



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

### DINÁMICA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL ÁREA DEL LAGO TITICACA Y EN LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LOS EPISODIOS DE SEQUÍA EN LA REGIÓN DE PUNO

PRESENTADA POR:

CARLOS CARCAUSTO QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2024

## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DINÁMICA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL ÁREA DEL LAGO TITICACA Y EN LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LO**

AUTOR

**CARLOS CARCAUSTO QUISPE**

RECUENTO DE PALABRAS

**21506 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**116802 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**103 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**302.3KB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 21, 2024 2:33 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 21, 2024 2:35 PM GMT-5**

### ● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
Alicia Magaly Leon Tacca  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL  
CIP. 101611



Resumen



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y AMBIENTE

#### TESIS

### DINÁMICA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL ÁREA DEL LAGO TITICACA Y EN LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LOS EPISODIOS DE SEQUÍA EN LA REGIÓN DE PUNO



PRESENTADA POR:

CARLOS CARCAUSTO QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:


DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADO POR EL JURADO SIGUIENTE:

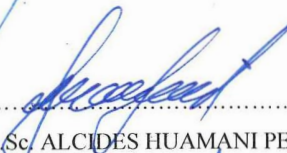
PRESIDENTE:

  
.....  
D.Sc. AUDBERTO MILLONES CHAFLOQUE

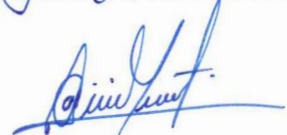
PRIMER MIEMBRO:

  
.....  
D.Sc. OSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA

SEGUNDO MIEMBRO:

  
.....  
D.Sc. ALCIDES HUAMANI PERALTA

ASESOR DE TESIS:

  
.....  
Dra. ALICIA MAGALY LEON TACCA

Puno, 26 de enero de 2024

AREA: Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Dinámica de la evapotranspiración en el área del lago Titicaca y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la región de Puno.

LÍNEA: Física – Matemática



## DEDICATORIA

A Marisol, mi amor eterno, y a mis amados hijos Carlos Alejandro y Abigail, quienes llenan mi vida de alegría y significado. Su amor y apoyo son la inspiración detrás de cada logro. Con gratitud infinita.



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi guía divina, agradezco por la fortaleza y sabiduría en este camino académico.  
A mi dedicado asesor, cuyos consejos fueron fundamentales. A mi amada esposa y familia, su apoyo incondicional fue mi mayor motivación. Con gratitud sincera.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	2
1.1.1 Clima	2
1.1.2 Evapotranspiración	5
1.1.3 Método de Hargreaves	7
1.1.4 Método de Turc	8
1.1.5 Modelo de Makkink	8
1.1.6 Modelo de Priestley - Taylor	9
1.1.7 Modelo Irmak	10
1.1.8 Modelo de Jensen – Haise	10
	iii



1.1.9 Modelo de abtew	11
1.1.10 Evaporación	11
1.1.11 Cálculo de la evaporación anual por Penman	12
1.1.12 Transpiración	14
1.1.13 Modelo matemático para calcular la transpiración	14
1.1.14 Sequía	15
1.1.15 Factores Atmosféricos	18
1.1.16 Temperatura	18
1.1.17 Precipitación	19
1.1.18 Humedad Relativa	20
1.1.19 Radiación Solar	21
1.1.20 Modelo Angstrom – Prescott	22
1.1.21 Modelo de Hargreaves - Samani	23
1.1.22 Modelo de Liu - Jordán	23
1.1.23 Modelo de Bristow - Campbell	24
1.1.24 Velocidad del Viento	24
1.1.25 Región de Puno y el Lago Titicaca	25
1.2 Antecedentes	26

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	36
2.2 Enunciados del problema	37



2.3 Justificación	37
2.4 Objetivos	38
2.4.1 Objetivo general	38
2.4.2 Objetivos específicos	38
2.5 Hipótesis	38
2.5.1 Hipótesis general	38
2.5.2 Hipótesis específicas	38

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Lugar de estudio	40
3.2 Población	40
3.3 Muestra	40
3.4 Método de investigación	41
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	42

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXO	68





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Valores e interpretación del SPI	18
2. Temperatura media mensual	43
3. Temperatura media mensual y precipitación año 2023	46
4. Velocidad del viento media mensual y evapotranspiración media mensual de año 2023	47
5. Velocidad del viento media mensual del año 2023	48
6. Tabla de interpretación de los colores	49
7. Resultados obtenidos utilizando valores medios mensuales de la humedad relativa y Evapotranspiración.	50



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Resultados obtenidos utilizando valores medios mensuales y diarios	45
2. Temperatura media mensual y evapotranspiración correspondiente del año 2023.	52
3. Precipitación media mensual y temperatura media mensual del año 2023.	53
4. Velocidad media mensual en relación de la evapotranspiración media mensual.	54
5. Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI)	55
6. Relación de la humedad relativa y la evapotranspiración.	56



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Datos del mes de enero (SENAMHI, 2023)	68
2. Datos del mes de febrero (SENAMHI, 2023)	70
3. Datos del mes de marzo (SENAMHI, 2023)	72
4. Datos del mes de abril (SENAMHI, 2023)	74
5. Datos del mes de mayo (SENAMHI, 2023)	76
6. Datos del mes de junio (SENAMHI, 2023)	78
7. Datos del mes de julio (SENAMHI, 2023)	80
8. Datos del mes de agosto (SENAMHI, 2023)	82
9. Datos del mes de septiembre (SENAMHI, 2023)	84
10. Datos del mes de octubre (SENAMHI, 2023)	86
11. Datos del mes de noviembre (SENAMHI, 2023)	87
12. Datos del mes de diciembre (SENAMHI, 2023)	89

## RESUMEN

Este estudio analiza la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y su relación con la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno. La metodología empleada se clasifica como aplicada y correlacional, con un enfoque descriptivo para examinar la posible influencia de factores atmosféricos, como temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, en la evapotranspiración. Los hallazgos destacan una fuerte correlación (coeficiente de 0.9626) entre la temperatura atmosférica media mensual y la evapotranspiración, revelando que aproximadamente el 96.26% de la variabilidad en la evapotranspiración puede explicarse por las variaciones en la temperatura atmosférica. Se observa una variabilidad estacional, con marzo registrando la temperatura más alta y una precipitación significativa, mientras que junio exhibe condiciones más frescas con una disminución en la precipitación. Se introduce el Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI), que proporciona una representación detallada de las fluctuaciones en la disponibilidad de precipitación a lo largo del tiempo. Este índice abarca desde condiciones extremadamente secas hasta húmedas, permitiendo una comprensión profunda de los patrones de sequía en la región. En relación con la humedad relativa del aire, se encuentra una correlación extremadamente baja de 0.0002 con la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca, indicando una relación prácticamente inexistente. Menos del 0.02% de la variabilidad en la evapotranspiración puede atribuirse a la humedad relativa del aire, sugiriendo que este factor tiene una influencia mínima en los patrones de evapotranspiración en la Región de Puno.

