	654.4
1998	153.5	126	61.3	81.6	1.9	3.9	0	35	33.9	93.5	56.8	79.3	726.7
1999	113.3	148.7	75.5	59.7	6.6	22.7	8.1	7.9	62.8	51.2	82.6	76.8	715.9
2000	106.9	141.7	111.6	16.1	16.3	3.8	10	36.4	17.6	68.8	31.7	114.8	675.7
2001	166	92.3	161	26.1	15.8	1.5	18.6	5.9	62.7	104.9	57.7	115.8	828.3
2002	95.6	149.2	115.8	28.4	12.3	4.4	31	11.7	66.2	71.7	93.9	133.3	813.5
2003	127.7	111.6	133.6	99.6	26	2.6	1.5	22.3	31.2	37.7	65.7	116.3	775.8

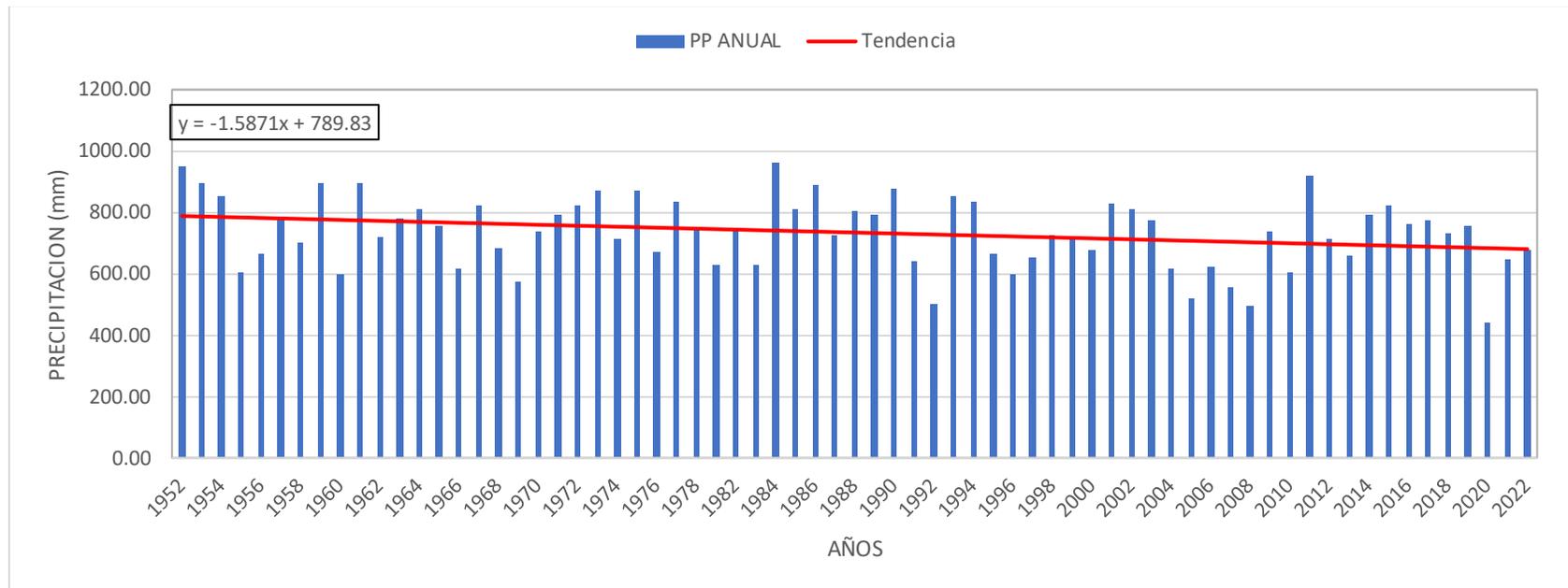
2004	52.1	159.6	51.1	35.9	16.6	9	15	7.3	44.6	49.5	95.9	81.4	618
2005	52.1	73.4	74.3	26.6	14	0.6	6.3	5.8	19.3	116.7	61.1	72.1	522.3
2006	158.3	73.4	80.9	19.4	2.3	5	31.9	7.9	52.3	50.7	51.2	86.6	619.9
2007	97.4	36.3	139.8	55.6	13	0	2.6	2.2	15.9	64.4	50.6	77.8	555.6
2008	105.1	62.3	50.7	24.5	3.8	11.8	6.4	18.9	40.1	70.1	32.3	67.9	493.9
2009	92.5	90.2	131	62.9	16.4	9.7	7.4	32.1	26.4	40.1	114.6	111.7	735
2010	173.6	86.3	108.3	41.3	1.1	6.4	4.8	1	6.7	48.8	25.4	100.2	603.9
2011	157.3	231.8	111.8	72.9	19.3	0	3.6	1.9	68.6	48.7	71.3	124.9	912.1
2012	77.6	145.3	0	87.7	19.3	14.3	0.4	0	32	31.8	73.6	132.9	614.9
2013	149.2	144.6	58.7	45.5	8.5	9	1.8	30.2	54.4	33.8	41.9	79.6	657.2
2014	163.5	78.9	131.8	42.2	72.4	11.5	12.6	1.4	60.8	35.8	66.7	115.7	793.3
2015	101.1	171.2	80.3	101.6	8	24	9.8	8	52.7	52.2	90.3	125.2	824.4
2016	146.25	142.3	80.5	59.9	6.7	0.5	6.8	8.7	61	107.5	39.5	100	759.65
2017	191.40	161.00	87.00	63.50	29.90	4.20	3.80	6.90	51.90	53.10	49.50	74.80	777
2018	166.70	79.90	163.00	42.20	3.70	4.10	4.50	28.50	59.00	80.10	44.00	56.30	732
2019	150.50	108.30	100.30	53.90	21.00	0.50	5.00	0.40	2.90	35.00	54.90	225.70	758.4
2020	54.40	109.60	41.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	42.80	18.30	23.70	73.70	365.7
2021	131.60	30.30	128.10	42.40	19.00	19.40	0.00	35.60	39.60	51.30	100.70	50.40	648.4
2022	100.40	123.20	131.30	80.40	11.20	0.00	6.50	6.20	28.60	9.20	34.50	146.00	677.5

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 11, se detalla la suma de precipitaciones mensualmente como anualmente, para así posteriormente usar estos datos en las fórmulas de Thornthwaite y hallar la evapotranspiración. De igual manera, se puede analizar con esta tabla los años de sequía y a los años lluviosos. Asimismo, nos damos cuenta de que los meses que presentan menos precipitación en el Valle del Mantaro son junio y julio, presentando una precipitación promedio menor a 10mm, presentando sequias en todo el Valle del Mantaro.

En la misma tabla, se observa que para el periodo 1992 a 2022 las precipitaciones anuales fluctuaron desde 365.7mm hasta 912.1mm; tomando en cuenta que el valor de 365.7 mm corresponde al año 2020 y 912.1mm al año 2011. Es así como podemos afirmar que el año más lluvioso fue el año 2011 y el año con déficit de precipitaciones fue el 2020.

Imagen 18. *Precipitación anual y tendencia del periodo 1952 al 2022*



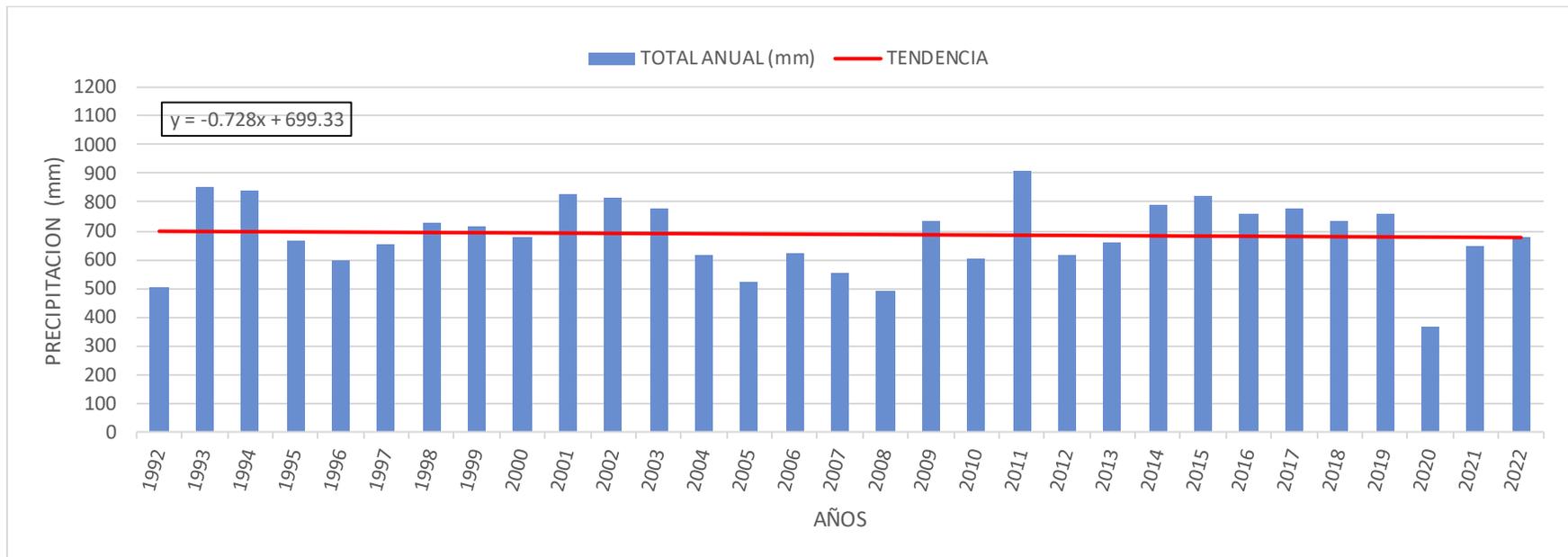
Fuente. Elaboración Propia

Se puede observar en la Imagen 18, que la tendencia de la precipitación de 1952 al 2022 es negativa con -1.5mm por año. Así mismo se aprecia que el promedio de precipitación acumulada anual tiene una variabilidad interanual. Es así como, en los próximos años, se tendrán menor precipitación, esto a causa del cambio climático la cual altera el ciclo hidrológico.

La variación de la precipitación en el transcurso de los años estudiados ha disminuido, dando así años en los cuales la precipitación es muy baja llegando a cerca de los 400mm por año como es en el caso del año 2020. Esto se debe a los cambios drásticos que se van presentando en el clima,

siendo afectados la población del Valle y la cual en los próximos años seguirá afectando. Por otro lado, la disminución de las precipitaciones traerá consecuencias graves en la agricultura, población entre otros, como en la actualidad ya tenemos estragos por la falta de agua dando sequias por las altas temperaturas registradas, y por la alteración del ciclo del agua.

Imagen 19. Precipitación anual y tendencia de las últimas 3 décadas (1992 al 2022-9)



Fuente. Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de la precipitación en los últimos 30 años (1992 al 2022) de la estación Huayao, se observan en la **Imagen 19**, la cual nos muestra una tendencia negativa de **-0.728mm** p/año, esto nos resulta un aproximado del 50% con respecto a la tendencia analizada del año 1952 hasta el 2022. Es así como, al comparar con estas 3 últimas décadas, las precipitaciones disminuyeron y seguirán disminuyendo por la variación de los factores climáticos, esto debiéndose al incremento de las temperaturas, las cuales presentan un aumento de $+0.13\text{ }^{\circ}\text{C/década}$, lo cual en esos 30

años hubo un aumento promedio de $+0.40^{\circ}\text{C}$, la cual se determinó analizando datos recopilados de la estación de Huayao, y procediendo a realizar promedios mensuales y anuales, dando como resultado datos estadísticos que se logran observar en cada imagen presentada anteriormente.

La precipitación en los últimos 30 años da un pronóstico de que al pasar los años tendremos una disminución de precipitación, así mismo habrá años los cuales se presente mayor precipitación esto se deberá al cambio climático del Valle del Mantaro.

4.1.2. Estimación de la evapotranspiración y la alteración por consecuencia del cambio climático.

La estimación de la evapotranspiración es sumamente crucial para poder comprender y gestionar los recursos hídricos dentro del Valle del Mantaro, realizando la estimación con el método de Thornthwaite, para así obtener proyecciones más precisas de las condiciones climáticas futuras. Estas proyecciones ayudarán a proporcionar datos más precisos sobre las variables y la alteración que se va presentando al pasar de los años a consecuencia del cambio climático, siendo así que el monitoreo continuo de la evapotranspiración y sus variables ayudaron a comprender mejor como están cambiando las condiciones climáticas dentro del Valle del Mantaro y cómo éstas se ven alteradas por consecuencia del cambio climático.

La estimación de la evapotranspiración hallada en el Valle del Mantaro en los últimos años va cambiando. Estas alteraciones de la evapotranspiración debido al cambio climático se determinan mediante el análisis de datos observacionales a largo plazo y así poder proyectar futuros cambios en la evapotranspiración en respuesta al calentamiento global y otros efectos del cambio climático.

El cambio climático representa un desafío significativo para el valle del Mantaro. Es así como el método de Thornthwaite nos proporcionó una estimación de la evapotranspiración en el lugar estudiado dando como resultados años en los cuales la estimación se ve afectada por la alteración de las condiciones climáticas y es así como este refleja la variabilidad estacional de cada año, la alteración del clima puede tener importantes implicaciones para la estimación de la evapotranspiración y la gestión de los recursos hídricos

Como se observa en la **Tabla 11**, los tipos de clima del año 1952 al año 2022 y se nota en algunos años un cambio en el índice de humedad y en el índice de eficiencia térmica, en los otros dos índices de clasificación, se encuentran iguales, lo que nos da a entender que en algunos años hay cambios en los patrones de precipitación y aumento de las temperaturas dentro del valle.

Es así como la evapotranspiración estimada en los últimos años se ve afectada por el cambio del clima, esto debido al cambio climático que vamos viviendo al pasar de los años, y más aún que seguirán empeorando y la evapotranspiración se verá muy afectada, con los resultados hallados y analizados de temperatura y precipitación. Se observa que esta alteración se debe al cambio climático.

Se logra determinar que la evapotranspiración ha sido afectada por el cambio climático, al realizar los estudios a largo plazo, teniendo los datos de observación recopilados durante décadas del Valle del Mantaro. Estos una vez analizados, se logró identificar tendencias y cambios significativos en los años de estudio. Es así como, en la **Tabla 11**, observamos la evapotranspiración estimada por cada año.

Tabla 11. *Estimación de la evapotranspiración de la estación de Huayao (1952-2022)*

AÑO	PP (mm)	T° (C°)	ETPc (mm)	ETR (mm)	d	s	lh	la	lm	%	TIPO CLIMÁTICO	CLASIFICACIÓN
1952	951.20	10.85	617.11	593.51	23.61	357.69	57.96	3.83	55.67	32.29%	HÚMEDO	B1rB1'a'
1953	893.03	12.25	645.76	664.44	-15.68	231.59	35.86	-2.43	37.32	25.47%	HÚMEDO	B1rB3'a'
1954	850.40	12.16	598.02	684.22	-86.20	166.18	27.79	-14.41	36.44	32.35%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1955	601.60	11.94	639.91	611.03	28.88	-9.43	-1.47	4.51	-4.18	26.90%	HÚMEDO	B1rB3'a'
1956	662.70	11.74	637.48	633.68	3.80	29.02	4.55	0.60	4.20	25.61%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1957	772.20	12.11	643.71	624.92	18.79	147.28	22.88	2.92	21.13	27.10%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1958	703.70	12.53	652.15	582.69	69.46	121.01	18.56	10.65	12.17	26.97%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1959	895.40	12.25	646.64	625.76	20.88	269.64	41.70	3.23	39.76	27.69%	HÚMEDO	B1rB3'a'
1960	601.30	12.00	643.20	563.37	79.83	37.93	5.90	12.41	-1.55	26.75%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1dB1'a'
1961	895.70	11.77	636.30	567.79	68.51	327.91	51.53	10.77	45.07	27.81%	HÚMEDO	B2rB3'a'
1962	718.80	11.91	639.48	586.37	53.11	132.43	20.71	8.31	15.73	27.13%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2dB2'a'
1963	779.10	11.70	635.09	553.30	81.79	225.80	35.55	12.88	27.83	26.01%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1964	808.00	11.56	633.57	628.75	4.82	179.25	28.29	0.76	27.84	29.46%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1965	753.80	11.73	634.90	598.25	36.65	155.55	24.50	5.77	21.04	24.86%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1966	613.70	11.92	639.07	521.53	117.54	92.17	14.42	18.39	3.39	27.39%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2dB1'a'

1967	825.10	11.16	623.92	623.92	0.00	201.18	32.24	0.00	32.24	27.44%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1968	682.50	11.16	626.04	587.74	38.30	94.76	15.14	6.12	11.47	27.29%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1969	575.30	12.04	641.23	507.22	134.00	68.08	10.62	20.90	-1.92	27.79%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sB1'a'
1970	735.60	11.72	634.59	579.62	54.97	155.98	24.58	8.66	19.38	26.49%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
1971	790.60	10.98	620.09	610.99	9.10	179.61	28.97	1.47	28.09	26.99%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1972	821.50	11.33	629.09	565.15	63.94	256.35	40.75	10.16	34.65	26.73%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1973	872.60	11.80	636.14	622.68	13.46	249.92	39.29	2.12	38.02	28.50%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1974	714.10	11.15	623.87	572.79	51.09	141.31	22.65	8.19	17.74	26.52%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2sB2'a'
1975	872.50	11.24	624.64	616.02	8.63	256.48	41.06	1.38	40.23	27.36%	HÚMEDO	B2rB2'a'
1976	670.00	11.53	633.23	540.02	93.20	129.98	20.53	14.72	11.69	26.17%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1977	836.40	11.83	637.89	605.71	32.17	230.69	36.16	5.04	33.14	28.02%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1978	748.10	11.71	614.49	555.75	58.74	192.35	31.30	9.56	25.57	29.52%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1979	630.30	11.90	639.27	557.17	82.09	73.13	11.44	12.84	3.73	26.97%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1982	743.00	11.72	635.77	599.85	35.93	143.15	22.52	5.65	19.13	27.25%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
1983	630.40	12.52	651.70	601.11	50.59	29.29	4.49	7.76	-0.16	28.65%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sB1'a'
1984	961.90	11.83	639.19	578.82	60.37	383.08	59.93	9.44	54.26	26.97%	HÚMEDO	B2rB3'a'
1985	813.70	11.51	630.99	606.92	24.07	206.78	32.77	3.81	30.48	27.64%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1986	892.20	11.72	635.43	537.64	97.79	354.56	55.80	15.39	46.57	26.41%	HÚMEDO	B2rB3'a'
1987	725.70	12.18	644.96	558.06	86.90	167.64	25.99	13.47	17.91	27.42%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
1988	802.60	11.75	637.72	552.45	85.27	250.15	39.23	13.37	31.20	27.99%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1989	794.50	11.30	626.46	573.89	52.57	220.61	35.22	8.39	30.18	26.49%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1990	875.90	11.71	634.51	634.51	0.00	241.39	38.04	0.00	38.04	26.37%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1991	642.60	11.51	630.77	605.08	25.68	37.52	5.95	4.07	3.50	28.93%	SUB-HÚMEDO	C2rB1'a'

											A HÚMEDO	
1992	501.30	11.80	638.77	501.30	137.47	0.00	0.00	21.52	-12.91	28.65%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sC2'a'
1993	852.10	11.45	602.59	580.70	21.89	271.40	45.04	3.63	42.86	30.43%	HÚMEDO	B2rB2'a'
1994	837.90	11.76	636.15	580.20	55.96	257.70	40.51	8.80	35.23	27.16%	HÚMEDO	B1rB2'a'
1995	667.10	12.35	648.10	573.02	75.08	94.08	14.52	11.58	7.57	27.04%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1996	600.20	12.00	642.56	505.81	136.76	94.39	14.69	21.28	1.92	26.41%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2sB1'a'
1997	654.40	12.20	645.76	540.33	105.43	114.07	17.66	16.33	7.87	26.33%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
1998	726.70	12.95	660.63	602.34	58.29	124.36	18.82	8.82	13.53	28.49%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
1999	715.90	11.81	636.89	607.27	29.62	108.63	17.06	4.65	14.27	27.33%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
2000	675.70	12.08	643.75	529.34	114.41	146.36	22.74	17.77	12.07	25.92%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2sB1'a'
2001	828.30	12.07	642.46	583.55	58.90	244.75	38.10	9.17	32.59	26.30%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2002	813.50	12.46	650.67	605.49	45.18	208.01	31.97	6.94	27.80	26.91%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2003	775.80	12.34	648.22	579.57	68.65	196.23	30.27	10.59	23.92	27.53%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2004	618.00	12.27	648.97	565.25	83.72	52.75	8.13	12.90	0.39	28.15%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
2005	522.30	12.38	648.42	454.74	193.67	67.56	10.42	29.87	-7.50	27.89%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sC2'a'
2006	619.90	12.11	643.16	562.60	80.56	57.30	8.91	12.53	1.39	27.12%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
2007	555.60	12.33	648.25	539.36	108.89	16.24	2.51	16.80	-7.57	27.85%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sC2'a'
2008	493.90	12.02	643.35	490.73	152.62	3.17	0.49	23.72	-13.74	26.33%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sC2'a'
2009	735.00	12.45	650.20	583.44	66.77	151.56	23.31	10.27	17.15	26.39%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB2'a'
2010	603.90	12.71	655.61	478.37	177.24	125.53	19.15	27.03	2.93	28.02%	SUB-HÚMEDO	C2sB1'a'

											A HÚMEDO	
2011	922.45	12.20	644.99	602.69	42.30	319.76	49.58	6.56	45.64	26.79%	HÚMEDO	B2rB3'a'
2012	716.20	12.36	650.63	573.22	77.41	142.98	21.98	11.90	14.84	27.36%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
2013	657.20	12.62	653.67	565.12	88.55	92.08	14.09	13.55	5.96	27.68%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
2014	793.30	12.47	650.41	629.41	21.00	163.89	25.20	3.23	23.26	27.09%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2015	824.40	12.50	651.29	603.62	47.67	220.78	33.90	7.32	29.51	26.51%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2016	759.65	12.65	656.96	603.79	53.17	155.86	23.72	8.09	18.87	29.05%	SECO A SUB-HÚMEDO	C1sC2'a'
2017	777.00	12.30	647.75	586.55	61.21	190.45	29.40	9.45	23.73	26.22%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2018	732.00	12.42	624.56	561.79	62.77	170.21	27.25	10.05	21.22	29.10%	HÚMEDO	B1rB2'a'
2019	758.40	12.80	659.61	524.05	135.56	234.35	35.53	20.55	23.20	28.03%	HÚMEDO	B1sB2'a'
2020	443.80	12.19	647.62	435.14	212.47	8.66	1.34	32.81	-18.35	30.07%	SEMIÁRIDO	DrB2'a'
2021	648.40	12.69	655.94	611.89	44.05	36.51	5.57	6.72	1.54	27.01%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2rB1'a'
2022	677.50	12.53	648.68	487.07	161.61	190.43	29.36	24.91	14.41	27.77%	SUB-HÚMEDO A HÚMEDO	C2sB1'a'

FUENTE: Elaboración Propia

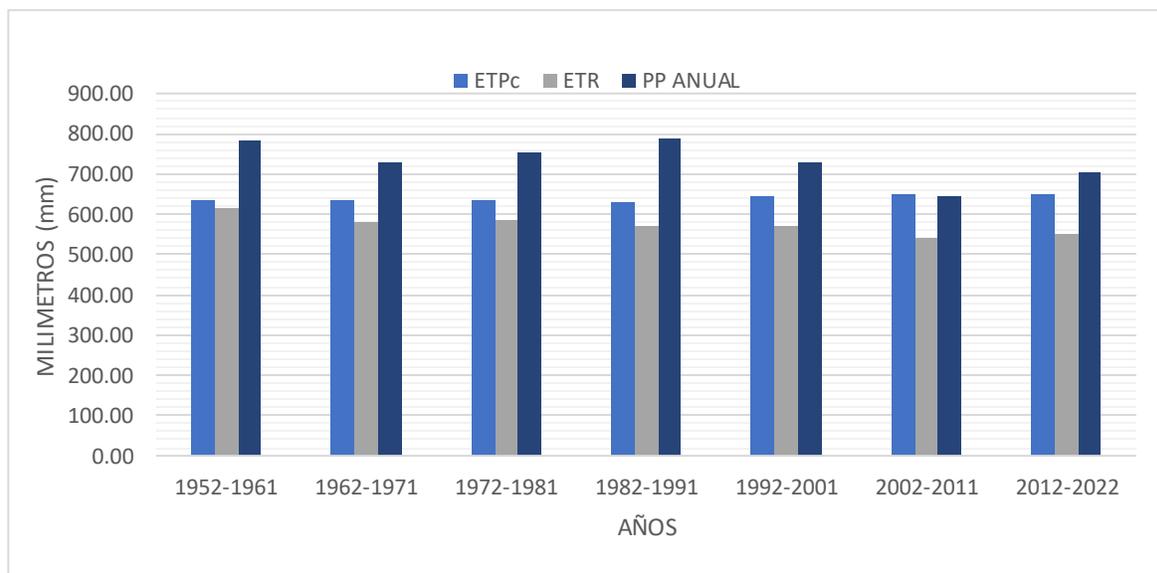
La **Tabla 11** nos muestra el resultado de la evapotranspiración registrada por cada año estudiado, y se observa que en cada año varía la evapotranspiración, siendo así como se identificó 9 climas de acuerdo con la clasificación de Thornthwaite. Presentaron estimaciones de la evapotranspiración por cada año analizado, para lograr comparar con los factores que fueron necesarios para la estimación y así observar que se debió a la alteración del clima.

Se observa que los años que tiene mayor evapotranspiración son 1953, 1990 y 2015 mientras los años con menor evapotranspiración son 2005 y 2010, esto nos da a entender que en esos años la alteración de los factores climático se vio afectado, posiblemente por el cambio climático, ya que en esos años se observó que las temperaturas fueron altas a comparación de otros años. Respecto a los climas se encuentran años que presentaron climas húmedos, subhúmedos en su mayoría, a excepción del año 2020 el cual presenta un clima semiárido teniendo como evapotranspiración 435.14mm durante todo el año.

Asimismo, se observa la variación de evapotranspiración en los diferentes años. La relación que guarda la estimación de la evapotranspiración con la temperatura y precipitación son directos, si uno de esos factores se ve alterado, se reflejará en la estimación.

Como se observa en la Imagen 23, la temperatura tiene una tendencia aumentar al contrario de la precipitación que es una tendencia negativa, causando que la evapotranspiración también sea negativa, por la falta de precipitaciones y debido a las altas temperaturas.

Imagen 20. Registro por cada década (1952-2022)



Fuente. Elaboración Propia

Se registro precipitación, evapotranspiración real y corregida por cada década, tal como se muestra en la Imagen 20, en los años 2002-2011 se observa que la evapotranspiración es menor que las otras décadas, con respecto a la precipitación esta misma década tiene la menor precipitación registrada durante esta década como también presenta una tempera media de 12.35 C°.

En la década de 2012 a 2022, se observa que tiene una disminución a comparación de la primera década analizada, demostrando que la precipitación con el pasar de las décadas también tubo cambios, y no pasa de percibido en el Valle del Mantaro, puesto que hay meses en los cuales hay escases de lluvias y se retrasan por meses. Esto se debió a los cambios del clima que vamos teniendo.

Tabla 12. *Datos de ETR, Temperatura y precipitación por cada 10 años*

AÑO	ETPc (mm)	ETR (mm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (C°)	PP ANUAL (mm)
1952-1961	636.03	615.14	11.96	782.72
1962-1971	632.80	579.77	11.59	728.25
1972-1981	632.61	583.63	11.67	753.89
1982-1991	632.14	572.94	11.68	786.25
1992-2001	645.52	570.69	12.20	729.55
2002-2011	648.72	541.55	12.35	644.45
2012-2022	649.05	551.74	12.51	702.64

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 12, se observa los datos por cada década de la temperatura media anual y precipitación, y estos tienen una relación directa para la estimación de la evapotranspiración, en la cual se demuestra que la temperatura tiene un aumento por cada década que va pasando, mientras en la precipitación anual se presenta una mínima disminución en el transcurso de estas décadas. Esto nos da a entender que estos factores climáticos van a tener una influencia en la evapotranspiración.

Tabla 13. Datos y ETR del año 1952

MESES DEL AÑO 1952	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δpp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	14.13	4.82	66.66	12.80	1.07	31.00	1.03	73.48	184.80	111.32	100.00	100.00	73.48
FEBRERO	14.08	4.79	66.38	12.50	1.04	29.00	0.97	66.85	146.80	79.95	100.00	0.00	66.85
MARZO	12.13	3.82	56.13	12.20	1.02	31.00	1.03	58.97	179.40	120.43	100.00	0.00	58.97
ABRIL	4.58	0.88	18.77	11.80	0.98	30.00	1.00	18.45	36.20	17.75	100.00	0.00	18.45
MAYO	11.76	3.65	54.22	11.60	0.97	31.00	1.03	54.15	22.70	-31.45	68.55	-31.45	54.15
JUNIO	10.50	3.07	47.73	11.40	0.95	30.00	1.00	45.33	23.80	-21.53	47.02	-21.53	45.33
JULIO	7.50	1.85	32.70	11.50	0.96	31.00	1.03	32.38	4.80	-27.58	19.44	-27.58	32.38
AGOSTO	8.50	2.23	37.65	11.70	0.98	31.00	1.03	37.93	16.80	-21.13	0.00	-19.44	36.24
SEPTIEMBRE	11.39	3.48	52.32	12.00	1.00	30.00	1.00	52.32	30.40	-21.92	0.00	0.00	30.40
OCTUBRE	10.36	3.01	47.01	12.40	1.03	31.00	1.03	50.19	83.50	33.31	33.31	33.31	50.19
NOVIEMBRE	12.82	4.16	59.72	12.70	1.06	30.00	1.00	63.22	115.90	52.68	85.99	52.68	63.22
DICIEMBRE	12.47	3.99	57.91	12.80	1.07	31.00	1.03	63.85	106.10	42.25	100.00	14.01	63.85
ANUAL		39.76	597.19					617.11	951.20				593.51
				a=	1.12547								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 13, los datos que fueron necesarios para calcular la evapotranspiración, y la cual ayudó a calcular 593.51 mm para el año 1952. Teniendo estos datos se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del valle del Mantaro en 1952. En este año, se evidencia que la evapotranspiración en el mes de abril es por debajo de 20 mm mensual, mientras en los meses de julio, agosto y setiembre se registra una ETP menor a 40mm y se debe a la falta de precipitaciones durante esos meses, puesto que se presenta tiempos de estiaje o sequia durante esos meses. Asimismo, se observa que el mes con mayor temperatura media mensual son los 3 primeros meses, y las menores temperaturas son a mediados de año, dando así mayor ETP en los meses que se registraron mayor temperatura. En la siguiente tabla, se tiene la clasificación de Thornthwaite.

Tabla 14. Clasificación de Thornthwaite para el año 1952

pp anual	951.20
d=	23.61
s=	357.69
l _h =	57.96
l _a =	3.83
l _m =	55.67
%	32.29%

$$B_2 r B_1 ' a'$$

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 14, observamos los resultados obtenidos con los datos analizados en la anterior tabla, respecto al año 1952. Esta clasificación de Thornthwaite nos expresa el siguiente grupo de índices, **B₂ r B₁ ' a'**, la cual nos indica que en este año el valle del Mantaro fue un año húmedo, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año lo que nos da a entender que, en este año, no se presentó meses de sequía al contrario hubo meses con abundante precipitación. Por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica, nos indica que es primer microtermal con una ETP anual de 593.51 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 32.29% durante los 3 primeros meses del año.

Tabla 15. Datos y ETR del año 1962

MESES DEL AÑO 1962	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp yETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.20	4.35	58.53	12.80	1.07	31.00	1.03	64.53	92.30	27.77	27.77	27.77	64.53
FEBRERO	12.82	4.16	56.48	12.50	1.04	28.00	0.93	54.92	110.40	55.48	83.26	55.48	54.92
MARZO	11.86	3.70	51.44	12.20	1.02	31.00	1.03	54.04	140.90	86.86	100.00	16.74	54.04
ABRIL	11.27	3.42	48.38	11.80	0.98	30.00	1.00	47.58	63.10	15.52	100.00	0.00	47.58
MAYO	10.76	3.19	45.74	11.60	0.97	31.00	1.03	45.69	38.00	-7.69	92.31	-7.69	45.69
JUNIO	8.75	2.33	35.70	11.40	0.95	30.00	1.00	33.91	0.50	-33.41	58.90	-33.41	33.91
JULIO	10.60	3.12	44.93	11.50	0.96	31.00	1.03	44.48	4.30	-40.18	18.72	-40.18	44.48
AGOSTO	10.76	3.19	45.77	11.70	0.98	31.00	1.03	46.11	1.80	-44.31	0.00	-18.72	20.52
SEPTIEMBRE	12.83	4.16	56.52	12.00	1.00	30.00	1.00	56.52	29.00	-27.52	0.00	0.00	29.00
OCTUBRE	13.59	4.54	60.60	12.40	1.03	31.00	1.03	64.71	68.30	3.59	3.59	3.59	64.71
NOVIEMBRE	13.50	4.50	60.10	12.70	1.06	30.00	1.00	63.62	71.00	7.38	10.97	7.38	63.62
DICIEMBRE	13.01	4.25	57.49	12.80	1.07	31.00	1.03	63.38	99.20	35.82	46.79	35.82	63.38
ANUAL		44.92	621.70					639.48	718.80				586.37
				a=	1.20293								

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 15, se obtiene una ETR de 586.37 mm con los datos registrados en la estación de Huayao en el año 1962. En este año, se obtiene una precipitación anual de 718.80mm y una evapotranspiración sin corregir de 621.70mm. La temperatura media registrada en este año tiene un promedio de 11 C°. dando así un índice térmico anual de 44,92.

Tabla 16. Clasificación de Thornthwaite para el año 1962

pp anual	718.80
d=	53.11
s=	132.43
ln=	20.71
la=	8.31
lm=	15.73
%	27.13%

$C_2rB_2'a'$

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 16, observamos los resultados obtenidos respecto al año 1962. Esta clasificación de Thornthwaite nos expresa el siguiente grupo de índices, $C_2rB_2'a'$, la cual nos indica que en este año el Valle del Mantaro fue un año subhúmedo a húmedo, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica, nos indica que es segundo mesotermal con una ETP anual de 586.37 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 27.13% durante los 3 primeros meses del año.

Tabla 17. Datos y ETR del año 1972

MESES DEL AÑO 1972	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	11.59	3.57	52.11	12.80	1.07	31.00	1.03	57.44	94.30	36.86	36.86	36.86	57.44
FEBRERO	12.34	3.93	56.06	12.50	1.04	29.00	0.97	56.45	121.90	65.45	100.00	63.14	56.45
MARZO	11.50	3.53	51.63	12.20	1.02	31.00	1.03	54.24	148.00	93.76	100.00	0.00	54.24
ABRIL	11.28	3.43	50.51	11.80	0.98	30.00	1.00	49.67	135.70	86.03	100.00	0.00	49.67
MAYO	10.73	3.18	47.68	11.60	0.97	31.00	1.03	47.61	38.40	-9.21	90.79	-9.21	47.61
JUNIO	8.45	2.21	36.21	11.40	0.95	30.00	1.00	34.40	4.30	-30.10	60.69	-30.10	34.40
JULIO	10.15	2.92	44.73	11.50	0.96	31.00	1.03	44.29	9.20	-35.09	25.60	-35.09	44.29
AGOSTO	10.19	2.94	44.91	11.70	0.98	31.00	1.03	45.25	17.30	-27.95	0.00	-25.60	42.90
SEPTIEMBRE	11.91	3.72	53.79	12.00	1.00	30.00	1.00	53.79	21.50	-32.29	0.00	0.00	21.50
OCTUBRE	13.14	4.32	60.25	12.40	1.03	31.00	1.03	64.33	44.80	-19.53	0.00	0.00	44.80
NOVIEMBRE	11.65	3.60	52.42	12.70	1.06	30.00	1.00	55.48	45.70	-9.78	0.00	0.00	45.70
DICIEMBRE	13.09	4.29	59.99	12.80	1.07	31.00	1.03	66.14	140.40	74.26	74.26	74.26	66.14
ANUAL		41.63	610.28					629.09	821.50				565.15

Fuente. Elaboración Propia

a= 1.1535

En la Tabla 17, se evidencia que la evapotranspiración en los primeros meses superó los 50mm, mientras el mes de setiembre presenta una evapotranspiración de 21.50mm siendo la más baja de este año. Asimismo, se observa que el mes con mayor temperatura media mensual son los 3 primeros meses, y las menores temperaturas son a mediados de año, dando así mayor ETP en los meses que se registraron mayor temperatura.

Tabla 18. *Clasificación de Thornthwaite para el año 1972*

pp anual	772.20
d=	34.42
s=	118.95
l _h =	17.30
l _a =	5.01
l _m =	14.29
%	26.53%
C2`rB1a'	

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 18, se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del Valle del Mantaro en 1972, C2`rB1a' nos indica que, en este año, el valle del Mantaro tuvo un índice de humedad subhúmedo a húmedo. Los demás índices nos indican que siguen estables sin ningún cambio, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica nos indica que es primer microtermal con una ETP anual de 565.15 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 26.53% durante los 3 primeros meses del año.

Tabla 19. Datos y ETR del año 1982

MESES DEL AÑO 1982	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.07	4.28	58.50	12.80	1.07	31.00	1.03	64.49	118.00	53.51	53.51	53.51	64.49
FEBRERO	11.99	3.76	52.84	12.50	1.04	28.00	0.93	51.37	112.90	61.53	100.00	46.49	51.37
MARZO	12.34	3.93	54.65	12.20	1.02	31.00	1.03	57.41	65.50	8.09	100.00	0.00	57.41
ABRIL	11.96	3.75	52.67	11.80	0.98	30.00	1.00	51.80	64.10	12.30	100.00	0.00	51.80
MAYO	10.19	2.94	43.55	11.60	0.97	31.00	1.03	43.50	0.00	-43.50	56.50	-43.50	43.50
JUNIO	9.41	2.61	39.63	11.40	0.95	30.00	1.00	37.65	10.40	-27.25	29.26	-27.25	37.65
JULIO	9.63	2.70	40.74	11.50	0.96	31.00	1.03	40.34	6.80	-33.54	0.00	-29.26	36.06
AGOSTO	10.73	3.18	46.31	11.70	0.98	31.00	1.03	46.66	24.00	-22.66	0.00	0.00	24.00
SEPTIEMBRE	11.83	3.68	51.99	12.00	1.00	30.00	1.00	51.99	43.00	-8.99	0.00	0.00	43.00
OCTUBRE	13.07	4.28	58.51	12.40	1.03	31.00	1.03	62.47	133.60	71.13	71.13	71.13	62.47
NOVIEMBRE	13.19	4.34	59.11	12.70	1.06	30.00	1.00	62.57	77.80	15.23	86.36	15.23	62.57
DICIEMBRE	13.25	4.37	59.44	12.80	1.07	31.00	1.03	65.54	86.90	21.36	100.00	13.64	65.54
ANUAL		43.82	617.95					635.77	743.00				599.85
				a=	1.18643								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 19, los datos que fueron necesarios para calcular la ETP, y la cual ayudo a calcular 599.85mm para este año. Teniendo estos datos se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del valle del Mantaro en 1982. En este año, se evidencia que la evapotranspiración en el mes de agosto es por debajo de 30 mm mensual, mientras en los 4 primeros meses se registra una ETP mayor a 50mm y al finalizar el año sobrepasa los 60mm, dando así que en este año las precipitaciones fueron abundantes, así mismo, la temperatura en diversos meses supera los 12 C°, es decir que, en este año, las temperaturas fueron altas a comparación de otros años, dando así mayor ETP en los meses que se registraron mayor temperatura. Respecto al índice térmico mensual, se registró un total de 43.82 C°.