**Palabras clave:** Cambio climático, evapotranspiración, factores atmosféricos, Lago Titicaca, sequía.



## ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of evapotranspiration in the Lake Titicaca area and its relationship with the frequency and intensity of drought episodes in the Puno Region. The methodology employed is classified as applied and correlational, with a descriptive approach to examine the possible influence of atmospheric factors such as temperature, solar radiation, relative humidity, and wind speed on evapotranspiration. The findings highlight a strong correlation (coefficient of 0.9626) between the monthly average atmospheric temperature and evapotranspiration, revealing that approximately 96.26% of the variability in evapotranspiration can be explained by variations in atmospheric temperature. Seasonal variability is observed, with March recording the highest temperature and significant precipitation, while June exhibits cooler conditions with a decrease in precipitation. The Standardized Precipitation Index (SPI) is introduced, providing a detailed representation of fluctuations in precipitation availability over time. This index spans from extremely dry to wet conditions, allowing for a deep understanding of drought patterns in the region. Regarding relative humidity, an extremely low correlation of 0.0002 with evapotranspiration in the Lake Titicaca area is found, indicating a practically nonexistent relationship. Less than 0.02% of the variability in evapotranspiration can be attributed to relative humidity, suggesting that this factor has minimal influence on evapotranspiration patterns in the Puno Region.

**Keywords:** Climate change, evapotranspiration, atmospheric factors, Lake Titicaca, drought.



## INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y su relación con la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno. Este problema de investigación reviste una gran importancia, al contribuir al entendimiento de los impactos del cambio climático en una región vital. Enmarcado dentro del área de investigación ambiental, la línea de hidrología y el tema de cambio climático, este estudio se alinea con los objetivos de los programas de la Escuela de Posgrado. El propósito de la investigación fue analizar la influencia de factores atmosféricos, como la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, en la evapotranspiración y su conexión con la sequía en la mencionada región. Se emplearán métodos de recopilación de datos de estaciones meteorológicas, índices de sequía reconocidos y técnicas de modelado climático.

La estructura del informe comprenderá la introducción, revisión de literatura, metodología, resultados, discusión y conclusiones, proporcionando una visión integral y detallada de la investigación.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Clima

El concepto de clima abarca mucho más que una simple descripción de las condiciones atmosféricas en un área específica. En realidad, se refiere al conjunto complejo y dinámico de los estados del tiempo atmosférico que se manifiestan de manera recurrente en una región determinada, proporcionando así una identidad distintiva a dicho lugar. Este fenómeno climático no solo implica la observación y registro de variables como temperatura, humedad, viento y precipitación, sino que también involucra un análisis más profundo de los patrones climáticos a largo plazo, así como de las interacciones entre la atmósfera, los océanos, la tierra y la biota. Además, el clima tiene un impacto significativo en la geografía, la flora, la fauna, la economía y la cultura de una región, moldeando tanto su paisaje físico como su estructura social. Por lo tanto, el estudio del clima no solo nos permite comprender la variabilidad y las tendencias a largo plazo en las condiciones atmosféricas, sino que también nos proporciona una visión más profunda de la compleja relación entre el medio ambiente y la sociedad humana en un contexto regional específico. (Jiménez et al., 2004)

Un climograma es una representación gráfica que muestra de manera simultánea la temperatura media mensual, representada mediante una línea, y el promedio de precipitaciones mensuales, representado mediante barras verticales, a lo largo de los doce meses del año. Estos datos se basan en valores climatológicos promediados durante un período estándar de 30 años. La construcción de un

climograma proporciona una visualización clara y concisa de las variaciones estacionales en la temperatura y las precipitaciones, lo que facilita la comprensión de los patrones climáticos a lo largo del tiempo. Este tipo de representación gráfica es ampliamente utilizada en estudios climáticos y meteorológicos para analizar y comparar las condiciones climáticas de diferentes regiones. (Jiménez et al., 2004)

Después de examinar detenidamente todos los detalles concernientes a la temperatura y la precipitación a través del análisis del climograma, seremos capaces de determinar el tipo de clima presente en nuestra área de estudio. Además, podremos establecer posibles ubicaciones geográficas relacionadas y comprender las características meteorológicas predominantes en esa región. El climograma nos ofrece una herramienta visual que nos permite identificar patrones climáticos a lo largo del año, lo que resulta fundamental para comprender el clima local y sus posibles influencias en diferentes aspectos, desde la agricultura hasta el turismo. Este análisis profundo nos proporcionará una visión más completa y precisa de las condiciones climáticas de la zona en estudio. (Jiménez et al., 2004)

La amplia variedad de climas que caracterizan las distintas regiones de nuestro planeta surge de la interacción de una serie de factores conocidos como controladores del clima. Estos factores pueden ser tanto externos, como los factores astronómicos (distancia entre la Tierra y el Sol, inclinación del eje de rotación de la Tierra, actividad solar), como internos, como las características geográficas (latitud, distribución tierra-mar, orografía, corrientes oceánicas) y meteorológicas (ubicación de los principales centros de bajas y altas presiones, vientos predominantes, etc.) de las diferentes zonas de la Tierra., Uno de los factores astronómicos más relevantes es la distancia entre la Tierra y el Sol. La Tierra órbita alrededor del Sol en una elipse cuya excentricidad varía con el tiempo, aunque actualmente es casi circular. Esta órbita lleva a la Tierra a una distancia promedio de aproximadamente 150 millones de kilómetros del Sol, pero debido a la elipse, esta distancia varía ligeramente a lo largo del año. En enero, la Tierra se encuentra más cerca del Sol (unos 147 millones de kilómetros), mientras que en julio se encuentra más alejada (unos 152 millones de kilómetros). Aunque podría pensarse que en el hemisferio norte, donde nos encontramos, el clima más cálido debería ocurrir en enero y el más frío en julio debido a esta variación en la



distancia al Sol, esto no sucede así. La causa principal de las estaciones no radica en la proximidad al Sol, sino en otros factores como la inclinación de los rayos solares y la duración de la exposición solar en un punto específico de la Tierra. (Jiménez et al., 2004)

La radiación solar que llega a la superficie terrestre sigue un comportamiento similar. En áreas donde los rayos solares inciden perpendicularmente a la superficie, se recibe una mayor cantidad de energía por metro cuadrado, lo que resulta en temperaturas más altas. Por el contrario, en zonas donde la radiación solar llega con una inclinación mayor, la misma cantidad de energía se distribuye en un área más grande, lo que resulta en un calentamiento menor por unidad de superficie.

Los rayos solares que atraviesan la atmósfera también experimentan cambios. Antes de llegar al suelo, deben pasar por esta capa atmosférica, donde sufren procesos de dispersión y absorción, lo que los debilita. Por lo tanto, cuanto más inclinados estén los rayos solares, mayor será la distancia que deben recorrer a través de la atmósfera, lo que significa que llegarán al suelo con una intensidad menor. (Jiménez et al., 2004)

El segundo factor significativo que influye en el calentamiento de la superficie terrestre es la duración del día, es decir, el número de horas de luz solar que abarca un día. Cuanto más largo sea el día, mayor cantidad de energía solar estará disponible para llegar a la superficie y calentarla. Este fenómeno contribuye a que los días de verano, con su mayor duración, sean más cálidos que los días de invierno, que son más cortos en términos de luz solar. Además, durante el verano, el Sol alcanza una altura mayor en el cielo en comparación con el invierno. Esta variación se debe a la inclinación del eje de rotación de la Tierra, que está inclinado aproximadamente 23,5 grados con respecto a la perpendicular al plano de su órbita. Esta inclinación resulta en que durante el verano, el hemisferio correspondiente esté más orientado hacia el Sol, recibiendo así una mayor cantidad de luz solar, mientras que durante el invierno, ese hemisferio se aleja del Sol, recibiendo menos luz solar directa. Esta misma dinámica ocurre de manera inversa en el hemisferio opuesto. (Jiménez et al., 2004)

### 1.1.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso mediante el cual el agua se evapora desde la superficie de la tierra y se transpira por las plantas hacia la atmósfera. Este proceso es una parte esencial del ciclo hidrológico y desempeña un papel fundamental en la redistribución del agua en la atmósfera y en la disponibilidad de agua dulce en las regiones terrestres. La evapotranspiración se ve influenciada por factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, que afectan la cantidad de agua que se evapora de la superficie y la cantidad que se transpira por las plantas, según La Evapotranspiración (ETP). es la razón de la cantidad de humedad que la atmósfera da a la superficie la cual proporciona agua, por lo cual los límites dependen de la energía disponible en el área de estudio (Rios, 2021)

Para la evaluación de la evapotranspiración, se emplean diversos métodos, entre los cuales se destacan los enfoques de Blaney-Criddle, Turc, Penman y Thornthwaite. Estos métodos se fundamentan en el uso de fórmulas que establecen la relación entre la evapotranspiración potencial (ETP) y factores climáticos, que varían en su complejidad y abarcan la temperatura, precipitación, radiación solar incidente, velocidad del viento, entre otros. En virtud de que estos métodos son generalmente reconocidos y conocidos, no se considera necesario proporcionar una explicación detallada de cada uno. No obstante, se presentará una descripción más detallada del método de Thornthwaite, dado que es comúnmente empleado en hidrogeología. Este método calcula un índice de calor mensual ( $i$ ) a partir de las temperaturas, lo cual se utilizará como referencia principal para el análisis. (Montaner y Sánchez, 1988)

$$i = (t/5)^{1.514}$$

Donde:

$i$  = es el índice de calor mensual

$t$  = es la temperatura media mensual

obteniendo el índice de calor anual ( $I$ ) como la suma de los 12 valores del índice de calor mensual para meses teóricos de 30 días y 12 horas diarias de sol.

$$I = \sum i$$

Donde:

I = índice de calor anual.

A partir de estos datos se propone la formula:

$$ETP = 1.6(10t/I)^a$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial mensual no corregida en mm/día.

a = función compleja de I igual a:

$$a = 675x10^{-9}I^3 - 771x10^{-7}I^2 + 1.972x10^{-5}I + 0.49239$$

t= temperatura media mensual en °C

corrección para n° días del mes y n° de horas de sol

$$ETP = ETP_{sin\ corr} \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right)$$

ETP = evapotranspiración potencial corregida.

N= Número máximo de horas de sol, depende del mes y la latitud (tabla 2), para la cual se necesita hallar “N” y “d”:

$$\text{Si } f = \frac{N}{12}$$

Donde:

f = Factor de reducción

d = Número de días del mes (se coloca el número de días correspondiente a cada mes hasta completar los 12).

Existen numerosos factores y variables que influyen en el proceso de evapotranspiración, divididos en extrínsecos e intrínsecos. Entre los factores extrínsecos se incluyen la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura

y humedad del aire. Por otro lado, los factores intrínsecos abarcan el albedo, la emisividad de la superficie, la rugosidad del suelo, el tipo de vegetación, la ubicación geográfica, el tipo de suelo y el contenido de agua en el suelo. Se estima que a nivel global, la evapotranspiración anual se sitúa aproximadamente cerca de cien billones de metros cúbicos por año, siendo este componente el más significativo del ciclo hidrológico después de la precipitación (Irmak, 2012). Por lo tanto, la evapotranspiración desempeña un papel crucial al vincular el ciclo hidrológico y el balance de energía superficial, manteniendo niveles adecuados de energía y humedad en el sistema suelo-atmósfera a través de la transferencia de masa y energía.

El concepto de evapotranspiración abarca cuatro definiciones distintas. La Evapotranspiración Potencial (ETP) se refiere a la máxima cantidad de agua que podría evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación en condiciones óptimas y sin limitaciones en el suministro de agua. Por otro lado, la Evapotranspiración Real (ETR) representa la evaporación que tiene lugar en condiciones reales, considerando que la cobertura vegetal puede no ser completa y el suelo no estar saturado. La Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) corresponde a la tasa de evapotranspiración de un cultivo estándar de 8 a 15 cm de altura, con un crecimiento uniforme y activo, que cubre completamente el suelo y no enfrenta escasez de agua. (Martinez, 2018)

### 1.1.3 Método de Hargreaves

El método de Hargreaves es una técnica simplificada para estimar la evapotranspiración potencial basada en datos climáticos, especialmente la temperatura y la radiación solar. (Azua Barron et al., 2020); El modelo matemático del método de Hargreaves se expresa de la siguiente manera:

$$ET_{\text{Hargreaves}} = 0.0023 \cdot Ra \cdot (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) \cdot T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$$

Donde:

$ET_{\text{Hargreaves}}$  es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).

$Ra$  es la radiación extraterrestre diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

- $T_{\text{max}}$  es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).

- $T_{\min}$  es la temperatura mínima diaria del aire (en °C).

La radiación extraterrestre diaria ( $R_a$ ) se puede calcular utilizando la ecuación de Hargreaves-Samani, que es una función de la radiación solar diaria y la latitud del lugar.

#### 1.1.4 Método de Turc

El método de Turc es otra técnica utilizada para estimar la evapotranspiración potencial basada en datos climáticos. El modelo matemático del método de Turc se expresa de la siguiente manera:

$$ET_{\text{Turc}} = 0.0013 \cdot R_a \cdot (T_{\max} - T_{\min} - \Delta) \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0.6}$$

Donde:

$ET_{\text{Turc}}$  es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).

$R_a$  es la radiación extraterrestre diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

$T_{\max}$  es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).

$T_{\min}$  es la temperatura mínima diaria del aire (en °C).

$\Delta$  es el déficit de presión de vapor, calculado como la diferencia entre la presión de vapor de saturación a la temperatura mínima y la presión de vapor de saturación a la temperatura máxima (en kPa).

La radiación extraterrestre diaria ( $R_a$ ) se puede calcular utilizando una fórmula específica basada en la latitud y la declinación solar. (Azua Barron et al., 2020)

#### 1.1.5 Modelo de Makkink

El modelo de Makkink es un método utilizado para estimar la evapotranspiración potencial basado en datos climáticos como la radiación solar y la temperatura del aire. Aquí está el modelo matemático del método de Makkink:

$$ET_{\text{Makkink}} = \frac{0.65\Delta}{\Delta + \gamma} R_n$$

Donde:

$ET_{Makkink}$  es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).