Tabla 20. Clasificación de Thornthwaite para el año 1982

pp anual	743.00
d=	35.93
s=	143.15
l _h =	22.52
l _a =	5.65
l _m =	19.13
%	27.25%

$C_2rB_2'a'$

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 20, la clasificación nos resulta $C_2rB_2'a'$. Nos indica que en este año el valle del Mantaro tuvo un índice de humedad subhúmedo a húmedo. Los demás índices nos indican que siguen estables sin ningún cambio, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica, nos indica que es segundo meso termal con una ETP anual de 599.85 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 27.25% durante los 3 primeros meses del año.

En la Tabla 21, observamos los resultados de la precipitación con la fórmula de Thornthwaite para el año 1992.

Tabla 21. Datos y ETR del año 1992

MESES DEL AÑO 1992	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N'12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.71	4.11	56.30	12.80	1.07	31.00	1.03	62.07	77.90	15.83	15.83	15.83	62.07
FEBRERO	13.49	4.49	60.44	12.50	1.04	29.00	0.97	60.86	102.80	41.94	57.77	41.94	60.86
MARZO	12.88	4.19	57.18	12.20	1.02	31.00	1.03	60.07	82.20	22.13	79.90	22.13	60.07
ABRIL	11.52	3.54	50.08	11.80	0.98	30.00	1.00	49.25	23.20	-26.05	53.85	-26.05	49.25
MAYO	10.38	3.02	44.24	11.60	0.97	31.00	1.03	44.18	8.10	-36.08	17.77	-36.08	44.18
JUNIO	9.80	2.77	41.29	11.40	0.95	30.00	1.00	39.22	17.20	-22.02	0.00	-17.77	34.97
JULIO	9.13	2.49	37.93	11.50	0.96	31.00	1.03	37.55	4.50	-33.05	0.00	0.00	4.50
AGOSTO	10.63	3.13	45.51	11.70	0.98	31.00	1.03	45.85	11.70	-34.15	0.00	0.00	11.70
SEPTIEMBRE	12.02	3.78	52.69	12.00	1.00	30.00	1.00	52.69	26.70	-25.99	0.00	0.00	26.70
OCTUBRE	12.36	3.93	54.44	12.40	1.03	31.00	1.03	58.13	51.60	-6.53	0.00	0.00	51.60
NOVIEMBRE	13.44	4.47	60.16	12.70	1.06	30.00	1.00	63.68	34.90	-28.78	0.00	0.00	34.90
DICIEMBRE	13.25	4.37	59.15	12.80	1.07	31.00	1.03	65.21	60.50	-4.71	0.00	0.00	60.50
ANUAL		44.29	619.42					638.77	501.30				501.30
				a=	1.19343								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 21, los datos que fueron analizados para calcular la ETP, y la cual ayudó a calcular la evapotranspiración 501.30mm para este año. En este año, se evidencia que la evapotranspiración en el mes de julio es menor a 5 mm durante todo ese mes, mientras en los 3 primeros meses se registra una ETP mayor a 60mm. Asimismo, la temperatura registrada en los 3 meses de verano que son enero, febrero y marzo supera los 12 C°, es decir que, en este año, las temperaturas fueron altas a comparación de años anteriores, dando así mayor evapotranspiración en los meses que se registraron mayor temperatura. Respecto al índice térmico mensual, se registró un total de 44.89 C° durante todo el año.

Teniendo estos datos, se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del valle del Mantaro para el año 1992.

Tabla 22. Clasificación de Thornthwaite para el año 1992

pp anual	501.30
d=	137.47
s=	0.00
lh=	0.00
la=	21.52
lm=	-12.91
%	28.65%

$C_1sC_2'a'$

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 22, la clasificación nos resulta $C_1'sC_2a'$, nos indica que en este año el valle del Mantaro tuvo un índice de humedad seco a subhúmedo presentando meses con precipitaciones mínimas. Respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta déficit de humedad a mediados de año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica, nos indica que es segundo microtermal con una ETP anual de 501.30 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 28.65%.

La clasificación nos resulta $C_2'sC_2a'$ y es el primer año el cual presenta un cambio en el índice de humedad, la cual es de un clima seco a semihúmedo, respecto a otros años los cuales resultaron de semihúmedo a húmedo, dando así la primera alteración de clima durante el periodo de años analizados.

En la Tabla 23, observamos los resultados de la precipitación con la fórmula de Thornthwaite para el año 2002.

Tabla 23. Datos y ETR del año 2002

MESES DEL AÑO 2002	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.22	4.36	56.77	12.80	1.07	31.00	1.03	62.59	95.60	33.01	33.01	33.01	62.59
FEBRERO	12.95	4.22	55.31	12.50	1.04	28.00	0.93	53.78	149.20	95.42	100.00	66.99	53.78
MARZO	13.06	4.28	55.91	12.20	1.02	31.00	1.03	58.74	115.80	57.06	100.00	0.00	58.74
ABRIL	12.65	4.08	53.72	11.80	0.98	30.00	1.00	52.82	28.40	-24.42	75.58	-24.42	52.82
MAYO	11.46	3.51	47.52	11.60	0.97	31.00	1.03	47.46	12.30	-35.16	40.42	-35.16	47.46
JUNIO	10.64	3.14	43.28	11.40	0.95	30.00	1.00	41.11	4.40	-36.71	3.71	-36.71	41.11
JULIO	10.97	3.28	44.96	11.50	0.96	31.00	1.03	44.51	31.00	-13.51	0.00	-3.71	34.71
AGOSTO	11.31	3.44	46.73	11.70	0.98	31.00	1.03	47.08	11.70	-35.38	0.00	0.00	11.70
SEPTIEMBRE	12.99	4.25	55.56	12.00	1.00	30.00	1.00	55.56	66.20	10.64	10.64	10.64	55.56
OCTUBRE	13.47	4.48	58.12	12.40	1.03	31.00	1.03	62.06	71.70	9.64	20.28	9.64	62.06
NOVIEMBRE	13.19	4.34	56.62	12.70	1.06	30.00	1.00	59.93	93.90	33.97	54.25	33.97	59.93
DICIEMBRE	13.63	4.56	58.99	12.80	1.07	31.00	1.03	65.04	133.30	68.26	100.00	45.75	65.04
ANUAL		47.94	633.49					650.67	813.50				605.49
				a=	1.2487								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 23, los datos que fueron analizados para calcular la ETP, y la cual ayudó a estimar la evapotranspiración 605.49mm para este año. En este año, se evidencia que las temperaturas promedio registradas durante cada mes superan los 10 C°, siendo así este uno de los años con mayor temperatura registrada. De igual manera, la precipitación registrada. Respecto a la evapotranspiración, todos los meses superan los 30mm a diferencia de agosto, el único mes con menor evapotranspiración estimada, mientras en los 4 primeros meses se registra una ETP mayor a 50mm. Asimismo, la temperatura registrada en estos meses supera los 12 C° es decir que en este año las temperaturas fueron altas a comparación de años anteriores. Respecto al índice térmico mensual, se registró un total de 47.94 C° y aumentó a comparación de otros años. Esto se debe a las altas temperaturas registradas en el Valle del Mantaro, que se podría deber al cambio climático.

En la Tabla 24, la clasificación nos resulta B1 rB2a' y es la misma a la gran mayoría de los años analizados, nos demuestra que en los intervalos que tomamos nos existen cambios de clima bruscos.

Tabla 24. *Clasificación de Thornthwaite para el año 2002*

pp anual	813.50
d=	45.18
s=	208.01
lh=	31.97
la=	6.94
lm=	27.80
%	26.91%

B₁ rB₂' a'

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 24, observamos los resultados obtenidos con los datos analizados en la anterior tabla, respecto al año 2002. Esta clasificación de Thornthwaite nos expresa el siguiente grupo de índices, **B1 rB2a'**, la cual nos indica que en este año el valle del Mantaro fue un año húmedo, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año lo que nos da a entender que en este año no se presentó meses de sequía al contrario hubo meses con abundante precipitación. Por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica, nos indica que es segundo meso termal con una ETP anual de 605.49 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 26.91% durante los 3 primeros meses del año.

En este año, se presentó un cambio en el índice de humedad y índice de eficiencia térmica, cambiando de clima húmedo a un clima subhúmeda.

En la Tabla 25, observamos los resultados de la precipitación con la fórmula de Thornthwaite para el año 2012.

Tabla 25. Datos y ETR del año 2012

MESES DEL AÑO 2012	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.04	4.27	56.13	12.80	1.07	31.00	1.03	61.87	77.60	15.73	15.73	15.73	61.87
FEBRERO	12.92	4.21	55.53	12.50	1.04	29.00	0.97	55.91	145.30	89.39	100.00	84.27	55.91
MARZO	13.26	4.38	57.32	12.20	1.02	31.00	1.03	60.22	85.25	25.03	100.00	0.00	60.22
ABRIL	12.65	4.07	54.04	11.80	0.98	30.00	1.00	53.14	87.70	34.56	100.00	0.00	53.14
MAYO	11.66	3.60	48.87	11.60	0.97	31.00	1.03	48.81	19.30	-29.51	70.49	-29.51	48.81
JUNIO	10.44	3.05	42.58	11.40	0.95	30.00	1.00	40.45	14.30	-26.15	44.35	-26.15	40.45
JULIO	9.87	2.80	39.76	11.50	0.96	31.00	1.03	39.36	0.40	-38.96	5.38	-38.96	39.36
AGOSTO	11.40	3.48	47.52	11.70	0.98	31.00	1.03	47.88	16.05	-31.83	0.00	-5.38	21.43
SEPTIEMBRE	12.09	3.81	51.12	12.00	1.00	30.00	1.00	51.12	32.00	-19.12	0.00	0.00	32.00
OCTUBRE	13.68	4.59	59.60	12.40	1.03	31.00	1.03	63.64	31.80	-31.84	0.00	0.00	31.80
NOVIEMBRE	13.78	4.64	60.11	12.70	1.06	30.00	1.00	63.63	73.60	9.97	9.97	9.97	63.63
DICIEMBRE	13.50	4.50	58.58	12.80	1.07	31.00	1.03	64.59	132.90	68.31	78.28	68.31	64.59
ANUAL		47.40	631.17					650.63	716.20				573.22
				a=	1.24046								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 25, los datos que fueron analizados para calcular la ETP, y la cual ayudó a estimar la evapotranspiración de este año, la cual resultó 573.22mm. Respecto a la evapotranspiración todos los meses superan los 30mm a diferencia de agosto, el único mes con menor evapotranspiración estimada, mientras en los 4 primeros meses se registra una ETP mayor a 50mm. Asimismo, la temperatura registrada es estos meses supera los 12 C°, es decir que, en este año, las temperaturas fueron altas a comparación de años anteriores. Respecto al índice térmico mensual, se registró un total de 47.40 C°

En la Tabla 26, la clasificación nos resulta C₂rB₁'a' y es la misma a los años 1957 y 1960, nos demuestra que en los intervalos que tomamos nos existen cambios de clima bruscos.

Tabla 26. Clasificación de Thornthwaite para el año 2012

pp anual	716.20
d=	77.41
s=	142.98
l _h =	21.98
l _a =	11.90
l _m =	14.84
%	27.36%

C₂rB₁'a'

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 26, se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del Valle del Mantaro en el año 2012, C₂rB₁'a' nos indica que en este año el valle del Mantaro tuvo un índice de humedad subhúmedo a húmedo. Los demás índices nos indican que siguen estables sin ningún cambio, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta poco o ningún déficit en cualquier estación de ese año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica nos indica que es primer microtermal con una ETP anual de 573.22 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de la eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 27.36% durante los 3 primeros meses del año.

En la Tabla 27, observamos los resultados de la precipitación con la fórmula de Thornthwaite para el año 2022.

Tabla 27. Datos y ETR del año 2022

MESES DEL AÑO 2022	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.44	4.47	57.68	12.80	1.07	31.00	1.03	63.59	100.40	36.81	36.81	36.81	63.59
FEBRERO	13.59	4.54	58.21	12.50	1.04	28.00	0.93	56.60	123.20	66.60	100.00	63.19	56.60
MARZO	13.38	4.44	57.10	12.20	1.02	31.00	1.03	59.98	131.30	71.32	100.00	0.00	59.98
ABRIL	12.48	3.99	52.30	11.80	0.98	30.00	1.00	51.43	80.40	28.97	100.00	0.00	51.43
MAYO	12.08	3.80	50.19	11.60	0.97	31.00	1.03	50.12	11.20	-38.92	61.08	-38.92	50.12
JUNIO	10.01	2.86	39.57	11.40	0.95	30.00	1.00	37.59	0.00	-37.59	23.49	-37.59	37.59
JULIO	10.56	3.10	42.36	11.50	0.96	31.00	1.03	41.94	6.50	-35.44	0.00	-23.49	29.99
AGOSTO	11.57	3.56	47.53	11.70	0.98	31.00	1.03	47.88	6.20	-41.68	0.00	0.00	6.20
SEPTIEMBRE	13.25	4.37	56.40	12.00	1.00	30.00	1.00	56.40	28.60	-27.80	0.00	0.00	28.60
OCTUBRE	13.68	4.59	58.73	12.40	1.03	31.00	1.03	62.72	9.20	-53.52	0.00	0.00	9.20
NOVIEMBRE	13.51	4.50	57.78	12.70	1.06	30.00	1.00	61.16	34.50	-26.66	0.00	0.00	34.50
DICIEMBRE	12.76	4.13	53.76	12.80	1.07	31.00	1.03	59.28	146.00	86.72	86.72	86.72	59.28
ANUAL		48.37	631.61					648.68	677.50				487.07
				a=	1.25514								

Fuente. Elaboración Propia

Se muestra en la Tabla 27, los datos que fueron analizados para calcular la evapotranspiración, y la cual ayudó a estimar la evapotranspiración de este año, la cual resultó 487.07mm siendo este uno de los años con menor evapotranspiración estimada. Respecto a la evapotranspiración los meses de agosto y octubre presentan mínima evapotranspiración, ya que no llegan a los 10mm durante todo el mes, mientras en los 5 primeros meses se registra una ETP mayor a 50mm. Asimismo, la temperatura registrada es estos meses supera los 12 C° y las precipitaciones registradas durante esos mismos meses son mayores a 100mm. Respecto al índice térmico mensual, se registró un total de 48.37 C°

Tabla 28. Clasificación de Thornthwaite para el año 2022

pp anual	677.50
d=	161.61
s=	190.43
lh=	29.36
la=	24.91
lm=	14.41
%	27.77%

$C_2SB_1'a'$

Fuente. Elaboración Propia

En la **Tabla 28**, se realizó la clasificación de Thornthwaite y se logra hallar los 4 índices necesarios que expresan las características climáticas del Valle del Mantaro en el año 2022, $C_2'sB_1'a'$ nos indica que en este año el valle del Mantaro tuvo un índice de humedad subhúmedo a húmedo. Los demás índices nos indican que siguen estables sin ningún cambio, respecto al índice de variación estacional de la humedad se presenta déficit en cualquier estación de ese año, por otro lado, en el tercer índice de eficiencia térmica nos indica que es primer micro termal con una ETP anual de 487.07 mm, y, por último, el tipo de clima según la concentración de le eficiencia térmica de verano, presenta un régimen térmico de 27.77% durante los 3 primeros meses del año.

4.1.3. Relación de evapotranspiración y la variación de la temperatura y precipitación

Mediante la aplicación de las fórmulas, logramos obtener la evapotranspiración con los datos descargados de la página del SENAMHI, siendo así que se procede a realizar y hallar la evapotranspiración real mediante el método de Thornthwaite.

Por un lado, la temperatura que se registra afecta la tasa de la evaporación y transpiración, mientras las precipitaciones determinando la disponibilidad de agua. Esta interacción entre ambos factores es fundamental para comprender y predecir los patrones climáticos y la relación que tienen estos factores con la evapotranspiración. Es así como estos factores al estar afectados por el cambio climático presentan variaciones que podrán cambiar la evapotranspiración.

La evapotranspiración que se estimo depende mucho de los factores climáticos, si un factor climático se ve alterado la estimación y clasificación climática variara, esto se debe a que el cambio climático altera la temperatura, precipitación, entre otros factores fundamentales para la estimación. Determinar la cantidad exacta de evapotranspiración en el Valle del Mantaro y atribuir cambios específicos a la alteración del clima debido al cambio climático es un proceso complejo que requiere datos climáticos detallados y análisis específicos

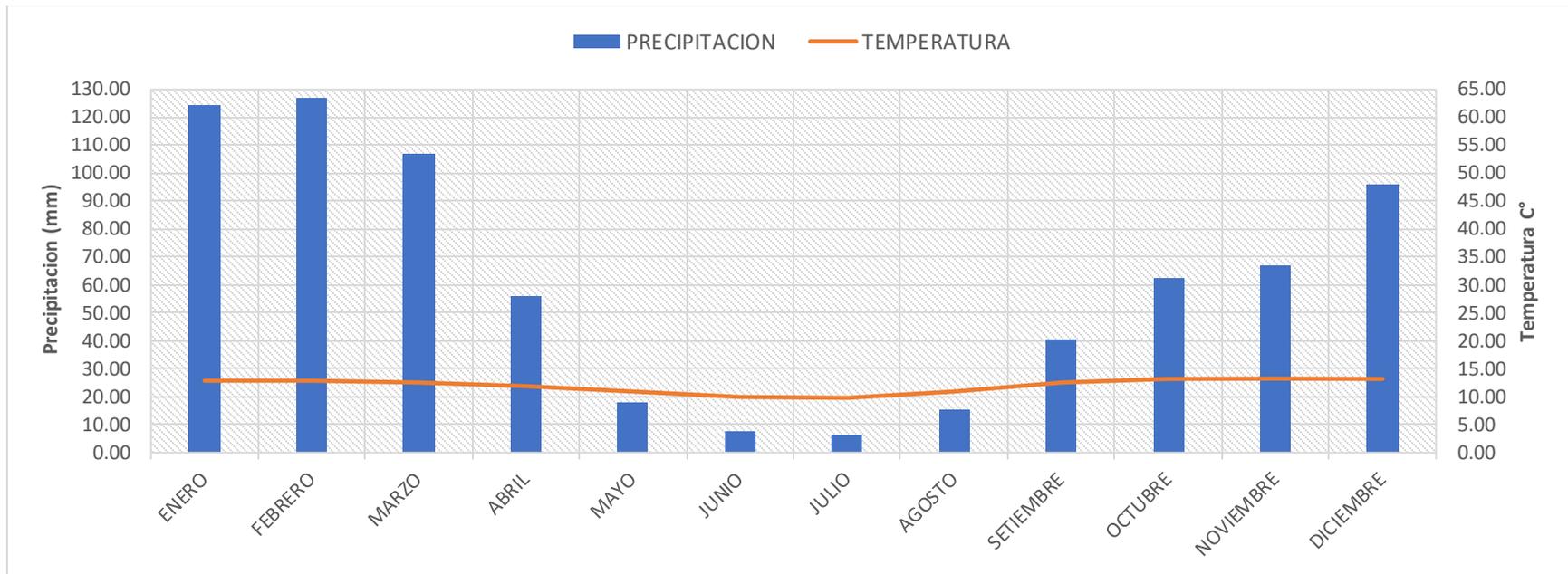
Los factores climáticos tienen un papel fundamental en la determinación de la evapotranspiración, ya que estos afectan directamente a la cantidad de agua que se evapora del suelo y se transpira por las plantas. La temperatura siendo uno de los factores más importantes, viene presentando aumento, y esto conduce a una mayor tasa de evaporación y transpiración. Por otro lado, los patrones de precipitación se ven alterados por el cambio climático, lo que a su vez afecta la disponibilidad del recurso hídrico para la evapotranspiración. Esto resulta una disminución de la evapotranspiración, siendo así que estos factores climáticos analizados interactúan entre sí de manera compleja para influir en la evapotranspiración, y estos son cruciales para la evapotranspiración.