$\Delta$  es el déficit de presión de vapor (en kPa), dado por la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor actual.

$\gamma$  es la constante psicométrica (en kPa/°C).

$R_n$  es la radiación neta disponible (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

La radiación neta disponible ( $R_n$ ) se puede calcular como la diferencia entre la radiación solar incidente y el calor almacenado en el suelo y otros componentes. (Jacobs y De Bruin, 1998)

### 1.1.6 Modelo de Priestley - Taylor

El modelo de Priestley-Taylor es un método ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración potencial basado en datos climáticos, como la radiación solar y la temperatura del aire. Aquí está el modelo matemático del método de Priestley-Taylor:

$$ET_{pT} = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n$$

Donde:

- $ET_{PT}$  es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).
- $\alpha$  es el coeficiente de Priestley-Taylor, que tiene un valor típicamente entre 1.2 y 1.5.
- $\Delta$  es el déficit de presión de vapor (en kPa), dado por la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor actual.
- $\gamma$  es la constante psicométrica (en kPa/°C).
- $R_n$  es la radiación neta disponible (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

La radiación neta disponible ( $R_n$ ) se puede calcular como la diferencia entre la radiación solar incidente y el calor almacenado en el suelo y otros componentes. (Priestley & Taylor, 1972)

### 1.1.7 Modelo Irmak

El Dr. Suat Irmak es un investigador reconocido en el campo de la hidrología y la agricultura, particularmente en el estudio de la evapotranspiración. Uno de los modelos desarrollados por él es el "Irmak et al. Crop Evapotranspiration Model" o simplemente "Modelo Irmak". Este modelo tiene como objetivo estimar la evapotranspiración de cultivos utilizando datos climáticos y características específicas del cultivo. Aquí está el modelo matemático de forma simplificada:

$$ET_{Irmak} = K \cdot ETo \cdot Kc$$

Donde:

- $ET_{Irmak}$  es la evapotranspiración del cultivo (en mm/día).
- $ETo$  es la evapotranspiración de referencia (en mm/día), que puede ser calculada utilizando métodos como el de Penman-Monteith.
- $Kc$  es el coeficiente del cultivo, que refleja la etapa de desarrollo del cultivo y sus características específicas.
- $K$  es un coeficiente de ajuste que puede variar según las condiciones locales y el tipo de cultivo. (Azua Barron et al., 2020)

### 1.1.8 Modelo de Jensen – Haise

El modelo de Jensen-Haise es un método ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración potencial basado en datos climáticos como la temperatura y la radiación solar. Aquí está el modelo matemático del método de Jensen-Haise:

$$ET = K \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \frac{R_a}{2}$$

Donde:

- $ET_{JH}$  es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).
- $K$  es un coeficiente de ajuste que varía según la región y las condiciones climáticas.
- $T_{max}$  es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).

- T<sub>min</sub> es la temperatura mínima diaria del aire (en °C).
- R<sub>a</sub> es la radiación extraterrestre diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

La radiación extraterrestre diaria (R<sub>a</sub>) se puede calcular utilizando ecuaciones específicas que tienen en cuenta la latitud del lugar y la declinación solar. (Azua Barron et al., 2020)

### 1.1.9 Modelo de abtew

El modelo de Abtew es un enfoque para estimar la evapotranspiración potencial basado en datos climáticos, como la temperatura y la radiación solar. Aquí está el modelo matemático del método de Abtew:

$$ET_{Abtew} = 0.006 \cdot R_a \cdot (T_{max} + T_{min})$$

Donde:

ET<sub>Abtew</sub> es la evapotranspiración potencial estimada (en mm/día).

R<sub>a</sub> es la radiación extraterrestre diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

T<sub>max</sub> es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).

T<sub>min</sub> es la temperatura mínima diaria del aire (en °C).

La radiación extraterrestre diaria (R<sub>a</sub>) se puede calcular utilizando ecuaciones específicas que tienen en cuenta la latitud del lugar y la declinación solar. (Azua Barron et al., 2020)

### 1.1.10 Evaporación

Según La evaporación es un proceso físico fundamental mediante el cual una sustancia pasa del estado líquido al gaseoso sin necesidad de alcanzar su punto de ebullición. Este fenómeno ocurre en la superficie de un líquido y puede tener lugar a cualquier temperatura, siendo caracterizado por su gradualidad y lentitud.

Para que tenga lugar la evaporación, es esencial aplicar calor al líquido. A medida que se incrementa la temperatura, las moléculas presentes en el líquido se mueven con mayor rapidez. Cuando estas moléculas alcanzan una energía cinética suficientemente alta, las fuerzas de cohesión entre ellas se vencen, permitiendo



que algunas moléculas en la superficie se desprendan y se conviertan en vapor. Este proceso es crucial en el sistema de intercambio de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, influyendo en los cambios climáticos y meteorológicos globales. Diversos factores como la temperatura, la velocidad del viento, la humedad atmosférica y la radiación solar inciden en la tasa de evaporación.

La evaporación constituye uno de los procesos fundamentales en el ciclo del agua en la Tierra, junto con la condensación, la precipitación y la escorrentía. Este ciclo implica la transformación del agua entre sus tres estados de la materia: sólido (como en glaciares y polos), líquido (presente en mares y océanos) y gaseoso (vapor de agua en la atmósfera). El vapor de agua generado por la evaporación contribuye a la formación de nubes, las cuales devuelven el agua a la superficie terrestre en forma de precipitación, ya sea en forma de lluvia o nieve, completando así el ciclo hidrológico. (Yoon, 2014).

la evaporación está influenciada por varios factores, siendo la insolación o radiación solar el principal determinante, al ser la fuente de energía para este proceso. Este factor se considera constante al analizar la evaporación a lo largo del año. Además, la temperatura y la humedad atmosférica juegan un papel crucial al facilitar la evaporación, mientras que el viento remueve el aire cercano a la superficie de evaporación, especialmente cuando está saturado, lo que aumenta la evaporación. La combinación de baja humedad atmosférica y viento resulta en una mayor evaporación. Asimismo, el volumen y la profundidad de la masa de agua afectan la evaporación debido al efecto de calentamiento que ejercen sobre la misma. Otros factores relevantes que influyen en la evaporación incluyen las características de la superficie evaporante, la presión atmosférica y la salinidad. Existen diversos métodos para calcular la evaporación, algunos de los cuales utilizan estimaciones y otros emplean equipos y ecuaciones con datos reales para realizar una medición más precisa. (Becerra et al., 2022)

### **1.1.11 Cálculo de la evaporación anual por Penman**

Según (Monteith, 1965) el método de Penman para el cálculo de la evaporación potencial anual implica el uso de varias variables físicas y coeficientes empíricos. Aquí están las fórmulas físicas involucradas en el cálculo:

Radiación Solar ( $R_s$ ): La radiación solar incidente sobre la superficie se puede calcular utilizando fórmulas específicas basadas en la latitud, la estación del año y la hora del día.