El cambio climático esta presentado alteraciones en los patrones de precipitación registrados en la región del Valle del Mantaro, mostrando años en los cuales la intensidad de precipitaciones es más baja a comparación de años anteriores, y analizando con los datos recopilados de años anteriores. Se observa que tiene una tendencia a tener una intensidad baja, siendo así que se observan periodos de sequía más prolongados, seguidos de periodos de lluvias intensas, dando como patrones alterados de la precipitación.

El valle del Mantaro se podría ver afectado por la disponibilidad de agua, tanto en términos de cantidad como calidad, esto debido a la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas causan que los caudales de los ríos dentro del valle reduzcan sus caudales y afecten a la población de nuestro valle. Es así como los factores climáticos analizados están relaciones con el cambio climático.

Es así como se analizamos los principales factores climáticos como son la temperatura y la precipitación dentro del valle del Mantaro y, posteriormente, obtuvimos resultados y gráficos que nos ayudarán a entender mejor como se están comportando estos factores frente al cambio climático.

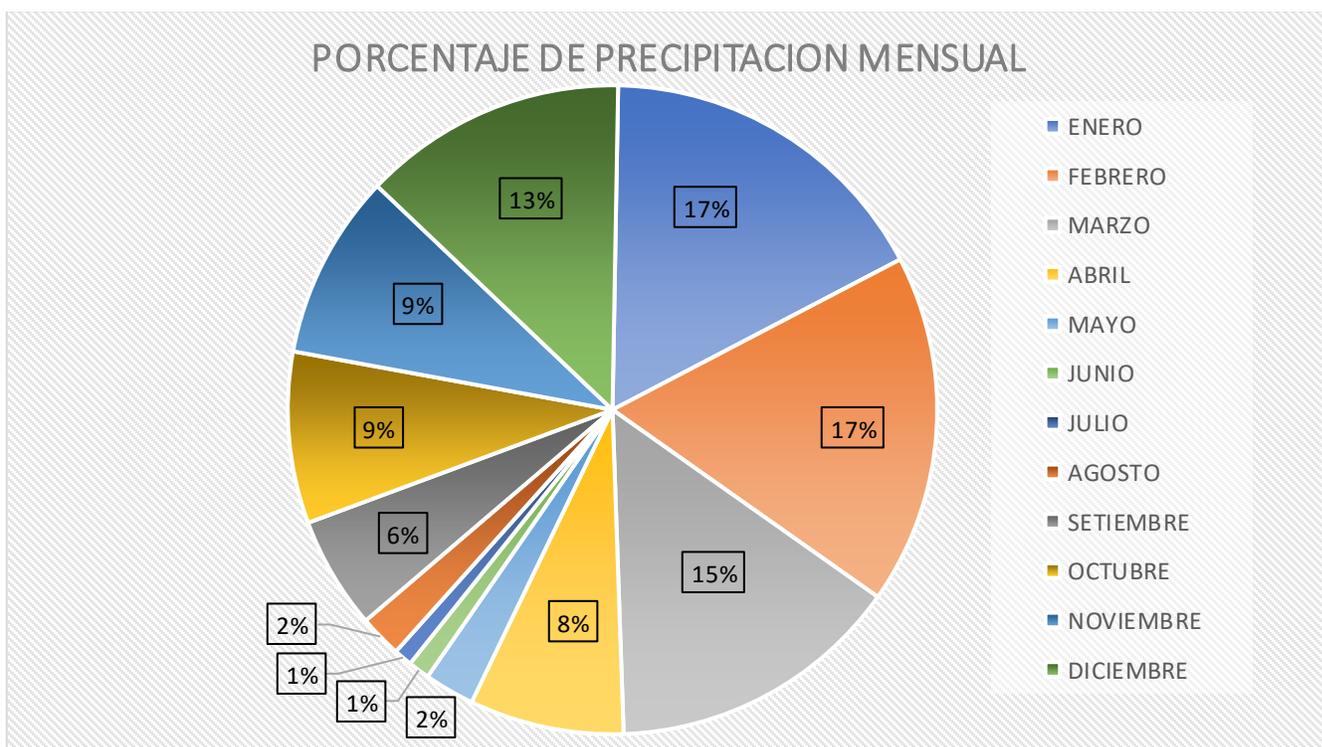
Imagen 21. *Climograma de Temperatura y Precipitación promedio – Periodo 1952 - 2022*



Fuente. Elaboración Propia

En la Imagen 21, se logra apreciar un climograma con los datos de temperatura y precipitación registrada en el Valle del Mantaro de enero de 1952 a diciembre del 2022, logrando observar un periodo seco entre los meses de mayo y agosto, y a partir de setiembre hasta el mes de abril un periodo lluvioso, siendo así que la precipitación es relativa a la temperatura, puesto que en los meses de mayo a agosto la temperatura tiene un promedio menor a los 12 °C, siendo así que se muestra una precipitación menor a 20mm registrada en estos meses durante todo ese periodo. Al contrario, a partir del mes de setiembre, aumentan las precipitaciones al igual que las temperaturas, más aún en el primer trimestre las lluvias son más intensas.

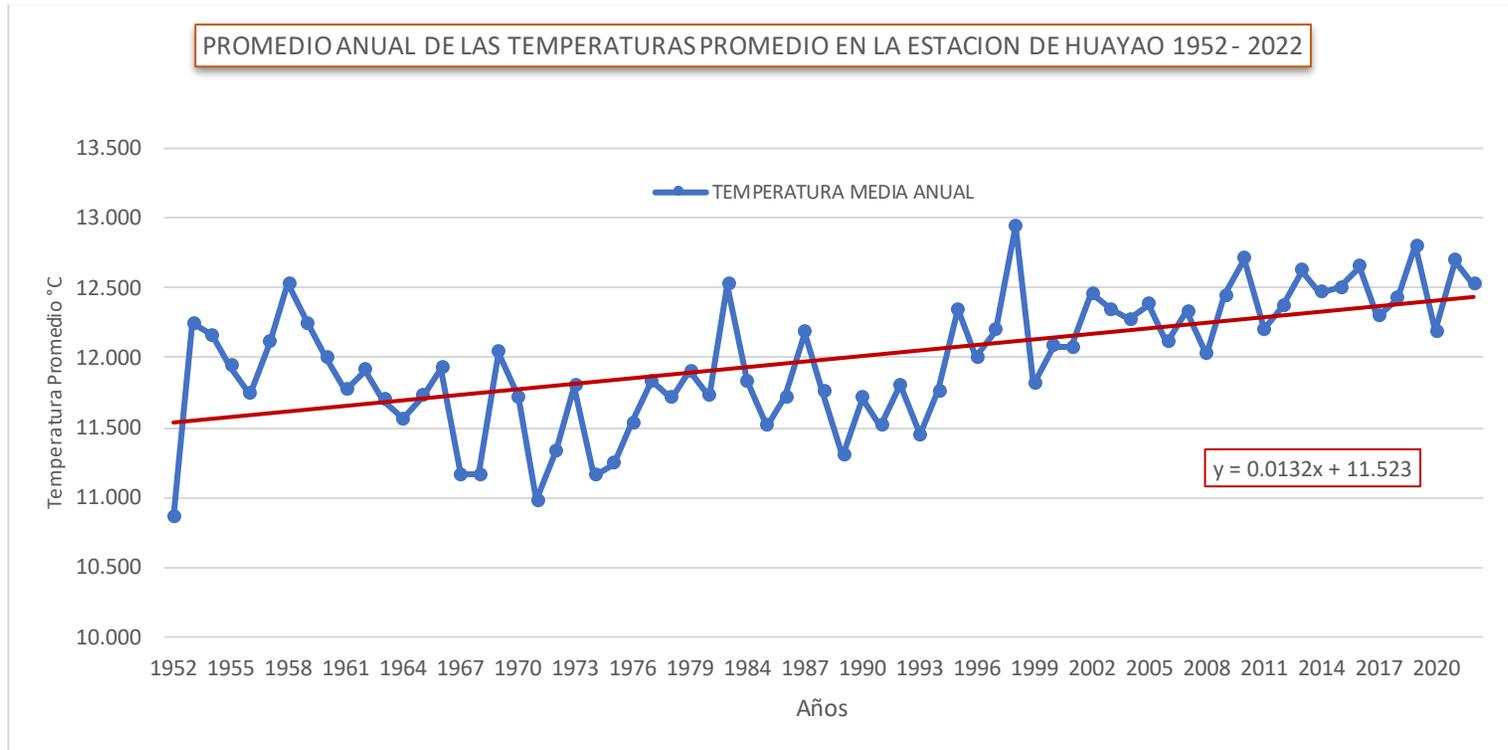
Imagen 22. Porcentaje de precipitación mensual promedio para la estación de Huayao (1952 - 2022)



Fuente. Elaboración Propia

Se observa en la Imagen 22, el porcentaje de la precipitación mensual de la estación de Huayao registrada del valle del Mantaro, con respecto a la suma anual. Es así como, cerca del 90% de la precipitación anual, ocurren entre los meses de setiembre a abril. Asimismo, aproximadamente el 45% de la precipitación anual se concentra en los meses de enero a marzo, por eso, esos meses son considerados en el valle del Mantaro como una época lluviosa.

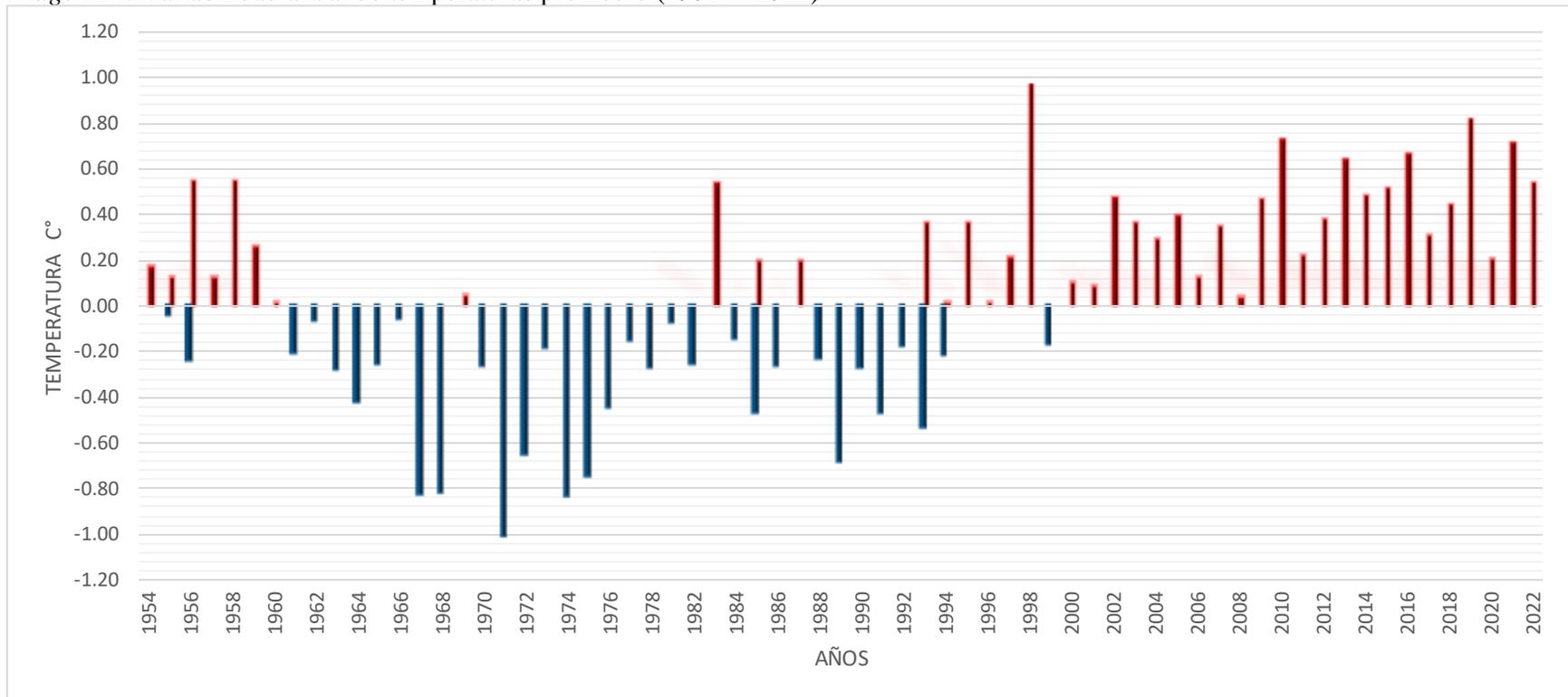
Imagen 23: PROMEDIO ANUAL DE LAS TEMPERATURAS PROMEDIO EN LA ESTACIÓN DE HUAYAO 1952 – 2022



Fuente. Elaboración Propia

Se observa en la Imagen 23, la tendencia positiva de la temperatura promedio en el valle del Mantaro, esta será $+0.13$ °C/década, siendo así que en 50 años la temperatura promedio aumentará en $+0.65$ °C. Se observa que el año 1998 la temperatura promedio anual es de 12.95 °C, siendo el año con mayor temperatura en el valle del Mantaro, registrando una temperatura mayor a comparación de otros años. Mientras que en el año 1952 y 1971 registran temperaturas bajas.

Imagen 24. Variabilidad anual de temperaturas promedio (1952 – 2022)



Fuente. Elaboración Propia

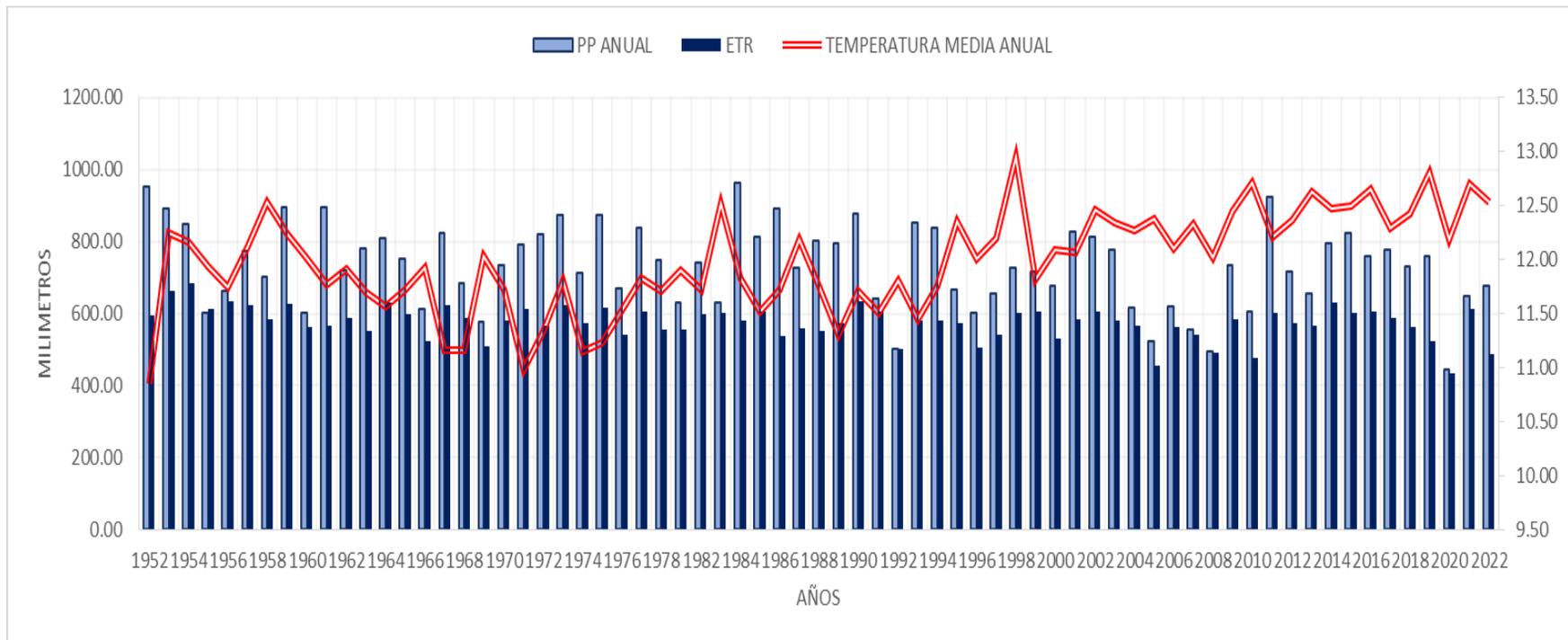
La **Imagen 24** muestra que en los años 60's, 70's, 80's y 90's la temperatura promedio en el valle del Mantaro experimentó una disminución importante, por debajo del promedio histórico, mientras que desde los años 2000, hasta la actualidad, sufrió un aumento en más de 0.5 °C, como es en el año 1998 donde se registró un aumento del 0.96°C con lo que respecta al promedio histórico. Dando a entender que la temperatura ha ido incrementada con el tiempo. Como se observó en la Imagen 21, se muestra que se tiene una tendencia de +0.13 °C/década y lo que seguirá registrando temperaturas por encima del promedio histórico.

El cambio climático puede provocar cambios en la distribución temporal y espacial de la temperatura y la precipitación, lo que a su vez afecta la evapotranspiración. Estos cambios pueden tener importantes implicaciones para los recursos hídricos, la agricultura, la biodiversidad y los ecosistemas en general. Es crucial comprender y adaptarse a estos cambios para mitigar los impactos negativos del cambio climático en la evapotranspiración.

Los efectos del cambio climático en la evapotranspiración pueden manifestarse de diversas formas. Por ejemplo, el aumento de las temperaturas debido al cambio climático puede acelerar la evaporación del agua desde la superficie del suelo y aumentar la transpiración de las plantas. Además, los cambios en los patrones de precipitación pueden afectar la disponibilidad de agua en el suelo, lo que, a su vez, puede influir en la tasa de evapotranspiración.

La evapotranspiración está influenciada por la interacción de estos factores climáticos, que afectan tanto la evaporación del agua desde la superficie del suelo como la transpiración de las plantas.

Imagen 25. Precipitación y temperatura anual en comparación a la evapotranspiración



Fuente. Elaboración Propia

La precipitación anual tiene una pendiente negativa cada año, y se demuestra en la Imagen 25. De igual manera, la evapotranspiración hallada con la fórmula de Thornthwaite se muestra con una pendiente negativa, dando como resultado que la evapotranspiración va de la mano con la precipitación, por ejemplo, en el año 1953, la precipitación fue de 893.03 mm con una temperatura promedio anual de 12.25 °C y estimando la evapotranspiración para tal año de 664.44 mm. Por otro lado, en el año 1991, la precipitación y evapotranspiración tiene el mismo promedio registrado durante todo ese año, reflejando que hubo meses en este año que no hubo mucha precipitación en el valle del Mantaro

Como se observa la temperatura es el factor con mayor variación y la cual tiene una influencia directa en la evapotranspiración, afectando a la evaporación y transpiración. Por otro lado, la precipitación anual tiene tendencias en las cuales se observan años que la precipitación es muy baja o años en las cuales las precipitaciones son constantes, pero con retrasos en épocas de lluvia o sequías por meses, estos años que presentan estos retrasos se ven afectados tanto por las temperaturas altas y por la disminución de la precipitación, siendo así que estos factores se ven afectados si uno de ellos presenta una anomalía o alteración por los cambios climáticos.

El cambio climático, también, puede alterar la distribución estacional de la temperatura y la precipitación. En el Valle del Mantaro, puede haber un aumento en la frecuencia e intensidad de olas de calor, lo que aumenta la evaporación y la transpiración, mientras otros años puede haber un cambio de estacionalidad de las precipitaciones y afectado la disponibilidad de agua para la transpiración y evaporación.

Así, se observa, que en estos últimos años, el cambio climático afecto drásticamente al clima del Valle, dando así que la evapotranspiración disminuya al pasar de los años, y con tendencia a seguir bajando anualmente.

Se observa que el año 1992 se registra menos evapotranspiración y precipitación anual, teniendo en cuenta que ese año sufrió durante los 12 meses de poca precipitación (501.30 mm), de igual manera, el año 2020 no supera los 500mm de precipitación y registrando una temperatura media de 12.19 °C.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados analizados, en el presente estudio, permitieron comprobar que en el valle del Mantaro en 3 décadas (1992 – 2022), las precipitaciones anuales fluctuaron desde 365.7mm hasta 912.1mm; tomando en cuenta que el valor de 365.7 mm corresponde al año 2020 y 912.1 mm al año 2011. Es así como podemos afirmar que el año más lluvioso fue el año 2011 y el año con déficit de precipitaciones fue el 2020, teniendo una tendencia a disminuir y estas presentan un nivel de precipitación cada vez más bajo. Por ello, se logra observar que, en la Imagen 18, la tendencia es negativa con menos 1.5mm por año. Asimismo, se logró observar un periodo seco, entre los meses junio y julio de cada año, mientras los meses con mayor precipitación comienzan de enero a marzo. Estos resultados, se asimilan con los obtenidos en la investigación de Pedro Gálvez Ayala(58), en la cual nos muestra que los periodos húmedos en la cordillera del Rio Mantaro, son los meses de setiembre a abril mientras los meses con un periodo seco son de mayo a agosto, siendo así que ambos estudios concuerdan en el análisis de las temporadas de precipitación y sequias.

Esto tiene relación directa con la variabilidad de la temperatura anual. Esto indica que en los últimos 30 años las precipitaciones han disminuido, esto es por la presencia del cambio climático por el cual las temperaturas han aumentado y el cambio de épocas de lluvia se ven afectadas, presentando ya en algunos lugares del país sequias y/o alteración de las épocas de lluvias, afectando a las ciudades y la agricultura. También, nos muestra Yury Hamilton Huapaya(20) en su artículo, el cual menciona que sus valores estimados más altos corresponde al mes de enero mientras los más bajos corresponde alrededor del mes de julio,

Se determinó las diferentes evapotranspiraciones de diferentes años con la fórmula de Thornthwaite dando buenos resultados, en el Valle del Mantaro en los años 1953, 1990 y 2014, registran evapotranspiraciones más altas mientras en el año 2005 y 2010 registran una evapotranspiración mucho más baja, determinar la evapotranspiración en el Valle del Mantaro y atribuir cambios específicos a la alteración del clima debido al cambio climático requiere un enfoque multidisciplinario que integre datos observacionales, modelos climáticos y análisis de atribución. La comparación entre la evapotranspiración por el método de Thornthwaite que usamos en la estimación y la del método de Wilm, investigación de Marin (4), la cual realizo mediciones en el valle del Cuaca, en ambos métodos se usaron diferentes variables que requerían cada formula. Por lo expuesto, el método de Thornthwaite tiene a realizar una mejor clasificación climática de la zona por contar con mejores variables y más información. Como se observa en nuestra aplicación y clasificación de Thornthwaite, podemos recomendar este método para obtener estimaciones de ETP como su clasificación.

Se estimó la evapotranspiración del año 1952 al 2022, y clasificación de clima para cada año estudiado, se analizó la evapotranspiración, encontrando una tendencia negativa (-0.94mm/año) demostrando que en 5 décadas se tendrá una disminución de 47mm, a comparación del año 2022 la cual se estimó 487.07mm. Es así como el cambio climático afecto a los factores climáticos y alterando los climas de cada lugar como es el de nuestro valle del Mantaro, presentado fríos, heladas y sequías extremos en poblados cercanos al valle. Estas tendencias negativas tienen importantes implicaciones para los ecosistemas y la disponibilidad de agua dentro de la zona, lo que llegaría a alterar los ciclos hidrológicos y aumentar los riesgos de sequías. De acuerdo con la investigación de Juan Contreras Silva(9), el cual demuestra que la evapotranspiración presenta sensibilidad a los cambios climáticos y estos pueden variar según el lugar, época del año y otros factores externos que pueden suceder durante ese año; asimismo, en su investigación, encontró que la temperatura esta sensible a la radiación solar.

El Valle del Mantaro presenta una evapotranspiración con una pendiente descendiente, siendo así que con el pasar de los años presentara una disminución, tanto por el cambio climático como el fenómeno del niño registrado constantemente. Esto se debe a que las precipitaciones registradas sean menores o muy intensas, por otro lado, cada vez la temporada de lluvias se van retrasando, esto va sucediendo desde hace unos 30 años, por otro lado, la temperatura cada vez va aumentando y generando desglaciación de nuestro nevado que es el Huaytapallana, nuestro principal fuente de agua, y disminuyendo la disponibilidad del recurso hídrico. Es así como la evapotranspiración está sumamente relacionado con la variación de estos factores, puesto que con la alteración de uno de estos se verá alterado la evapotranspiración de una manera drástica o leve eso dependerá que nivel de variación presentan, y esto debido al cambio climático. De acuerdo con la investigación de Tannia Narciza Cherres (18), en donde compara diversos métodos para determinar la evapotranspiración y la cual llega a usar el método de Thornthwaite, por ser un método en el cual se puede hacer uso de datos que se encuentran en las estaciones climatológicas. Por ello, al usar este método, le resulta un déficit hídrico en el lugar estudiado. Los datos registrados en la estación meteorológica de Huayao ayudaron a estimar la evapotranspiración de una manera realista del periodo 1952 al 2022.

El valle del Mantaro experimenta una serie de factores climáticos que pueden influir en su entorno. Para relacionar estos factores con el cambio climático, es importante analizar cómo han variado en los últimos años y cómo estas variaciones se correlacionan con las tendencias observadas a nivel global, la estación de Huayao registro la temperatura promedio con valores muy bajos durante los meses de invierno, junio (9.85 °C) y julio (9.80 °C), y los más altos en los meses octubre, noviembre

y diciembre con un promedio de 13.0 °C durante estos meses. En la Imagen 24, se observa que los años más fríos fueron 1952, 1967, 1968 y 1971, y 1998 fue un año cálido extremo en todo el valle del Mantaro. Esos resultados encontrados, presentan una tendencia +0.13 °C por década, lo que para el año 2053 la temperatura promedio aumentara en 0.39 °C. Tales resultados obtenidos son comparables con los de Tapia Ramos (37) estudio que se realizó en la región de Arequipa, siendo así que dentro de su investigación observo que las temperaturas media mensuales y anuales ascendieron en las dos estaciones estudiadas, esto indica que la temperatura al transcurrir de los años tiene una tendencia a aumentar esto debido al cambio climático, el aumento de las temperaturas puede intensificar la evapotranspiración, lo que tiene implicaciones importantes para el ciclo del agua, la disponibilidad de agua y la salud de los ecosistemas.

Se determinó las diferentes evapotranspiraciones de diferentes años con la fórmula de Thornthwaite dando buenos resultados, en el Valle del Mantaro en los años 1953, 1990 y 2014 registran evapotranspiraciones más altas mientras en el año 2005 y 2010 registran una evapotranspiración mucho más baja, determinar la evapotranspiración en el Valle del Mantaro y atribuir cambios específicos a la alteración del clima debido al cambio climático requiere un enfoque multidisciplinario que integre datos observacionales, modelos climáticos y análisis de atribución. La comparación entre la evapotranspiración por el método de Thornthwaite que usamos en la estimación y la del método de Wilm, investigación de Marin (4), la cual realizó mediciones en el valle del Cuaca, en ambos métodos se usaron diferentes variables que requerían cada fórmula. Por lo expuesto el método de Thornthwaite, se tiende a realizar una mejor clasificación climática de la zona por contar con mejores variables y más información. Como se observa en nuestra aplicación y clasificación de Thornthwaite, podemos recomendar este método para obtener estimaciones de ETP como su clasificación.

CONCLUSIONES

Concluimos que la precipitación va con relación a la temperatura, se observa que para el periodo 1992 a 2022 las precipitaciones anuales fluctuaron desde 365.7mm hasta 912.1mm; presentando una tendencia negativa de -0.728mm/año. Es así como podemos concluir que el año más lluvioso fue el año 2011 y el año con déficit de precipitaciones fue el 2020 y los meses con mayor precipitación son el primer trimestre de cada año, presentando abundante precipitación (mayor a 100mm) y con temperatura promedio mayor a 13°C. La precipitación, en los últimos 30 años, da un pronóstico de que al pasar los años tendremos una disminución de precipitación. Asimismo, habrá años los cuales se presente mayor precipitación esto se deberá al cambio climático del Valle del Mantaro.

Logrando observar que al pasar de los años los factores climáticos cambian y la evapotranspiración se va afectando. Como en el caso del año 1952, nos resulta un índice de humedad húmedo mientras en el año 1960 cambia su índice de humedad a subhúmedo. Esto refleja que, en el transcurso de los años las variables, se van afectando más la evapotranspiración. La estimación de la evapotranspiración para nuestro Valle del Mantaro gracias al método de Thornthwaite y datos registrados de la estación de Huayao, nos fueron de gran ayuda para la estimación de la evapotranspiración, la cual nos muestra en la Tabla 27, que desde el año 1952 los climas van desde un clima húmedo hasta un clima seco a subhúmedo, y así presentando un índice de humedad de 100 hasta -20 de humedad, en el año 2020 se presentó una anomalía, ya que se registró un clima semiárido con una precipitación de 443.80mm, siendo este el año con menos precipitación de todo los años estudiados, este año presento una sequía a nivel del Valle.

Frente a la evapotranspiración y los factores climatológicos analizados, la temperatura es muy crucial para el estudio; puesto que este es el principal factor que permite al recurso hídrico cumplir su ciclo hidrológico, y con el cambio climático que se registra cada año; la temperatura va aumentando y presentando una tendencia positiva cada año, al contrario de la precipitación que registra una tendencia negativa y resultando crucial para nuestro valle del Mantaro. Las tendencias observadas en estos factores pueden explicar en gran medida las variaciones en la evapotranspiración a lo largo del tiempo.

Respecto a la evapotranspiración, se observa que en la Imagen 23, la evapotranspiración va de la mano con la temperatura y la precipitación, siendo que, si alguno de estos factores se altera drásticamente la evapotranspiración se verá muy afectada y dando una consecuencia grave para nuestro valle, dándonos sequias constantes. Lo que demuestra que la ETP al igual que la precipitación están con una tendencia negativa lo que lleva a pensar que en próximos años sino se toma una buena medida de controlar nuestros cuerpos de agua se verá muy afectado nuestro valle del Mantaro. Es crucial abordar estas tendencias

negativas mediante la implementación de prácticas de gestión sostenible del agua y la conservación de los ecosistemas naturales.

Los factores climáticos en el Valle del Mantaro están presentando variación, como es en el caso de la temperatura que tiene una tendencia a aumentar en los próximos años en un $+0.13^{\circ}\text{C}/\text{década}$, mientras las precipitaciones son, al contrario, dando a entender que la evapotranspiración tiene una relación directa con los factores climáticos. Esto se debe a que, si un factor climático se ve alterado drásticamente, la evapotranspiración se verá afectada y perjudicando al Valle del Mantaro, como serían sequías, temperaturas altas durante todo el año, falta de precipitaciones entre otros.

Así mismo la relación de evapotranspiración, la variación de la T° y precipitación se observan que van relacionadas entre sí, la relación entre la temperatura y la precipitación puede influir en la evapotranspiración de manera compleja. Por ejemplo, el aumento de la temperatura puede provocar cambios en los patrones de precipitación, como la intensificación de eventos de lluvia intensa o la disminución de la frecuencia de precipitaciones. Estos cambios pueden afectar la disponibilidad de agua en el suelo y, por lo tanto, la evapotranspiración. Frente al cambio climático la temperatura tiene una tendencia a aumentar en $+0.65^{\circ}\text{C}$ en 50 años lo que es muy crucial para nuestro valle, ya que las precipitaciones tienen una tendencia negativa, puesto que los cuerpos de agua que teníamos anteriormente se ven afectados, tanto por sequías, mal uso del recurso y malas gestiones de nuestro Valle. Estos factores estudiados y analizados con el método de Thornthwaite se relacionan con el cambio climático, puesto que cada año vamos observando que el clima está muy diverso y cambiante, siendo así que la evapotranspiración se verá afectado, por los cambios bruscos de estos factores climatológicos

Este trabajo es aplicable al cálculo de evapotranspiración y clasificación por el método de Thornthwaite en la estación de Huayao para el periodo analizado con intervalos de años. Esto conlleva a contar con estimaciones de la evapotranspiración y su clasificación con el uso de la metodología de Thornthwaite siendo así que este trabajo contribuirá a estudios de evapotranspiración en la región, y la clasificación que se brindará para posibles estimaciones futuras, asimismo, para cumplir una base de algún estudio. Se muestra los cuadros para cada año estimado y observar que año cambio bruscamente su clima de un año a otro.

Usando los factores climatológicos para estimar la evapotranspiración, y observar la tendencia que tienen. Para relacionar estos factores climáticos con el cambio climático, es importante considerar las tendencias observadas a nivel global, así como los estudios de investigación específicos realizados en la región del Valle del Mantaro. Los análisis de datos a largo plazo, junto con modelos climáticos y estudios

de impacto, pueden proporcionar una mejor comprensión de cómo el cambio climático está afectando y puede afectar en el futuro al Valle del Mantaro y sus comunidades.

RECOMENDACIONES

Una vez culminado el presente trabajo con las conclusiones ya realizadas se pueden dar las siguientes recomendaciones.

1. Se recomienda realizar investigación sobre evapotranspiración en diferentes zonas del país para así tener más estudios sobre el ciclo hidrológico y realizar un estudio a profundidad para observar posibles sequias en algunos lugares de nuestro país, como es en el caso de Huancavelica.
2. Se recomienda a instalación de estaciones meteorológicas con mejor tecnología, para así obtener mejor información sobre Temperatura, precipitación, velocidad del viento entre otros factores, para así poder calcular con precisión la evapotranspiración.
3. Realizar mantenimiento de equipos en la estación meteorológica, para una mayor fiabilidad de los datos, y mayor exactitud en la estimación de la Evapotranspiración o mejorar los equipos para así tener con mayor exactitud los valores y/o datos que serán necesarios para la estimación.
4. Se recomienda que se aumenten más estudios de investigación, posibles alertas de futuras sequias bajo escenarios del cambio climático, y así realizar decisiones en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos.
5. Se recomienda aumentar estudios sobre la ETP y la relación que tienen los factores climatológicos con el cambio climático, y si consecuencia en eventos de sequía que se podrían producir en el Perú.
6. Es fundamental establecer sistemas de monitoreo continuo de la evapotranspiración en áreas críticas, como regiones agrícolas, cuencas hidrográficas y zonas urbanas. Esto proporciona datos actualizados que son esenciales para comprender los cambios en la evapotranspiración a lo largo del tiempo y su impacto en los recursos hídricos.
7. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren a las autoridades de nuestra región que discutan y definan posibles mecanismos que ayuden a aumentar la ETP de nuestro valle, asimismo, analizar posibles soluciones frente al recurso hídrico.

8. Es necesario continuar invirtiendo en investigación y desarrollo en el campo de la evapotranspiración, incluyendo la mejora de modelos climáticos, el desarrollo de técnicas de monitoreo más precisas. Esto puede ayudar a mejorar nuestra comprensión de la evapotranspiración y a desarrollar soluciones efectivas para abordar sus desafíos.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLENRK, Richard G., PEREIRA, Luis S, RAES, Dirk and SMITH, Martin. *Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de los cultivos*. 2006.
2. LOPEZ, Maria Laura. *Análisis de los métodos de estimación de evaporación y evapotranspiración a las condiciones locales de la ciudad de Córdoba*. Universidad Nacional de La Pampa. Rectorado, 2011.
3. SANCHEZ TORIBIO, M. I. *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Técnicos de la SEG n° 3. / Sociedad Española de Geomorfología*.
4. MARIN VALENCIA, Valentina. *EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TEÓRICA Y LA EVAPORACIÓN REGISTRADA EN LOS DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y VALLE DEL CAUCA*. Bogota, 2010.
5. CALLAÑAUPA GUTIERREZ, Stephany Magaly. *Caracterización de la evapotranspiración en los cultivos alrededor del observatorio de Huancayo usando la técnica Eddy Covariance*. . UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, 2016.
6. TORRES, Mamani and ALTIBRANDO, Antonio. *Relación entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor influenciada por la velocidad del viento en la estación meteorológica Puno*. Online. Universidad Nacional del Altiplano, 2011.
7. IMPACTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES: DISPONIBILIDAD HÍDRICA | Apus del Agua. *IMPACTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES*. Online. [Accessed 26 May 2020]. Available from: <http://apusdelagua.blogspot.com/2016/03/impactos-sobre-los-recursos-naturales.html>Library Catalog: Blogger
8. BARRANTES, Gerardo. *El servicio ambiental hídrico y su importancia en la economía y conservación de la biodiversidad*. .
9. SILVA, Juan José Contreras. *ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO MODELOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO QUINUAS*. .
10. MÉNDEZ, Eduardo Zegarra. *Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión*. .
11. SOTO MARTINEZ, ENRIQUE. *Control automático de pozos para regadío del olivar*. . ESPAÑA : UNIVERSIDAD DE SEVILLA.
12. YAO, H. X. Long-Term Study of Lake Evaporation and Evaluation of Seven Estimation Methods: Results from Dickie Lake, South-Central Ontario, Canada. *Journal of Environmental Protection*. 10 November 2009. Vol. 01, no. 01, p. 1.
13. SWEDAN, Nabil H. Calculation of Open Water Evaporation as a Climate Parameter. *Journal of Water Resource and Protection*. 2 August 2018. Vol. 10, no. 8, p. 762-779. DOI 10.4236/jwarp.2018.108043.