Temperatura del Aire ( $T$ ): Se requiere la temperatura del aire, medida en grados Celsius o Kelvin, para calcular la evaporación potencial.

Humedad Relativa ( $RH$ ): Se necesita la humedad relativa del aire, expresada como un porcentaje, para calcular la evaporación potencial.

Velocidad del Viento ( $v$ ): La velocidad del viento, medida en metros por segundo, es necesaria para determinar la transferencia de masa de vapor de agua desde la superficie de evaporación hacia la atmósfera.

Presión de Vapor de Agua ( $e$ ): La presión de vapor de agua en la atmósfera se puede calcular utilizando la ecuación de vapor de agua de Antoine o mediante tablas de vapor de agua.

Densidad del Aire ( $\rho$ ): La densidad del aire se puede calcular utilizando la ecuación de estado del aire ideal o mediante aproximaciones empíricas.

Calor Latente de Vaporización ( $\lambda$ ): Es la cantidad de energía requerida para convertir un kilogramo de agua líquida en vapor a una temperatura dada. Su valor es de aproximadamente  $2.26 \times 10^6$  J/kg.

Coefficientes de Transferencia de Calor y Masa: Se utilizan coeficientes empíricos para estimar la transferencia de calor y masa desde la superficie de evaporación hacia la atmósfera. Estos coeficientes pueden variar según las condiciones ambientales y la superficie específica.

La fórmula general de Penman para calcular la evaporación potencial es una combinación de estas variables y coeficientes empíricos:

$$\text{Evaporación potencial (E)} = \frac{(\text{Radiación neta} - \text{Calor del suelo}) + (\rho * \lambda * (e_s - e_a))}{(\rho * \lambda + \Delta * (1 + 0.34 * v))}$$

Donde:

- $R_s$  es la radiación solar neta.

- $T$  es la temperatura del aire.
- $RH$  es la humedad relativa.
- $v$  es la velocidad del viento.
- $e_s$  es la presión de vapor de saturación.
- $e_a$  es la presión de vapor de agua actual.
- $\Delta$  es el gradiente de temperatura de saturación del vapor.
- $\rho$  es la densidad del aire.
- $\lambda$  es el calor latente de vaporización.

Estas son algunas de las fórmulas físicas involucradas en el cálculo de la evaporación potencial utilizando el método de Penman. Las variables y coeficientes específicos pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales y la región geográfica.

### **1.1.12 Transpiración**

La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas absorben agua del suelo a través de sus raíces y la liberan a la atmósfera en forma de vapor a través de sus hojas. Este proceso es esencial para el funcionamiento y la supervivencia de las plantas, ya que les permite regular su temperatura interna, mantener la turgencia de sus tejidos y facilitar la absorción de nutrientes del suelo. Además, la transpiración contribuye significativamente al ciclo del agua en los ecosistemas terrestres. (Allen, 1998)

### **1.1.13 Modelo matemático para calcular la transpiración**

El modelo matemático más comúnmente utilizado para describir la transpiración de las plantas es el Modelo de Penman-Monteith. Este modelo combina la transpiración con la evapotranspiración potencial y tiene en cuenta varios factores ambientales y características de la planta. Aquí está la formulación detallada del modelo:

El Modelo de Penman-Monteith para la transpiración (ET) se expresa de la siguiente manera:

Donde:

$$ET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{900}{T + 273}\mu(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu)}$$

- ET es la tasa de transpiración (en mm/día).
- $R_n$  es la radiación neta disponible (en MJ/m<sup>2</sup>/día).
- G es el flujo de calor del suelo (en MJ/m<sup>2</sup>/día).
- T es la temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo (en °C).
- u es la velocidad del viento a 2 metros sobre el suelo (en m/s).
- $e_s$  es la presión de vapor de saturación del aire a la temperatura del aire (en kPa).
- $e_a$  es la presión de vapor actual del aire a la temperatura del aire (en kPa).
- $\Delta$  es el déficit de presión de vapor (en kPa), dado por la diferencia entre  $e_s$  y  $e_a$ .
- $\gamma$  es la constante psicométrica (en kPa/°C), que representa la relación entre la presión de vapor del aire y la temperatura del aire.

Este modelo considera la energía disponible para la evaporación/transpiración, la resistencia aerodinámica, la resistencia estomática y la resistencia a la transferencia de vapor de agua desde la hoja hasta la atmósfera (Monteith, 1965)

#### 1.1.14 Sequía

Según Tallaksen y Lanen (2004), la sequía se define como la situación en la que la disponibilidad de agua desciende por debajo de los niveles promedio naturales de manera persistente y a escala regional. Este fenómeno suele estar vinculado a un periodo prolongado de precipitaciones escasas, baja humedad del suelo o disminución en la disponibilidad de agua, en comparación con los niveles

normales esperados en una región determinada y a los que la comunidad afectada está acostumbrada. Aunque la sequía es inherente al clima, puede manifestarse tanto en regiones áridas y semiáridas como en áreas que normalmente reciben precipitaciones adecuadas, como señalan Makarau y Li (1994). La definición basada en la desviación de las condiciones normales implica que las sequías pueden ocurrir en cualquier región hidroclimatológica y en cualquier momento del año con igual probabilidad. Para fines prácticos, la sequía puede clasificarse en categorías tales como meteorológica, hidrológica, agrícola y subterránea, según propuesto por Wilhite y Glantz (1985). (Senamhi, 2017)

La sequía meteorológica surge mayormente debido a un déficit prolongado de precipitaciones que afecta extensas áreas y se expresa como una falta relativa en comparación con las condiciones climáticas normales. Este déficit de agua repercute en el ciclo hidrológico y conduce a la aparición de diversos tipos de sequías. Por otro lado, la sequía hidrológica se manifiesta cuando el déficit de precipitación se prolonga, resultando en una insuficiencia de escorrentía, aguas subterráneas o niveles de reservorios, persistiendo incluso después de que cese la sequía meteorológica. Asimismo, la sequía agrícola surge por la falta de agua en el suelo combinada con una elevada evaporación, lo que genera una humedad insuficiente para el crecimiento de los cultivos. Dado que las necesidades hídricas varían según el cultivo, no es factible establecer umbrales de sequía agrícola universales. Por último, la sequía subterránea, como una categoría independiente, se produce cuando los sistemas de aguas subterráneas sufren una reducción en las recargas, seguida por una disminución en los niveles y las descargas de aguas subterráneas debido a una recarga insuficiente en los acuíferos. (Senamhi, 2017)

La sequía se refiere a un período prolongado de déficit de precipitación que resulta en una escasez de agua en comparación con la demanda normal de una región. La sequía puede tener graves consecuencias para la agricultura, la disponibilidad de agua potable, la biodiversidad y la economía de una región. La evaluación de la sequía implica el uso de índices de sequía, como el Índice de Palmer o el Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI), que cuantifican la gravedad y la duración de los déficits de precipitación, también es la prolongada falta de agua en una determinada zona, (Garay, 2022)

### Episodios de Sequía y Índice de Severidad de Sequía Estandarizado (SPEI):

El análisis de episodios de sequía implica la evaluación de condiciones climáticas extremas a lo largo del tiempo. El Índice de Severidad de Sequía Estandarizado (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010) es una herramienta que considera tanto la precipitación como la temperatura para cuantificar la severidad de las sequías. Su ecuación es:

$$SPEI = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

Donde:

- $X_i$  : valor climático en el periodo  $i$
- $\mu$ : media
- $\sigma$ : desviación estandar

El SPEI proporciona una medida robusta de la intensidad y duración de los episodios de sequía, lo que facilitará la evaluación de la vulnerabilidad de la Región de Puno a este fenómeno climático.

Interpretación:

SPI Positivo:

- SPI = 0.5 a 1.0: Condiciones de humedad moderada.
- SPI > 1.0: Condiciones más húmedas de lo normal.

SPI Negativo:

- SPI = -0.5 a -1.0: Condiciones de sequía moderada.
- SPI < -1.0: Condiciones más secas de lo normal.

Tabla 1

*Valores e interpretación del SPI*

Valor SPI	Interpretación
$\geq 2,0$	Extremadamente mojado
1,5 a 1,99	Muy mojado
1,0 a 1,49	Moderadamente mojado
0,99 a -0,99	Casi normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muy seco
$\leq -2,0$	Extremadamente seco

Fuente: Tomado de (Garay, 2022)

### **1.1.15 Factores Atmosféricos**

Los factores atmosféricos desempeñan un papel clave en la dinámica de la evapotranspiración y la sequía. Algunos de los factores más relevantes incluyen:

### **1.1.16 Temperatura**

La temperatura influye en la tasa de evapotranspiración, ya que temperaturas más altas pueden acelerar la evaporación del agua de la superficie y la transpiración de las plantas. También la temperatura es la propiedad térmica que determina si un objeto está en equilibrio térmico con otros objetos. Dos objetos en equilibrio térmico mutuo están a la misma temperatura. La unidad del SI de temperatura absoluta es el kelvin, que se define como  $1/273.16$  de la diferencia entre cero absoluto y la temperatura del punto triple del agua (Serway, 1988).

En el análisis climático de una región, varios factores son cruciales para comprender su dinámica térmica a lo largo del año. Entre estos, se destaca la temperatura media anual, expresada en grados Celsius, que en el caso de Valencia se sitúa en  $17,8$  °C. Además, la amplitud térmica anual, definida como la diferencia entre la temperatura del mes más cálido y la del mes más frío,

proporciona información valiosa sobre la variabilidad climática de un lugar, la cual está influenciada por su proximidad al agua. En las áreas costeras, como las del Mediterráneo, este valor tiende a ser menor, oscilando entre 8 °C y 15 °C, mientras que en regiones más continentales, como en el interior de la Península Ibérica, puede superar los 16 °C. Por ejemplo, en Valencia, la amplitud térmica es de 14,0 °C, lo que indica su carácter costero. La temperatura del verano también juega un papel crucial, siendo considerado como caluroso si las temperaturas medias mensuales superan los 22 °C, como sucede en Valencia durante los meses de junio a agosto. Por último, la temperatura del invierno, que define la suavidad o dureza del mismo, revela que Valencia experimenta inviernos suaves, con una temperatura media en enero de 11,5 °C. Este análisis proporciona una visión integral de los patrones térmicos de la región, fundamentales para entender su clima y sus implicaciones. (Jiménez et al., 2004)

### **1.1.17 Precipitación**

La precipitación en forma sólida se origina por la formación de cristales de hielo en nubes a altitudes elevadas y temperaturas extremadamente bajas. Estos cristales pueden desarrollarse al congelar gotitas de agua o al unirse con otros cristales para formar copos de nieve. Al alcanzar un tamaño adecuado, los cristales caen debido a la gravedad, generando precipitación sólida en la superficie si las condiciones son propicias. En ocasiones, los copos de nieve o granizo pueden derretirse antes de llegar al suelo si encuentran una capa de aire cálido durante su descenso, dando lugar a precipitación en forma líquida. Este fenómeno meteorológico es clave para entender la variabilidad de la precipitación y sus efectos en la superficie terrestre. (Jiménez et al., 2004)

La cantidad anual de precipitación es un factor crucial para comprender el clima de una región, y se clasifica en distintas categorías según la cantidad registrada. Se considera que la precipitación es muy abundante si supera los 1000 mm, lo que suele ser característico de áreas montañosas, mientras que se considera abundante si oscila entre los 800 mm y los 1000 mm, típico de regiones con influencia atlántica. Por otro lado, se clasifica como escasa si está entre 300 mm y 800 mm, común en zonas mediterráneas, y como muy escasa si es inferior a 300 mm, característica de climas subdesérticos. Cuando la precipitación es inferior a 150



mm, se clasifica como clima desértico. En el caso de Valencia, la precipitación anual es de 454 mm, lo que la sitúa en la categoría de "escasa", asociada a un clima mediterráneo. Además de la cantidad total de precipitación, es importante analizar su distribución a lo largo del año. La localización de máximos principales y secundarios de precipitación nos ofrece información valiosa sobre su origen. Si el máximo principal se encuentra en los meses de invierno, es probable que la mayor parte de la precipitación tenga un origen frontal, lo cual es característico de las zonas con influencia atlántica. Por otro lado, si el máximo se presenta en los meses de otoño y/o primavera, es probable que la precipitación tenga un origen tormentoso, común en las zonas mediterráneas de la Península Ibérica. (Jiménez et al., 2004)

### 1.1.18 Humedad Relativa

La humedad relativa del aire indica la cantidad de humedad presente en el aire en relación con la cantidad máxima que podría contener. Una baja humedad relativa puede aumentar la evaporación y contribuir a la sequía también podemos decir que la humedad de suelo es la variable que nos da la cantidad de agua contenida en el suelo según (Rios, 2021)

El agua constituye uno de los principales elementos de la atmósfera, presente en sus tres estados físicos: gaseoso, líquido y sólido. La existencia de agua en estos estados se debe a que las condiciones físicas, como la temperatura y la presión, necesarias para los cambios de estado, son comunes en la atmósfera. La humedad, que es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, varía dependiendo de factores como la reciente precipitación, la proximidad al mar o la presencia de vegetación. Se emplean diversas medidas para describir la humedad, como la humedad absoluta, que representa la masa de vapor de agua en un metro cúbico de aire seco; la humedad específica, que indica la masa de vapor de agua en un kilogramo de aire; y la razón de mezcla, que expresa la masa de vapor de agua en un kilogramo de aire seco. Sin embargo, la medida más utilizada es la humedad relativa, que se expresa en porcentaje (%). Se calcula mediante la fórmula  $h = (e/E) * 100$ , donde "e" representa el contenido de vapor de agua en la masa de aire y "E" es su capacidad máxima de retención de vapor, conocida como presión de vapor saturante. La humedad relativa indica qué tan cerca está una masa de aire

de alcanzar la saturación: un valor del 100% señala que la masa de aire no puede retener más vapor de agua y cualquier exceso se condensará en forma de agua líquida o cristales de hielo, según las condiciones ambientales.(Jiménez et al., 2004)