14. ZHAN, Shengan, SONG, Chunqiao, WANG, Jida, SHENG, Yongwei and QUAN, Jiping. A Global Assessment of Terrestrial Evapotranspiration Increase Due to Surface Water Area Change. *Earth's Future*. 4 February 2019. Vol. 7. DOI 10.1029/2018EF001066.
15. ARAKAKI, Takuya, SHIMIZU, Akira, KABEYA, Naoki, IKUZAWA, Hitoshi, SHIMIZU, Takanori, IIDA, Shinichi and FURUGEN, Hiroshi. Calculation of Forest Potential Evapotranspiration of Okinawa in Japan Using the Penman Equation. *Journal of Water Resource and Protection*. 1 January 2014. Vol. 06, p. 813–820.
16. OSORIO LEYTON, Javier, JEONG, Jaehak, BIEGER, Katrin and ARNOLD, Jeff. Influence of Potential Evapotranspiration on the Water Balance of Sugarcane Fields in Maui, Hawaii. *Journal of Water Resource and Protection*. 1 January 2014. Vol. 06, p. 852–868. DOI 10.4236/jwarp.2014.69080.
17. BRIXNER, Gabriel Franke, SCHÖFFEL, Edgar Ricardo and TONIETTO, Jorge. Determinação da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no índice de seca na Campanha Gaúcha, Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*. December 2014. Vol. 36, p. 780–793. DOI 10.1590/0100-2945-381/13.
18. CHÉRREZ CHÉRREZ, Tannia Narciza. *Análisis Comparativo en la Aplicación de Diversos Métodos para el Cálculo de la Evapotranspiración en un Mismo Escenario*. bachelorThesis. ESPOL. FICT, 2015.
19. LAURA LOPEZ. *ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN A LAS CONDICIONES LOCALES DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA*. Online. Santa Rosa, La Pampa : UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA, 2011. [
20. CRUZ, Yury Hamilton Huapaya. Análisis de la evapotranspiración potencial en función de elementos climáticos en la zona circunlacustre de la cuenca del Titicaca Peruano. *ECIPeru: Revista del Encuentro Científico Internacional*. 2013. Vol. 9, no. 2 (Marzo), p. 46–52. Autoría: Yury Hamilton Huapaya Cruz. Localización: ECIPeru: Revista del Encuentro Científico Internacional. N°. 2, 2013. Artículo de Revista en Dialnet.
21. LAURA QUISPE. *Determinación de una formula Empírica de la evapotranspiración Potencial en Puno* ". [no date].
22. CASIMIRO, Waldo Lavado, LHOMME, Jean Paul, LABAT, David, LOUP, Jean and BOULET, Gilles. Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO 56 Penman Monteith) con limitados datos climáticos en la cuenca andina amazónica Peruana
23. TICSE OTÁROLA, Ginette Vilma Alicia. *Correlacion de la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hidrica de la cuenca alta del rio Shullcas como medida de adaptacion al cambio climatico en el periodo julio 2013 hasta junio 2014*. Online. HUANCAYO : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2018.
24. VALLE, Wendy. FASES, EFECTOS, ABASTECIMIENTO Y CONSERVACION DEL AGUA. .
25. ORDOÑEZ GALVEZ, Juan Julio. *Ciclo Hidrologico Peru*. Online. 2011.
26. BENGTTSSON, Lennart. Foreword: International Space Science Institute (ISSI) Workshop on the Earth's Hydrological Cycle. *Surveys in Geophysics*. May 2014. Vol. 35, no. 3, p. 485–488. DOI 10.1007/s10712-013-9265-8.

27. FRANCISCO A. SAQUEO. *Transpiracion*. Online. Universidad de la Serena. 2007. [Accessed 28 May 2020]. Available from: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>
28. *Hidrologia I: Ciclo Hidrologico*. Online. [no date]. [Accessed 10 August 2023]. Available from: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%204.pdf
29. *Transpiracion.pdf*. Online. [Accessed 28 May 2020]. Available from: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>
30. *Evaporacion, transpiracion y Evapotranspiracion*. Online. [Accessed 28 May 2020]. Available from: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%204.pdf
31. WISMANN FACIL, ANEL ALEXANDRA. *DISTRIBUCION ESPACIAL DEL PH DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES DEL VALLE DEL MANTARO DURANTE EL PERIODO 2005-2014*. Online. HUANCAYO : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2018.
32. ACUÑA, Dayana and ROBLES, Danny. *MANUAL DE METEOROLOGÍA Y DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA*. .
33. ESTACIONDEMETEOROLOGIA.COM, Gerardo de. *¿QUÉ ES UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA? METEOCULTURA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS & METEOROLOGÍA*. Online. 26 February 2019.
34. LAMAR - Ciencias Atmos-Hidro - IGP. Online. Available from: <http://met.igp.gob.pe/huayao/>
35. TITO, por Boris. ▷ Estaciones Meteorologicas Automaticas como funcionan. Online. 5 September 2020.
36. Sistemas de observación meteorológica | Blog Meteoclim. Online. 30 September 2020. Available from: <https://blog.meteoclim.com/sistemas-de-observacion-meteorologica> ¿Qué son y cómo se clasifican los sistemas de observación meteorológica?
37. TAPIA RAMOS, Angie Briceyda. *Tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observados en dos estaciones meteorológicas de la región de Arequipa 1965-2020*. HUANCAYO : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2022. [
38. MONCADA, M Sc. Zoila Maribel. *Cambio Climático Lo que debemos saber para ayudar nuestro planeta*. Online. [no date]. Available from: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005134/unfccc/program/nailibro/librocompleto.pdf>
39. El Clima - El sistema climatico. Available from: https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/grivveg/files/2012/05/Tema2.El_Clima.El_sistema_climatico.pdf
40. *Urías - Cambio climático interpretando el.pdf*. Online. [Accessed 29 July 2023]. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10414313.pdf>
41. RIVAS CARDENAS, DANIEL. *El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones climáticas. Aplicación didáctica*. Online. LIMA : UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION, 2018.

42. LA ATMÓSFERA. . Available from:
https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf
43. DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA Y GEOLOGIA. *Ciencias de la Tierra y Medioambientales Bloque III: Los sistemas fluidos.* Available from:
<https://ilexaquifolium.files.wordpress.com/2012/01/ctm10.pdf>
44. *Humedad aire.pdf.* Online. Available from:
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/9/7.%20Humedad%20aire.pdf>
45. *Elementos-del-clima.pdf.* Online. Available from: <https://educajovenesyadultos.com/wp-content/uploads/2020/03/Elementos-del-clima.pdf>
46. *Precipitacion.* Online. Available from:
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf
47. ROJOTSE. Tipos de Precipitacion Atmosferica. *TU GUÍA DE APRENDIZAJE.* Online. 1 October 2020. Available from: <https://tuguiadeaprendizaje.co/taller-tipos-de-precipitacion/Ven-y-diviértete-aprendiendo-con-el-tema-tipos-de-precipitación-y-refuerza-los-aprendizajes-de-tus-estudiantes.-PDF-sin-costo-alguno>
48. RUIZ, Carlos. Tipos de viento | Vientos Alisios | Vientos constantes y planetarios. *Náutica Formación.* Online. 7 December 2018. Available from: <https://nauticaformacion.es/vientos-planetarios-circulacion-atmosferica-vientos-alisios-del-oeste-polares/¿Cómo-se-forma-el-viento-en-nuestro-planeta?Conoce-como-se-forman-los-vientos-Alisios,-vientos-del-Oeste-y-los-vientos-Polares.-Explicamos-qué-es-la-Celula-de-Hadley,-la-Celula-de-Ferrel-y-las-células-polares.>
49. ¿Qué es la circulación atmosférica? *Ceupe.* Available from: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-circulacion-atmosferica.html> Escuela de negocios líder en formación online de Postgrado. Programas de Masters y MBA online y a distancia. Centro Europeo de Postgrado y Empresa | CEUPE
50. Vientos planetarios, vientos locales, vientos continentales - Ensayos. Available from:
<https://www.ensayostube.com/geografia/Vientos-planetarios-Vientos-lo54.php>
51. Viento. Online. Available from: <https://www.slideshare.net/hotii/5-vientoEL-VIENTO-Asignatura:-5º-HIDROLOGIA-GENERAL-EL-VIENTO-El-viento-es-el-movimiento-del-aire-que-está-presente-en-la-atmosfera,-especialmente,-en-la-troposfera...>
52. ELEMENTOS Y FACTORES DEL CLIMA. Available from http://ftp.emineduc.cl/cursosceip/CsSoc/4-6-basico/II/Unidad4/documentos/estrategia/ClimaEstrategiaGeo_c2_u4.pdf
53. BALTAZAR CASTAÑEDA, Hernan. CAMBIO CLIMÁTICO Y DIVERSIDAD DE INSECTOS EN EL VALLE DEL MANTARO. *UNCP.* 2015. P. 15.
54. CHAVEZ MARIN, Martin Oswaldo. “*VARIACIONES DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN COMO INDICADORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO DE PEDRO GÁLVEZ, PROVINCIA DE SAN MARCOS, CAJAMARCA, 2017.*”. CAJAMARCA : Universidad Peruana de los Andes, 2018.
55. TOBALINA, Daniel. Clasificación climática según la metodología de Thornthwaite. Available from:

https://www.academia.edu/23641279/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_seg%C3%BA_n_la_metodolog%C3%ADa_de_Thorntwaite.

56. GUERRERO VILCAPOMA, Dayana and GUTARRA BALDEON, Carlos. *Propuesta de un programa de cosecha de agua frente a la escasez del recurso hídrico en la microcuenca Yanama, en el Distrito de Yauli, provincia de Yauli - La Oroya 2021..* HUANCAYO : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2021.

57. MINAM (ed.). *CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL PERU.* Available from:
<https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wpcontent/uploads/sites/11/2013/10/CDAM0000323.pdf>

58. GÁLVEZ AYALA, Pedro Edwin. “*CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS HISTÓRICAS Y PROYECTADAS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO.* LIMA : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.

59. AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (ed.). *MeteoGlosario Visual.* Available from:
https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/Meteoglosario/Folleto_MGV_WEB.pdf

60. CUTIPA, Guido. Tipos de métodos de investigación: diferencias y ejemplos. *Investigación Científica.* 14 June 2021. Available from: [https://guidocutipa.blog.bo/investigacion/tipos-de-metodos-de-investigacion-diferencias-y-ejemplos/Existen muchos tipos de métodos de investigación en diferentes disciplinas, cada uno con sus propias características y usos. El video realiza una breve introducción a los diferentes métodos de inve...](https://guidocutipa.blog.bo/investigacion/tipos-de-metodos-de-investigacion-diferencias-y-ejemplos/Existen%20muchos%20tipos%20de%20métodos%20de%20investigaci3n%20en%20diferentes%20disciplinas,%20cada%20uno%20con%20sus%20propias%20características%20y%20usos.%20El%20video%20realiza%20una%20breve%20introducci3n%20a%20los%20diferentes%20métodos%20de%20inve...)

61. RISCO, Aldo Alvarez. *Clasificación de las Investigaciones.* . 2020.

62. *Hernandez_Sampieri_Cap._7_disenos_no_experimentales.pdf.* Online.
[Accessed 21 May 2023]. Available from:
http://online.aliat.edu.mx/adistancia/InvCuantitativa/LecturasS4/Hernandez_Sampieri_Cap._7_disenos_no_experimentales.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: Cuenta para el ingreso al Sistema de descarga de datos meteorológicos del SENAMHI

Imagen 26. Cuenta de ingreso a SENAMHI



FUENTE: SENAMHI

ANEXO 2: Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 29. Matriz de Operacionalización

OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

VARIABLES	TIPO DE VARIABLES	DEFINICIÓN	CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	
(X) INDEPENDIENTE TEMPERATURA Y PRECIPITACION	Naturaleza	La precipitación es toda forma de agua cuyo origen está en las nubes, y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, garua, y nieve. (Vásquez,2000)	Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido escarcha, nieve, granizo).	Forma	Diámetro	m	
	Cuantitativa				Velocidad	m2	
					Estado	solido, liquido, gaseoso	
					Intensidad	alto, medio, fuerte	
	Complejidad					temperatura	°K
	Simples					Origen	Masa de aire fria
					masa de aire calida	m2	
					Latitud	°	
					viento	m2	
					Grado	°C	
					Intensidad	alto, medio, fuerte	
					Radiacion solar	°K	
					Estacion	Primavera, Verano, Otoño, Invierno	
					Latitud	N ó S	
(Y) DEPENDIENTE EVAPOTRANSPIRACION	Naturaleza: cuantitativa	Cantidad de agua de suelo que vuelve a la atmosfera como	El agua es absorbida por las raíces de las plantas junto con otros nutrientes y es transportada a través de esta para dar lugar a la	Funcion a la humedad	Tipo de clima	Clasificacion de Thornthwaite	
					Indice de humedad	Clasificacion de Thornthwaite	

		consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas	evaporación, que ocurre en los espacios intercelulares en el interior de las hojas. El intercambio de vapor con la atmósfera que realizan las plantas (transpiración) es regulado por las estomas.			
	Complejidad: compuesta					Clasificación de Thornthwaite
				Funcion de eficacia termica	Tipo de clima	
	Función: dependiente				ETP	cm

Fuente. Elaboración propia

ANEXO 3: Matriz de consistencia.

Tabla 30. *Matriz de consistencia*

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿Cómo se relaciona la evapotranspiración con la variación de factores climáticos en el Valle del Mantaro?</p> <p>Problemas específicos: ¿Cuál es el nivel de precipitación en el Valle del Mantaro en las últimas 3 décadas y que variación se presentó con el cambio climático?</p> <p>¿Cuánto es la estimación de la evapotranspiración en el Valle del Mantaro en los últimos años por la alteración del clima por consecuencia del cambio climático?</p> <p>¿Cómo demostrar la relación que tiene la evapotranspiración con los factores climáticos?</p>	<p>Objetivo general: Identificar la relación que tiene la evapotranspiración con la variación de factores climáticos en el valle del Mantaro.</p> <p>Objetivos específicos: Determinar el nivel de precipitación en el valle del Mantaro en las 3 últimas décadas y la variación que presenta con el cambio climático.</p> <p>Estimar la evapotranspiración en el Valle del Mantaro en los últimos años y porque la alteración del clima por consecuencia del cambio climático</p> <p>Demostrar la relación de evapotranspiración y la variación de la temperatura y precipitación</p>	<p>Variable dependiente: Evapotranspiración</p> <p>Variable independiente: Temperatura y precipitación</p>	<p>Método general: Deductivo analítico</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo</p> <p>Diseño de investigación: Diseño no experimental, longitudinal</p> <p>Población: Las estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas dentro del Valle del Mantaro.</p> <p>Muestra: La estación meteorológica de Huayao</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Procesamiento de la data registrada en la estación de Huayao.</p> <p>Instrumentos de recolección de datos: Información registrada de la estación de Huayao.</p>

Fuente. Elaboración Propia.

ANEXO 4. Estimación de la evapotranspiración y su clasificación climática.

Tabla 31. Datos y ETR del año 1953

MESES DEL AÑO 1953	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp yETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.94	4.22	56.20	12.80	1.07	31.00	1.03	61.96	199.30	137.34	100.00	100.00	61.96
FEBRERO	11.01	3.30	46.10	12.50	1.04	28.00	0.93	44.82	204.80	159.98	100.00	100.00	44.82
MARZO	12.70	4.10	54.90	12.20	1.02	31.00	1.03	57.67	137.20	79.53	100.00	0.00	57.67
ABRIL	12.64	4.07	54.58	11.80	0.98	30.00	1.00	53.67	30.00	-23.67	76.33	-23.67	53.67
MAYO	11.68	3.61	49.57	11.60	0.97	31.00	1.03	49.51	17.89	-31.62	44.71	-55.29	73.18
JUNIO	9.96	2.84	40.77	11.40	0.95	30.00	1.00	38.73	11.10	-27.63	17.08	-59.25	70.35
JULIO	10.60	3.12	44.03	11.50	0.96	31.00	1.03	43.60	1.90	-41.70	0.00	-44.71	46.61
AGOSTO	11.99	3.76	51.19	11.70	0.98	31.00	1.03	51.57	12.80	-38.77	0.00	-17.08	29.88
SEPTIEMBRE	11.38	3.47	48.03	12.00	1.00	30.00	1.00	48.03	38.44	-9.59	0.00	0.00	38.44
OCTUBRE	14.11	4.81	62.52	12.40	1.03	31.00	1.03	66.75	55.40	-11.35	0.00	0.00	55.40
NOVIEMBRE	13.11	4.30	57.08	12.70	1.06	30.00	1.00	60.42	109.20	48.78	48.78	48.78	60.42
DICIEMBRE	14.13	4.82	62.62	12.80	1.07	31.00	1.03	69.04	75.00	5.96	54.74	54.74	69.04
ANUAL		46.43	627.59					645.76	893.03				661.44
				a=	1.22584								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 32. Clasificación de Thornthwaite para el año 1953

pp anual	893.03
d=	-15.68
s=	231.59
l _h =	35.86
l _a =	-2.43
l _m =	37.32
%	25.47%
$B_1 r B_3 ' a'$	

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 33. Datos y ETR del año 1954

MESES DEL AÑO 1954	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.15	4.32	61.31	12.80	1.07	31.00	1.03	67.58	151.50	83.92	100.00	100.00	67.58
FEBRERO	13.06	4.28	60.84	12.50	1.04	28.00	0.93	59.15	132.50	73.35	100.00	100.00	59.15
MARZO	13.57	4.53	63.54	12.20	1.02	31.00	1.03	66.75	111.70	44.95	100.00	0.00	66.75
ABRIL	12.74	4.12	59.17	11.80	0.98	30.00	1.00	58.18	53.20	-4.98	95.02	-4.98	58.18
MAYO	0.00	0.00	0.00	11.60	0.97	31.00	1.03	0.00	0.00	0.00	95.02	-4.98	4.98
JUNIO	0.00	0.00	0.00	11.40	0.95	30.00	1.00	0.00	0.00	0.00	95.02	0.00	0.00
JULIO	9.67	2.71	43.34	11.50	0.96	31.00	1.03	42.91	1.50	-41.41	53.61	-41.41	42.91
AGOSTO	9.70	2.73	43.48	11.70	0.98	31.00	1.03	43.81	4.00	-39.81	13.80	-81.22	85.22
SEPTIEMBRE	12.84	4.17	59.69	12.00	1.00	30.00	1.00	59.69	56.10	-3.59	10.22	-43.39	99.49
OCTUBRE	13.62	4.56	63.80	12.40	1.03	31.00	1.03	68.13	96.30	28.17	38.39	24.59	68.13
NOVIEMBRE	13.20	4.35	61.59	12.70	1.06	30.00	1.00	65.19	96.80	31.61	70.00	59.79	65.19
DICIEMBRE	12.98	4.24	60.43	12.80	1.07	31.00	1.03	66.63	146.80	80.17	100.00	61.61	66.63
ANUAL		40.01	577.18					598.02	850.40				684.22
				a=	1.12919								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 34. Clasificación de Thornthwaite para el año 1954

pp anual	850.40
d=	-86.20
s=	166.18
l _h =	27.79
l _a =	-14.41
l _m =	36.44
%	32.35%
$B_1 r B_2 ' a '$	

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 35. Datos y ETR del año 1955

MESES DEL AÑO 1955	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.59	4.05	55.22	12.80	1.07	31.00	1.03	60.87	121.10	60.23	100.00	100.00	60.87
FEBRERO	12.47	3.99	54.58	12.50	1.04	28.00	0.93	53.07	107.50	54.43	100.00	100.00	53.07
MARZO	12.62	4.06	55.39	12.20	1.02	31.00	1.03	58.19	117.80	59.61	100.00	0.00	58.19
ABRIL	12.05	3.79	52.39	11.80	0.98	30.00	1.00	51.52	23.30	-28.22	71.78	-28.22	51.52
MAYO	11.70	3.62	50.54	11.60	0.97	31.00	1.03	50.48	31.40	-19.08	52.70	-47.30	78.70
JUNIO	9.41	2.61	38.91	11.40	0.95	30.00	1.00	36.96	7.60	-29.36	23.34	-48.44	56.04
JULIO	10.13	2.91	42.50	11.50	0.96	31.00	1.03	42.08	1.10	-40.98	0.00	-52.70	53.80
AGOSTO	10.76	3.19	45.71	11.70	0.98	31.00	1.03	46.05	11.10	-34.95	0.00	-23.34	34.44
SEPTIEMBRE	11.79	3.66	51.02	12.00	1.00	30.00	1.00	51.02	21.70	-29.32	0.00	0.00	21.70
OCTUBRE	13.16	4.33	58.24	12.40	1.03	31.00	1.03	62.19	44.40	-17.79	0.00	0.00	44.40
NOVIEMBRE	13.32	4.41	59.12	12.70	1.06	30.00	1.00	62.58	33.40	-29.18	0.00	0.00	33.40
DICIEMBRE	13.28	4.39	58.87	12.80	1.07	31.00	1.03	64.91	81.20	16.29	16.29	16.29	64.91
ANUAL		45.00	622.50					639.91	601.60				611.03
				a=	1.20422								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 36. Clasificación de Thornthwaite para el año 1955

pp anual	601.60
d=	28.88
s=	-9.43
lh=	-1.47
la=	4.51
lm=	-4.18
%	26.90%

$$B_1 r B_3 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 37. Datos y ETR del año 1956

MESES DEL AÑO 1956	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp yETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	11.98	3.76	52.75	12.80	1.07	31.00	1.03	58.15	122.90	64.75	100.00	100.00	58.15
FEBRERO	11.48	3.52	50.14	12.50	1.04	29.00	0.97	50.49	202.60	152.11	100.00	100.00	50.49
MARZO	11.84	3.69	51.98	12.20	1.02	31.00	1.03	54.61	61.90	7.29	100.00	0.00	54.61
ABRIL	11.83	3.68	51.94	11.80	0.98	30.00	1.00	51.07	41.20	-9.87	90.13	-9.87	51.07
MAYO	11.06	3.33	47.94	11.60	0.97	31.00	1.03	47.88	12.80	-35.08	55.05	-44.95	57.75
JUNIO	9.29	2.56	39.01	11.40	0.95	30.00	1.00	37.05	0.80	-36.25	18.79	-71.33	72.13
JULIO	10.30	2.99	44.08	11.50	0.96	31.00	1.03	43.65	22.40	-21.25	0.00	-55.05	77.45
AGOSTO	10.89	3.25	47.06	11.70	0.98	31.00	1.03	47.42	6.10	-41.32	0.00	-18.79	24.89
SEPTIEMBRE	12.61	4.06	56.02	12.00	1.00	30.00	1.00	56.02	37.50	-18.52	0.00	0.00	37.50
OCTUBRE	13.47	4.48	60.60	12.40	1.03	31.00	1.03	64.71	38.20	-26.51	0.00	0.00	38.20
NOVIEMBRE	12.70	4.10	56.50	12.70	1.06	30.00	1.00	59.80	44.80	-15.00	0.00	0.00	44.80
DICIEMBRE	13.44	4.47	60.43	12.80	1.07	31.00	1.03	66.63	71.50	4.87	4.87	4.87	66.63
ANUAL		43.87	618.46					637.48	662.70				633.68
				a=	1.18711								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 38. Clasificación de Thornthwaite para el año 1956

pp anual	662.70
d=	3.80
s=	29.02
l _h =	4.55
l _a =	0.60
l _m =	4.20
%	25.61%

$$C_2 r B_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 39. Datos y ETR del año 1957

MESES DEL AÑO 1957	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.98	4.24	56.64	12.80	1.07	31.00	1.03	62.44	79.60	17.16	17.16	17.16	62.44
FEBRERO	12.96	4.23	56.53	12.50	1.04	28.00	0.93	54.96	151.20	96.24	100.00	82.84	54.96
MARZO	12.53	4.02	54.30	12.20	1.02	31.00	1.03	57.04	119.50	62.46	100.00	0.00	57.04
ABRIL	12.35	3.93	53.32	11.80	0.98	30.00	1.00	52.43	94.00	41.57	100.00	0.00	52.43
MAYO	11.33	3.45	47.99	11.60	0.97	31.00	1.03	47.93	24.90	-23.03	76.97	-23.03	47.93
JUNIO	9.84	2.79	40.40	11.40	0.95	30.00	1.00	38.38	11.50	-26.88	50.09	-26.88	38.38
JULIO	9.59	2.68	39.15	11.50	0.96	31.00	1.03	38.76	2.90	-35.86	14.23	-35.86	38.76
AGOSTO	10.94	3.27	45.98	11.70	0.98	31.00	1.03	46.33	13.30	-33.03	0.00	-14.23	27.53
SEPTIEMBRE	11.72	3.63	50.00	12.00	1.00	30.00	1.00	50.00	67.00	17.00	17.00	17.00	50.00
OCTUBRE	13.65	4.58	60.28	12.40	1.03	31.00	1.03	64.36	65.60	1.24	18.24	1.24	64.36
NOVIEMBRE	13.47	4.48	59.28	12.70	1.06	30.00	1.00	62.75	63.50	0.75	18.99	0.75	62.75
DICIEMBRE	13.97	4.74	61.98	12.80	1.07	31.00	1.03	68.34	79.20	10.86	29.85	10.86	68.34
ANUAL		46.03	625.85					643.71	772.20				624.92
				a=	1.21968								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 40. Clasificación de Thornthwaite para el año 1957

pp anual	772.20
d=	18.79
s=	147.28
l _h =	22.88
l _a =	2.92
l _m =	21.13
%	27.10%

$$B_1 r B_2 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 41. Datos y ETR del año 1958

MESES DEL AÑO 1958	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.33	4.42	57.09	12.80	1.07	31.00	1.03	62.94	141.70	78.76	17.16	17.16	62.94
FEBRERO	13.24	4.37	56.59	12.50	1.04	28.00	0.93	55.02	137.10	82.08	99.24	82.08	55.02
MARZO	12.97	4.24	55.16	12.20	1.02	31.00	1.03	57.95	65.10	7.15	100.00	0.76	57.95
ABRIL	13.11	4.30	55.90	11.80	0.98	30.00	1.00	54.97	44.90	-10.07	89.93	-10.07	54.97
MAYO	12.58	4.04	53.04	11.60	0.97	31.00	1.03	52.98	35.40	-17.58	72.36	-17.58	52.98
JUNIO	9.81	2.77	38.80	11.40	0.95	30.00	1.00	36.86	8.60	-28.26	44.10	-28.26	36.86
JULIO	9.91	2.82	39.34	11.50	0.96	31.00	1.03	38.95	4.90	-34.05	10.05	-34.05	38.95
AGOSTO	11.20	3.39	45.84	11.70	0.98	31.00	1.03	46.19	2.30	-43.89	0.00	-10.05	12.35
SEPTIEMBRE	13.62	4.56	58.63	12.00	1.00	30.00	1.00	58.63	23.00	-35.63	0.00	0.00	23.00
OCTUBRE	13.14	4.32	56.03	12.40	1.03	31.00	1.03	59.83	88.60	28.77	28.77	28.77	59.83
NOVIEMBRE	13.74	4.62	59.27	12.70	1.06	30.00	1.00	62.73	66.40	3.67	32.43	3.67	62.73
DICIEMBRE	13.70	4.60	59.06	12.80	1.07	31.00	1.03	65.12	85.70	20.58	53.02	20.58	65.12
ANUAL		48.44	634.76					652.15	703.70				582.69
				a=	1.25621								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 42. Clasificación de Thornthwaite para el año 1958

pp anual	703.70
d=	69.46
s=	121.01
l _h =	18.56
l _a =	10.65
l _m =	12.17
%	26.97%

$$C_2 r B_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 43. Datos y ETR del año 1959

MESES DEL AÑO 1959	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.85	4.68	60.90	12.80	1.07	31.00	1.03	67.13	102.20	35.07	17.16	17.16	67.13
FEBRERO	12.76	4.13	55.04	12.50	1.04	28.00	0.93	53.51	198.30	144.79	100.00	82.84	53.51
MARZO	12.87	4.18	55.61	12.20	1.02	31.00	1.03	58.42	151.90	93.48	100.00	0.00	58.42
ABRIL	12.32	3.92	52.72	11.80	0.98	30.00	1.00	51.84	88.10	36.26	100.00	0.00	51.84
MAYO	10.73	3.18	44.48	11.60	0.97	31.00	1.03	44.42	25.20	-19.22	80.78	-19.22	44.42
JUNIO	10.25	2.97	42.04	11.40	0.95	30.00	1.00	39.93	35.30	-4.63	76.15	-4.63	39.93
JULIO	9.75	2.75	39.49	11.50	0.96	31.00	1.03	39.10	1.00	-38.10	38.05	-38.10	39.10
AGOSTO	11.67	3.61	49.32	11.70	0.98	31.00	1.03	49.69	6.90	-42.79	0.00	-38.05	44.95
SEPTIEMBRE	12.21	3.87	52.14	12.00	1.00	30.00	1.00	52.14	36.00	-16.14	0.00	0.00	36.00
OCTUBRE	13.57	4.53	59.36	12.40	1.03	31.00	1.03	63.38	91.90	28.52	28.52	28.52	63.38
NOVIEMBRE	13.70	4.60	60.08	12.70	1.06	30.00	1.00	63.59	49.50	-14.09	14.43	-14.09	63.59
DICIEMBRE	13.24	4.37	57.58	12.80	1.07	31.00	1.03	63.49	109.10	45.61	60.04	45.61	63.49
ANUAL		46.78	628.75					646.64	895.40				625.76
				a=	1.23113								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 44. Clasificación de Thornthwaite para el año 1959

pp anual	895.40
d=	20.88
s=	269.64
l _h =	41.70
l _a =	3.23
l _m =	39.76
%	27.69%

$$B_1 r B_3 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 45. Datos y ETR del año 1960

MESES DEL AÑO 1960	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.90	4.20	56.65	12.80	1.07	31.00	1.03	62.45	88.40	25.95	25.95	25.95	62.45
FEBRERO	12.40	3.96	54.02	12.50	1.04	29.00	0.97	54.39	112.50	58.11	84.05	58.11	54.39
MARZO	12.12	3.82	52.54	12.20	1.02	31.00	1.03	55.20	39.10	-16.10	67.96	-16.10	55.20
ABRIL	11.96	3.75	51.72	11.80	0.98	30.00	1.00	50.85	66.60	15.75	83.70	15.75	50.85
MAYO	11.19	3.39	47.71	11.60	0.97	31.00	1.03	47.65	16.40	-31.25	52.45	-31.25	47.65
JUNIO	9.47	2.63	39.00	11.40	0.95	30.00	1.00	37.04	0.30	-36.74	15.71	-36.74	37.04
JULIO	10.28	2.98	43.04	11.50	0.96	31.00	1.03	42.61	10.10	-32.51	0.00	-15.71	25.81
AGOSTO	11.41	3.49	48.82	11.70	0.98	31.00	1.03	49.19	20.60	-28.59	0.00	0.00	20.60
SEPTIEMBRE	12.37	3.94	53.85	12.00	1.00	30.00	1.00	53.85	31.40	-22.45	0.00	0.00	31.40
OCTUBRE	13.13	4.31	57.87	12.40	1.03	31.00	1.03	61.79	49.80	-11.99	0.00	0.00	49.80
NOVIEMBRE	13.27	4.38	58.60	12.70	1.06	30.00	1.00	62.02	115.10	53.08	53.08	53.08	62.02
DICIEMBRE	13.53	4.51	59.99	12.80	1.07	31.00	1.03	66.15	51.00	-15.15	37.93	-15.15	66.15
ANUAL		45.35	623.81					643.20	601.30				563.37
					a=	1.20946							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 46. Clasificación de Thornthwaite para el año 1960

pp anual	601.30
d=	79.83
s=	37.93
lh=	5.90
la=	12.41
lm=	-1.55
%	26.75%

$$C_1 dB_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 47. Datos y ETR del año 1961

MESES DEL AÑO 1961	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp yETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.02	4.26	58.06	12.80	1.07	31.00	1.03	64.01	193.60	129.59	129.59	129.59	64.01
FEBRERO	12.41	3.96	54.82	12.50	1.04	28.00	0.93	53.29	165.00	111.71	100.00	-29.59	53.29
MARZO	12.77	4.14	56.75	12.20	1.02	31.00	1.03	59.62	101.10	41.48	100.00	0.00	59.62
ABRIL	12.00	3.76	52.70	11.80	0.98	30.00	1.00	51.82	63.60	11.78	100.00	0.00	51.82
MAYO	11.33	3.45	49.19	11.60	0.97	31.00	1.03	49.13	62.80	13.67	100.00	0.00	49.13
JUNIO	8.78	2.34	36.30	11.40	0.95	30.00	1.00	34.48	0.00	-34.48	65.52	-34.48	34.48
JULIO	9.81	2.78	41.47	11.50	0.96	31.00	1.03	41.06	0.00	-41.06	24.46	-41.06	41.06
AGOSTO	10.12	2.91	43.01	11.70	0.98	31.00	1.03	43.34	15.70	-27.64	0.00	-24.46	40.16
SEPTIEMBRE	12.31	3.91	54.31	12.00	1.00	30.00	1.00	54.31	26.10	-28.21	0.00	0.00	26.10
OCTUBRE	13.20	4.35	59.03	12.40	1.03	31.00	1.03	63.03	25.90	-37.13	0.00	0.00	25.90
NOVIEMBRE	13.06	4.28	58.27	12.70	1.06	30.00	1.00	61.68	97.70	36.02	36.02	36.02	61.68
DICIEMBRE	12.42	3.97	54.90	12.80	1.07	31.00	1.03	60.53	144.20	83.67	100.00	63.98	60.53
ANUAL		44.10	618.82					636.30	895.70				567.79
					a=	1.19057							

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 48. Clasificación de Thornthwaite para el año 1961

pp anual	895.70
d=	68.51
s=	327.91
lh=	51.53
la=	10.77
lm=	45.07
%	27.81%

$$B_2 r B_3 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 49. Datos y ETR del año 1973

MESES DEL AÑO 1973	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.79	4.15	56.79	12.80	1.07	31.00	1.03	62.60	152.80	90.20	90.20	90.20	62.60
FEBRERO	13.18	4.34	58.86	12.50	1.04	28.00	0.93	57.22	153.70	96.48	100.00	9.80	57.22
MARZO	13.12	4.31	58.52	12.20	1.02	31.00	1.03	61.47	137.10	75.63	100.00	0.00	61.47
ABRIL	12.02	3.78	52.74	11.80	0.98	30.00	1.00	51.86	97.40	45.54	100.00	0.00	51.86
MAYO	9.67	2.72	40.70	11.60	0.97	31.00	1.03	40.65	12.90	-27.75	72.25	-27.75	40.65
JUNIO	10.55	3.10	45.15	11.40	0.95	30.00	1.00	42.88	3.60	-39.28	32.97	-39.28	42.88
JULIO	9.85	2.79	41.56	11.50	0.96	31.00	1.03	41.15	23.90	-17.25	15.72	-17.25	41.15
AGOSTO	11.08	3.33	47.83	11.70	0.98	31.00	1.03	48.18	21.30	-26.88	0.00	-15.72	37.02
SEPTIEMBRE	11.57	3.56	50.39	12.00	1.00	30.00	1.00	50.39	48.10	-2.29	0.00	0.00	48.10
OCTUBRE	12.92	4.21	57.46	12.40	1.03	31.00	1.03	61.36	94.10	32.74	32.74	32.74	61.36
NOVIEMBRE	12.87	4.18	57.20	12.70	1.06	30.00	1.00	60.55	39.80	-20.75	12.00	-20.75	60.55
DICIEMBRE	11.96	3.75	52.44	12.80	1.07	31.00	1.03	57.81	87.90	30.09	42.08	30.09	57.81
ANUAL		44.21	619.63					636.14	872.60				622.68
				a=	1.19225								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 50 Clasificación de Thornthwaite para el año 1973

pp anual	872.60
d=	13.46
s=	249.92
lh=	39.29
la=	2.12
lm=	38.02
%	28.50%

$$B_1 r B_2 ' a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 51. Datos y ETR del año 1975

MESES DEL AÑO 1975	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	11.70	3.62	53.07	12.80	1.07	31.00	1.03	58.51	83.60	25.09	25.09	25.09	58.51
FEBRERO	12.56	4.03	57.52	12.50	1.04	28.00	0.93	55.92	120.10	64.18	89.27	64.18	55.92
MARZO	11.84	3.69	53.76	12.20	1.02	31.00	1.03	56.48	162.60	106.12	100.00	10.73	56.48
ABRIL	10.88	3.25	48.83	11.80	0.98	30.00	1.00	48.02	38.40	-9.62	90.38	-9.62	48.02
MAYO	10.52	3.08	46.96	11.60	0.97	31.00	1.03	46.90	31.20	-15.70	74.69	-15.70	46.90
JUNIO	9.71	2.73	42.83	11.40	0.95	30.00	1.00	40.68	3.60	-37.08	37.60	-37.08	40.68
JULIO	8.41	2.20	36.38	11.50	0.96	31.00	1.03	36.02	0.50	-35.52	2.08	-35.52	36.02
AGOSTO	10.96	3.28	49.24	11.70	0.98	31.00	1.03	49.61	38.90	-10.71	0.00	-2.08	40.98
SEPTIEMBRE	12.07	3.80	54.97	12.00	1.00	30.00	1.00	54.97	130.70	75.73	75.73	75.73	54.97
OCTUBRE	11.92	3.73	54.21	12.40	1.03	31.00	1.03	57.88	86.00	28.12	100.00	24.27	57.88
NOVIEMBRE	12.27	3.89	56.00	12.70	1.06	30.00	1.00	59.28	65.50	6.22	100.00	0.00	59.28
DICIEMBRE	12.03	3.78	54.75	12.80	1.07	31.00	1.03	60.37	111.40	51.03	100.00	0.00	60.37
ANUAL		41.07	608.53					624.64	872.50				616.02
				a=	1.14505								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 52. Clasificación de Thornthwaite para el año 1975

pp anual	872.50
d=	8.63
s=	256.48
lh=	41.06
la=	1.38
lm=	40.23
%	27.36%

$$B_2 r B_2 ' a'$$

Fuente. *Elaboración Propia*

Tabla 53. Datos y ETR del año 1977

MESES DEL AÑO 1977	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.54	4.52	60.63	12.80	1.07	31.00	1.03	66.84	85.50	18.66	18.66	18.66	66.84
FEBRERO	12.49	4.00	55.08	12.50	1.04	28.00	0.93	53.55	124.60	71.05	89.71	71.05	53.55
MARZO	12.59	4.05	55.56	12.20	1.02	31.00	1.03	58.37	124.00	65.63	100.00	10.29	58.37
ABRIL	11.70	3.62	50.92	11.80	0.98	30.00	1.00	50.07	125.10	75.03	100.00	0.00	50.07
MAYO	10.06	2.88	42.50	11.60	0.97	31.00	1.03	42.45	22.90	-19.55	80.45	-19.55	42.45
JUNIO	9.25	2.54	38.44	11.40	0.95	30.00	1.00	36.51	1.80	-34.71	45.74	-34.71	36.51
JULIO	10.03	2.87	42.35	11.50	0.96	31.00	1.03	41.93	7.30	-34.63	11.12	-34.63	41.93
AGOSTO	11.07	3.33	47.67	11.70	0.98	31.00	1.03	48.03	6.70	-41.33	0.00	-11.12	17.82
SEPTIEMBRE	12.47	3.99	54.96	12.00	1.00	30.00	1.00	54.96	53.00	-1.96	0.00	0.00	53.00
OCTUBRE	13.29	4.39	59.27	12.40	1.03	31.00	1.03	63.29	70.00	6.71	6.71	6.71	63.29
NOVIEMBRE	12.50	4.01	55.12	12.70	1.06	30.00	1.00	58.35	125.60	67.25	73.97	67.25	58.35
DICIEMBRE	12.98	4.24	57.64	12.80	1.07	31.00	1.03	63.55	89.90	26.35	100.00	26.03	63.55
ANUAL		44.43	620.14					637.89	836.40				605.71
				a=	1.19565								