Para medir la humedad, comúnmente se emplea un dispositivo conocido como psicrómetro, que consiste en dos termómetros idénticos: uno, llamado "termómetro seco", mide simplemente la temperatura del aire, mientras que el otro, llamado "termómetro húmedo", cuenta con una tela humedecida por una mecha que se conecta a un depósito de agua. El funcionamiento es simple: el agua en la tela se evapora, extrayendo calor del aire circundante y disminuyendo su temperatura. La cantidad de agua evaporada y el descenso resultante en la temperatura del termómetro húmedo dependen de la temperatura y la cantidad inicial de vapor de agua en la masa de aire. Estos valores se utilizan para calcular la humedad relativa mediante una fórmula matemática, aunque el psicrómetro generalmente incluye tablas que ofrecen directamente la humedad relativa sin necesidad de cálculos adicionales. Además del psicrómetro, existe un instrumento más preciso llamado aspirpsicrómetro, que asegura la ventilación continua de los termómetros. Curiosamente, el cabello humano puede ser utilizado para medir la humedad del aire, ya que su longitud es altamente sensible a los cambios en la humedad ambiental. Por otro lado, la evaporación, otra medida importante relacionada con la humedad, puede ser evaluada mediante un dispositivo llamado evaporímetro, que consiste en un tubo de vidrio cerrado por un extremo y lleno de agua, cuya evaporación es medida diariamente restando la lectura del día anterior. Cabe mencionar que factores como la temperatura y el viento aceleran el ritmo de evaporación del agua de una superficie (Jiménez et al., 2004)

#### **1.1.19 Radiación Solar**

La radiación solar proporciona la energía necesaria para la evaporación. Un aumento en la radiación solar puede aumentar la evapotranspiración.( Yunus y Cengel, 2019)

La radiación es un proceso físico mediante el cual se transfiere energía en forma de ondas electromagnéticas, que abarcan una amplia gama de longitudes. Esta transmisión de energía ocurre de un cuerpo con mayor temperatura a uno con

menor temperatura, sin necesidad de un medio material para su propagación. Según la teoría ondulatoria, la energía electromagnética se mueve a la velocidad de la luz y está compuesta por dos campos de fuerza perpendiculares entre sí: eléctrico y magnético. Las propiedades de este flujo energético se pueden describir mediante dos elementos principales: la longitud de onda ( $\lambda$ ), que representa la distancia entre dos crestas sucesivas de la onda, y la frecuencia (F), que indica la cantidad de ciclos completos de onda que se transmiten por unidad de tiempo. La intensidad de la radiación se cuantifica en unidades como calorías por centímetro cuadrado por minuto o Langley por minuto, mientras que la longitud de onda se mide comúnmente en Angstroms, micrómetros y nanómetros. Estas medidas permiten entender la energía contenida en la radiación y la escala de tamaño de las ondas electromagnéticas. (Cátedra de Climatología Agrícola 2009 Unidad 2:, 2009)

En una situación análoga a la que experimentamos, la Tierra recibe energía del Sol en forma de radiación electromagnética. Aunque la atmósfera terrestre es prácticamente transparente a la radiación solar, la superficie de la Tierra y otros objetos presentes en ella absorben esta energía. La energía radiante, también conocida como radiación, se transmite a través del espacio en forma de ondas que llevan consigo una cantidad específica de energía. Estas ondas se clasifican en el espectro electromagnético según su energía. Este fenómeno es esencial para comprender cómo la Tierra recibe y utiliza la energía del Sol para mantener los procesos vitales y climáticos en nuestro planeta.(Jiménez et al., 2004)

### 1.1.20 Modelo Angstrom – Prescott

El modelo de Angstrom-Prescott es un método ampliamente utilizado para estimar la radiación solar a partir de datos climáticos básicos como la duración del brillo solar y la insolación. Aquí está el modelo matemático del método de Angstrom-Prescott:

$$R_s = a + b \cdot N$$

Donde:

- $R_s$  es la radiación solar total diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

- N es la duración del brillo solar en horas durante el día.
- a y b son coeficientes empíricos determinados mediante regresión.

El modelo de Angstrom-Prescott sugiere que la radiación solar está linealmente relacionada con la duración del brillo solar. Los coeficientes a y b pueden variar según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. (Rahimi et al., 2012)

### 1.1.21 Modelo de Hargreaves - Samani

El modelo de Hargreaves-Samani es un método ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración potencial a partir de datos climáticos básicos como la temperatura y la radiación solar. Aquí está el modelo matemático del método de Hargreaves-Samani:

$$ET_o = 0.0023 \cdot R_a \cdot (T_{\max} + T_{\min}) \cdot T_{\max} - T_{\min}$$

Donde:

- $ET_o$  es la evapotranspiración de referencia (en mm/día).
- $R_a$  es la radiación extraterrestre diaria (en MJ/m<sup>2</sup>/día).
- $T_{\max}$  es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).
- $T_{\min}$  es la temperatura mínima diaria del aire (en °C).

La radiación extraterrestre diaria ( $R_a$ ) se calcula utilizando la ecuación propuesta por Hargreaves y Samani. (Shahidian et al., 2012)

### 1.1.22 Modelo de Liu - Jordán

El modelo de Liu-Jordán es un enfoque utilizado para estimar la radiación solar global a partir de la radiación solar directa y difusa. Aquí está el modelo matemático del método de Liu-Jordán:

$$R_s = R_b(a_1 + a_2) e^{-bR_b}$$

Donde:

- $R_s$  es la radiación solar global (en MJ/m<sup>2</sup>/día).

- $R_b$  es la radiación solar directa (en MJ/m<sup>2</sup>/día).
- $a_1, a_2, b$  son coeficientes empíricos.

Este modelo proporciona una estimación de la radiación solar global en función de la radiación solar directa, utilizando parámetros que se ajustan a través de datos observados. (Jaime Wright Gilmore, 1988)

### 1.1.23 Modelo de Bristow - Campbell

El modelo de Bristow-Campbell es un método utilizado para estimar la radiación solar global a partir de la temperatura del aire. Aquí está el modelo matemático del método de Bristow-Campbell:

$$R_s = a + b \cdot T_{\max}$$

Donde:

- $R_s$  es la radiación solar global (en MJ/m<sup>2</sup>/día).
- $T_{\max}$  es la temperatura máxima diaria del aire (en °C).
- $a$  y  $b$  son coeficientes empíricos determinados mediante regresión.

Este modelo sugiere que la radiación solar global está relacionada linealmente con la temperatura máxima del aire. Los coeficientes  $a$  y  $b$  pueden variar según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. (Alsamamra, 2019)

### 1.1.24 Velocidad del Viento

El viento puede acelerar la evaporación al eliminar la capa de humedad cerca de la superficie, lo que puede aumentar la evapotranspiración. (Yunus y Cengel, 2019).