Fuente. *Elaboración Propia*

Tabla 54. Clasificación de Thornthwaite para el año 1977

pp anual	836.40
d=	32.17
s=	230.69
l _h =	36.16
l _a =	5.04
l _m =	33.14
%	28.02%

$$B_1 r B_2 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 55. Datos y ETR del año 1979

MESES DEL AÑO 1979	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp yETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.60	4.05	55.30	12.80	1.07	31.00	1.03	60.96	129.40	68.44	68.44	68.44	60.96
FEBRERO	12.71	4.10	55.87	12.50	1.04	28.00	0.93	54.31	80.60	26.29	94.73	26.29	54.31
MARZO	12.42	3.97	54.36	12.20	1.02	31.00	1.03	57.11	108.70	51.59	100.00	5.27	57.11
ABRIL	11.71	3.62	50.61	11.80	0.98	30.00	1.00	49.76	72.00	22.24	100.00	0.00	49.76
MAYO	10.42	3.04	44.00	11.60	0.97	31.00	1.03	43.94	22.40	-21.54	78.46	-21.54	43.94
JUNIO	9.27	2.55	38.23	11.40	0.95	30.00	1.00	36.31	0.50	-35.81	42.65	-35.81	36.31
JULIO	8.38	2.19	33.84	11.50	0.96	31.00	1.03	33.51	3.40	-30.11	12.54	-30.11	33.51
AGOSTO	11.56	3.56	49.86	11.70	0.98	31.00	1.03	50.23	20.90	-29.33	0.00	-12.54	33.44
SEPTIEMBRE	12.87	4.18	56.71	12.00	1.00	30.00	1.00	56.71	31.60	-25.11	0.00	0.00	31.60
OCTUBRE	13.31	4.40	59.09	12.40	1.03	31.00	1.03	63.09	22.90	-40.19	0.00	0.00	22.90
NOVIEMBRE	13.99	4.75	62.72	12.70	1.06	30.00	1.00	66.39	76.00	9.61	9.61	9.61	66.39
DICIEMBRE	13.62	4.56	60.71	12.80	1.07	31.00	1.03	66.94	61.90	-5.04	4.57	-5.04	66.94
ANUAL		44.97	621.29					639.27	630.30				557.17
				a=	1.20374								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 56. Clasificación de Thornthwaite para el año 1979

pp anual	630.30
d=	82.09
s=	73.13
l _h =	11.44
l _a =	12.84
l _m =	3.73
%	26.97%

$$C_2 r B_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 57. Datos y ETR del año 1985

MESES DEL AÑO 1985	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.89	4.20	58.30	12.80	1.07	31.00	1.03	64.27	78.50	14.23	14.23	14.23	64.27
FEBRERO	11.95	3.74	53.38	12.50	1.04	28.00	0.93	51.89	161.70	109.81	100.00	85.77	51.89
MARZO	12.35	3.93	55.43	12.20	1.02	31.00	1.03	58.24	80.70	22.46	100.00	0.00	58.24
ABRIL	11.55	3.55	51.25	11.80	0.98	30.00	1.00	50.40	55.60	5.20	100.00	0.00	50.40
MAYO	10.60	3.12	46.41	11.60	0.97	31.00	1.03	46.35	19.20	-27.15	72.85	-27.15	46.35
JUNIO	9.55	2.67	41.08	11.40	0.95	30.00	1.00	39.02	5.60	-33.42	39.44	-33.42	39.02
JULIO	8.78	2.34	37.21	11.50	0.96	31.00	1.03	36.84	9.70	-27.14	12.30	-27.14	36.84
AGOSTO	10.55	3.10	46.12	11.70	0.98	31.00	1.03	46.46	10.10	-36.36	0.00	-12.30	22.40
SEPTIEMBRE	12.25	3.88	54.93	12.00	1.00	30.00	1.00	54.93	89.90	34.97	34.97	34.97	54.93
OCTUBRE	12.69	4.09	57.21	12.40	1.03	31.00	1.03	61.09	76.30	15.21	50.18	15.21	61.09
NOVIEMBRE	12.69	4.10	57.25	12.70	1.06	30.00	1.00	60.60	89.20	28.60	78.79	28.60	60.60
DICIEMBRE	12.31	3.91	55.25	12.80	1.07	31.00	1.03	60.91	137.20	76.29	100.00	21.21	60.91
ANUAL		42.63	613.80					630.99	813.70				606.92
				a=	1.16853								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 58. Clasificación de Thornthwaite para el año 1985

pp anual	813.70
d=	24.07
s=	206.78
l _h =	32.77
l _a =	3.81
l _m =	30.48
%	27.64%

$$B_1 r B_2 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 59. Datos y ETR del año 1990

MESES DEL AÑO 1990	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(I)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.61	4.06	56.15	12.80	1.07	31.00	1.03	61.89	119.10	57.21	57.21	57.21	61.89
FEBRERO	11.62	3.59	50.99	12.50	1.04	28.00	0.93	49.57	135.60	86.03	100.00	42.79	49.57
MARZO	12.04	3.78	53.16	12.20	1.02	31.00	1.03	55.84	100.70	44.86	100.00	0.00	55.84
ABRIL	12.19	3.85	53.96	11.80	0.98	30.00	1.00	53.06	41.10	-11.96	88.04	-11.96	53.06
MAYO	10.95	3.28	47.50	11.60	0.97	31.00	1.03	47.44	20.10	-27.34	60.70	-27.34	47.44
JUNIO	10.73	3.18	46.41	11.40	0.95	30.00	1.00	44.08	63.00	18.92	79.62	18.92	44.08
JULIO	10.06	2.88	42.98	11.50	0.96	31.00	1.03	42.55	10.20	-32.35	47.27	-32.35	42.55
AGOSTO	9.46	2.62	39.95	11.70	0.98	31.00	1.03	40.25	21.50	-18.75	28.51	-18.75	40.25
SEPTIEMBRE	12.26	3.89	54.34	12.00	1.00	30.00	1.00	54.34	61.00	6.66	35.17	6.66	54.34
OCTUBRE	13.24	4.37	59.50	12.40	1.03	31.00	1.03	63.54	75.10	11.56	46.73	11.56	63.54
NOVIEMBRE	13.04	4.27	58.42	12.70	1.06	30.00	1.00	61.84	133.10	71.26	100.00	53.27	61.84
DICIEMBRE	12.30	3.90	54.51	12.80	1.07	31.00	1.03	60.10	95.40	35.30	100.00	0.00	60.10
ANUAL		43.67	617.86					634.51	875.90				634.51
				a=	1.18411								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 60. Clasificación de Thornthwaite para el año 1990

pp anual	875.90
d=	0.00
s=	241.39
l _h =	38.04
l _a =	0.00
l _m =	38.04
%	26.37%

$$B_1 r B_2 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 61. Datos y ETR del año 1995

MESES DEL AÑO 1995	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.06	4.28	56.34	12.80	1.07	31.00	1.03	62.11	68.90	6.79	6.79	6.79	62.11
FEBRERO	13.21	4.35	57.14	12.50	1.04	28.00	0.93	55.55	131.30	75.75	82.54	75.75	55.55
MARZO	12.77	4.14	54.80	12.20	1.02	31.00	1.03	57.57	125.40	67.83	100.00	17.46	57.57
ABRIL	12.27	3.89	52.10	11.80	0.98	30.00	1.00	51.24	19.60	-31.64	68.36	-31.64	51.24
MAYO	11.00	3.30	45.52	11.60	0.97	31.00	1.03	45.47	26.90	-18.57	49.80	-18.57	45.47
JUNIO	10.47	3.06	42.83	11.40	0.95	30.00	1.00	40.68	2.60	-38.08	11.72	-38.08	40.68
JULIO	11.03	3.31	45.66	11.50	0.96	31.00	1.03	45.21	9.20	-36.01	0.00	-11.72	20.92
AGOSTO	11.95	3.74	50.43	11.70	0.98	31.00	1.03	50.80	16.40	-34.40	0.00	0.00	16.40
SEPTIEMBRE	12.41	3.96	52.88	12.00	1.00	30.00	1.00	52.88	36.50	-16.38	0.00	0.00	36.50
OCTUBRE	13.45	4.47	58.40	12.40	1.03	31.00	1.03	62.36	76.00	13.64	13.64	13.64	62.36
NOVIEMBRE	13.50	4.50	58.67	12.70	1.06	30.00	1.00	62.10	56.00	-6.10	7.54	-6.10	62.10
DICIEMBRE	13.07	4.28	56.35	12.80	1.07	31.00	1.03	62.13	98.30	36.17	43.71	36.17	62.13
ANUAL		47.29	631.13					648.10	667.10				573.02
				a=	1.23873								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 62. Clasificación de Thornthwaite para el año 1995

pp anual	667.10
d=	75.08
s=	94.08
l _h =	14.52
l _a =	11.58
l _m =	7.57
%	27.04%

$$C_2 r B_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 63. Datos y ETR del año 1997

MESES DEL AÑO 1997	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.17	4.33	57.37	12.80	1.07	31.00	1.03	63.24	103.90	40.66	40.66	40.66	63.24
FEBRERO	12.28	3.90	52.68	12.50	1.04	28.00	0.93	51.21	137.90	86.69	100.00	59.34	51.21
MARZO	12.32	3.92	52.87	12.20	1.02	31.00	1.03	55.55	70.60	15.05	100.00	0.00	55.55
ABRIL	11.90	3.72	50.67	11.80	0.98	30.00	1.00	49.82	37.50	-12.32	87.68	-12.32	49.82
MAYO	11.33	3.45	47.73	11.60	0.97	31.00	1.03	47.67	2.90	-44.77	42.91	-44.77	47.67
JUNIO	9.90	2.81	40.41	11.40	0.95	30.00	1.00	38.38	0.30	-38.08	4.82	-38.08	38.38
JULIO	10.02	2.87	41.05	11.50	0.96	31.00	1.03	40.64	1.30	-39.34	0.00	-4.82	6.12
AGOSTO	11.51	3.54	48.66	11.70	0.98	31.00	1.03	49.02	18.30	-30.72	0.00	0.00	18.30
SEPTIEMBRE	12.71	4.10	54.92	12.00	1.00	30.00	1.00	54.92	46.70	-8.22	0.00	0.00	46.70
OCTUBRE	14.05	4.78	62.15	12.40	1.03	31.00	1.03	66.37	34.40	-31.97	0.00	0.00	34.40
NOVIEMBRE	13.30	4.40	58.06	12.70	1.06	30.00	1.00	61.46	75.00	13.54	13.54	13.54	61.46
DICIEMBRE	13.88	4.69	61.19	12.80	1.07	31.00	1.03	67.47	125.60	58.13	71.67	58.13	67.47
ANUAL		46.50	627.76					645.76	654.40				540.33
				a=	1.22681								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 64. Clasificación de Thornthwaite para el año 1997

pp anual	654.40
d=	105.43
s=	114.07
l _h =	17.66
l _a =	16.33
l _m =	7.87
%	26.33%

$$C_2 r B_1 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 65. Datos y ETR del año 2000

MESES DEL AÑO 2000	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.52	4.01	54.40	12.80	1.07	31.00	1.03	59.97	106.90	46.93	46.93	46.93	59.97
FEBRERO	12.39	3.95	53.75	12.50	1.04	29.00	0.97	54.12	141.70	87.58	100.00	53.07	54.12
MARZO	11.73	3.64	50.26	12.20	1.02	31.00	1.03	52.80	111.60	58.80	100.00	0.00	52.80
ABRIL	11.57	3.56	49.42	11.80	0.98	30.00	1.00	48.60	16.10	-32.50	67.50	-32.50	48.60
MAYO	11.66	3.60	49.91	11.60	0.97	31.00	1.03	49.85	16.30	-33.55	33.96	-33.55	49.85
JUNIO	11.64	3.60	49.82	11.40	0.95	30.00	1.00	47.32	3.80	-43.52	0.00	-33.96	37.76
JULIO	10.35	3.01	43.16	11.50	0.96	31.00	1.03	42.73	10.00	-32.73	0.00	0.00	10.00
AGOSTO	11.62	3.59	49.72	11.70	0.98	31.00	1.03	50.09	36.40	-13.69	0.00	0.00	36.40
SEPTIEMBRE	12.73	4.11	55.50	12.00	1.00	30.00	1.00	55.50	17.60	-37.90	0.00	0.00	17.60
OCTUBRE	12.78	4.14	55.78	12.40	1.03	31.00	1.03	59.56	68.80	9.24	9.24	9.24	59.56
NOVIEMBRE	13.21	4.35	58.06	12.70	1.06	30.00	1.00	61.45	31.70	-29.75	0.00	-9.24	40.94
DICIEMBRE	12.82	4.16	56.00	12.80	1.07	31.00	1.03	61.75	114.80	53.05	53.05	53.05	61.75
ANUAL		45.72	625.78					643.75	675.70				529.34
				a=	1.21506								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 66. Clasificación de Thornthwaite para el año 2000

pp anual	675.70
d=	114.41
s=	146.36
l _h =	22.74
l _a =	17.77
l _m =	12.07
%	25.92%

$$C_2SB_1'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 67. Datos y ETR del año 2010

MESES DEL AÑO 2010	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.55	4.52	57.67	12.80	1.07	31.00	1.03	63.57	173.60	110.03	110.03	110.03	63.57
FEBRERO	13.76	4.63	58.80	12.50	1.04	28.00	0.93	57.17	86.30	29.13	100.00	-10.03	57.17
MARZO	13.97	4.74	59.94	12.20	1.02	31.00	1.03	62.97	108.30	45.33	100.00	0.00	62.97
ABRIL	13.26	4.38	56.09	11.80	0.98	30.00	1.00	55.15	41.30	-13.85	86.15	-13.85	55.15
MAYO	12.27	3.89	50.82	11.60	0.97	31.00	1.03	50.75	1.10	-49.65	36.50	-49.65	50.75
JUNIO	11.03	3.31	44.37	11.40	0.95	30.00	1.00	42.15	6.40	-35.75	0.75	-35.75	42.15
JULIO	10.63	3.13	42.36	11.50	0.96	31.00	1.03	41.95	4.80	-37.15	0.00	-0.75	5.55
AGOSTO	11.12	3.35	44.84	11.70	0.98	31.00	1.03	45.17	1.00	-44.17	0.00	0.00	1.00
SEPTIEMBRE	12.77	4.13	53.47	12.00	1.00	30.00	1.00	53.47	6.70	-46.77	0.00	0.00	6.70
OCTUBRE	13.73	4.61	58.62	12.40	1.03	31.00	1.03	62.60	48.80	-13.80	0.00	0.00	48.80
NOVIEMBRE	13.63	4.57	58.11	12.70	1.06	30.00	1.00	61.51	25.40	-36.11	0.00	0.00	25.40
DICIEMBRE	12.80	4.15	53.65	12.80	1.07	31.00	1.03	59.15	100.20	41.05	41.05	41.05	59.15
ANUAL		49.42	638.74					655.61	603.90				478.37
				a=	1.27113								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 68. Clasificación de Thornthwaite para el año 2010

pp anual	603.90
d=	177.24
s=	125.53
lh=	19.15
la=	27.03
lm=	2.93
%	28.02%

$$C_2SB_1'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 69. Datos y ETR del año 2015

MESES DEL AÑO 2015	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	12.90	4.20	54.89	12.80	1.07	31.00	1.03	60.51	101.10	40.59	40.59	40.59	60.51
FEBRERO	12.95	4.22	55.18	12.50	1.04	28.00	0.93	53.65	171.20	117.55	100.00	59.41	53.65
MARZO	13.05	4.27	55.69	12.20	1.02	31.00	1.03	58.51	80.30	21.79	100.00	0.00	58.51
ABRIL	12.48	3.99	52.69	11.80	0.98	30.00	1.00	51.81	101.60	49.79	100.00	0.00	51.81
MAYO	11.96	3.74	49.92	11.60	0.97	31.00	1.03	49.86	8.00	-41.86	58.14	-41.86	49.86
JUNIO	10.76	3.19	43.76	11.40	0.95	30.00	1.00	41.56	24.00	-17.56	40.58	-17.56	41.56
JULIO	10.29	2.98	41.37	11.50	0.96	31.00	1.03	40.97	9.80	-31.17	9.41	-31.17	40.97
AGOSTO	11.48	3.52	47.45	11.70	0.98	31.00	1.03	47.81	8.00	-39.81	0.00	-9.41	17.41
SEPTIEMBRE	13.50	4.50	58.11	12.00	1.00	30.00	1.00	58.11	52.70	-5.41	0.00	0.00	52.70
OCTUBRE	13.85	4.67	60.00	12.40	1.03	31.00	1.03	64.07	52.20	-11.87	0.00	0.00	52.20
NOVIEMBRE	13.61	4.55	58.73	12.70	1.06	30.00	1.00	62.16	90.30	28.14	28.14	28.14	62.16
DICIEMBRE	13.20	4.35	56.49	12.80	1.07	31.00	1.03	62.29	125.20	62.91	91.05	62.91	62.29
ANUAL		48.19	634.28					651.29	824.40				603.62
				a=	1.25248								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 70. Clasificación de Thornthwaite para el año 2015

pp anual	824.40
d=	47.67
s=	220.78
l _h =	33.90
l _a =	7.32
l _m =	29.51
%	26.51%

$$B_1 r B_2 'a'$$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 71. Datos y ETR del año 2021

MESES DEL AÑO 2021	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	INDICE TERMICO MENSUAL(i)	ETP sin corregir	N	N/12	Nº DE DIAS POR MES	d/30	ETP (mm/mes)	PRECIPITACION	Δ pp y ETP	RESERVA	VARIACION DE LA RESERVA	ETR
ENERO	13.62	4.56	58.11	12.80	1.07	31.00	1.03	64.06	131.60	67.54	67.54	67.54	64.06
FEBRERO	13.35	4.42	56.63	12.50	1.04	28.00	0.93	55.05	30.30	-24.75	42.79	-24.75	55.05
MARZO	13.09	4.29	55.26	12.20	1.02	31.00	1.03	58.05	128.10	70.05	100.00	57.21	58.05
ABRIL	12.76	4.13	53.46	11.80	0.98	30.00	1.00	52.57	42.40	-10.17	89.83	-10.17	52.57
MAYO	11.53	3.54	47.02	11.60	0.97	31.00	1.03	46.96	19.00	-27.96	61.87	-27.96	46.96
JUNIO	11.40	3.48	46.34	11.40	0.95	30.00	1.00	44.02	19.40	-24.62	37.25	-24.62	44.02
JULIO	10.32	3.00	40.85	11.50	0.96	31.00	1.03	40.44	0.00	-40.44	0.00	-37.25	37.25
AGOSTO	11.87	3.70	48.78	11.70	0.98	31.00	1.03	49.15	35.60	-13.55	0.00	0.00	35.60
SEPTIEMBRE	12.75	4.12	53.42	12.00	1.00	30.00	1.00	53.42	39.60	-13.82	0.00	0.00	39.60
OCTUBRE	14.09	4.80	60.68	12.40	1.03	31.00	1.03	64.79	51.30	-13.49	0.00	0.00	51.30
NOVIEMBRE	13.50	4.50	57.44	12.70	1.06	30.00	1.00	60.80	100.70	39.90	39.90	39.90	60.80
DICIEMBRE	14.05	4.78	60.42	12.80	1.07	31.00	1.03	66.62	50.40	-16.22	23.67	-16.22	66.62
ANUAL		49.33	638.42					655.94	648.40				611.89
				a=	1.26974								

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 72. Clasificación de Thornthwaite para el año 2021

pp anual	648.40
d=	44.05
s=	36.51
lh=	5.57
la=	6.72
lm=	1.54
%	27.01%

$C_2rB_1'a'$

Fuente. Elaboración Propia