El viento se define como el desplazamiento del aire de una región a otra, y su origen puede atribuirse a diversas causas, aunque generalmente surge cuando se establece una diferencia de presión o temperatura entre dos puntos. Cuando la diferencia de presión es notable entre dos zonas, el aire tiende a moverse desde la región de alta presión hacia la de baja presión, una dinámica similar a la que se observa al presionar un tubo de pasta dental para expulsar su contenido. Esta

variación de presión, también conocida como gradiente de presión, es fundamental para entender la generación del viento. En la atmósfera, la relación entre presión y viento es directa, lo que implica que los mapas de isobaras, que representan la distribución de la presión atmosférica, proporcionan información crucial sobre la velocidad y dirección del viento. La interpretación adecuada de estos mapas es esencial para comprender el comportamiento del viento en diferentes regiones. (Jiménez et al., 2004)

Los vientos locales son aquellos que se experimentan exclusivamente en ciertas áreas, a menudo como resultado de las características geográficas y topográficas particulares de la región. Es posible que hayas escuchado hablar de estos vientos en pronósticos del tiempo:

El Cierzo, un viento que sopla a lo largo del valle del Ebro.

La Tramontana, un viento frío y turbulento que proviene del norte y sopla en el noreste de la Península Ibérica y en las Islas Baleares.

El Siroco, un viento caliente y seco que se origina en el desierto del Sáhara y llega hasta el Mediterráneo.

Levante y Poniente del Estrecho, vientos intensos que soplan respectivamente desde el este y el oeste en el Estrecho de Gibraltar.

El Terral, un viento que surge en el litoral de la costa cantábrica y el mar de Alborán, proveniente del interior y caracterizado por su extrema sequedad y altas temperaturas. Estos vientos locales son ejemplos de cómo las condiciones geográficas específicas pueden influir en los patrones del viento en diferentes áreas, lo que impacta directamente en el clima y las condiciones atmosféricas locales. (Jiménez et al., 2004)

#### **1.1.25 Región de Puno y el Lago Titicaca**

La Región de Puno, ubicada en el altiplano peruano, es conocida por su importancia económica y ecológica, especialmente en relación con el Lago Titicaca. Este lago, uno de los más altos y grandes del mundo, desempeña un papel fundamental en la región y está estrechamente relacionado con los ciclos hidrológicos locales y regionales. (Senamhi, 2021).

## 1.2 Antecedentes

Jordan et al., (2019) analizo “Una metodología para la identificación de sequías repentinas: aplicación de la frecuencia de sequías repentinas en los Estados Unidos Su objetivo fue identificar las sequías repentinas basándose en su tasa de intensificación inusualmente rápida. La metodología que empleo fue basada en percentiles en este trabajo fue identificar sequías repentinas utilizando valores estandarizados de índice de estrés evaporativo (SESR) y cambios en SESR durante algún período de tiempo, su resultado reveló un punto crítico de sequía repentina en las Grandes Llanuras, el cinturón de maíz y la región occidental de los Grandes Lagos.”

Se desarrolló un modelo en Python con el objetivo de determinar la disponibilidad del recurso hídrico superficial y analizar los efectos de la variabilidad climática en la cuenca del río Atulapa, ubicada en Esquipulas, Chiquimula, Guatemala. El propósito fundamental del modelo es la generación de un enfoque bidimensional para simular el balance hídrico superficial del suelo. El método de investigación abarcó la generación y evaluación de registros hidrometeorológicos mediante la instalación de estaciones digitales, así como la utilización de estaciones locales existentes. La conclusión principal obtenida del estudio destaca la importancia de la cartografía temática de la cuenca, la cual facilitó un análisis integral de los aspectos físicos y bióticos en conjunto con los registros meteorológicos. Este análisis permitió evaluar el comportamiento del balance hídrico superficial en la cuenca del río Atulapa, ofreciendo una comprensión más completa de la disponibilidad del recurso hídrico y su relación con la variabilidad climática (Guillermo y Mansilla, 2019).

Según los estudios realizados para analizar la tendencia en la disponibilidad hídrica en la subcuenca Chamacna, parte de la cuenca media alta del río Lurín, para los años 2025 y 2050. Se utilizó el método de regresión múltiple para completar datos, empleando Excel para representar gráficamente la variabilidad histórica de precipitación y temperatura, y ArcGIS para delimitar la cuenca y generar mapas. Se identificaron dos periodos distintivos de variabilidad histórica: de enero a marzo, temporada de lluvias, y de mayo a noviembre, caracterizado por sequía, con un aporte anual de precipitación de 200 mm/año. Las proyecciones mostraron un aumento anual del 0.29% en la precipitación. Para el 2025, se estima un aporte de precipitación promedio de 1.19 m<sup>3</sup>/s en Chamacna, aumentando a 1.32 m<sup>3</sup>/s para el 2050. Estos hallazgos subrayan la importancia de

anticipar la disponibilidad hídrica ante la variabilidad climática, ofreciendo información clave para la gestión sostenible de recursos hídricos en la región. (Villegas, 2025)

Huerta (2012) “Vulnerabilidad de la disponibilidad de los recursos hídricos en el Perú Frente al cambio climático: análisis Probabilístico de budyko”, este estudio aborda la vulnerabilidad de los recursos hídricos en Perú frente al cambio climático mediante un enfoque probabilístico de Budyko. Utilizando datos grillados de precipitación y temperatura, junto con seis estimaciones de evapotranspiración real de sensoramiento remoto, se analiza la disponibilidad hídrica a escala de vertiente y cuenca. TerraClimate, GLEAM y promedio se destacan como las estimaciones más precisas, con bajo sesgo y RMSE. El Budyko probabilístico, calibrado con promedio, muestra un rendimiento robusto a diversas escalas geográficas, resaltando un cambio crítico en la precipitación en las cuencas andinas, especialmente en el centro y sur, aumentando la vulnerabilidad en un 25%.

Mejia (2023), Tendencia de la evapotranspiración en Cuautitlán Izcalli, México y su importancia en las actividades agrícolas, Este estudio busca calcular la evapotranspiración potencial (ETP) en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, crucial para determinar las necesidades hídricas en agricultura. Utilizando datos de la estación meteorológica Almaraz (FES-Cuautitlán) de julio de 1988 a diciembre de 2022, se aplicaron los métodos de Penman, Penman-Monteith, Thornthwaite y el Tanque de evaporación, considerando diversas variables climáticas. El método del Tanque de evaporación mostró similitudes con Penman y Penman-Monteith, aunque con valores más bajos, mientras que Thornthwaite subestimó la ETP. El método del Tanque proporcionó resultados intermedios, acercándose más a las observaciones en campo, destacándose como una opción confiable para obtener la ETP en las condiciones ambientales de la región

La estimación de la evapotranspiración potencial basado en tecnología satelital para la región de alto beni, norte de la paz, Este estudio tiene como objetivo principal estimar la evapotranspiración potencial (ETp) en la región de Alto Beni, norte de La Paz, para abordar las demandas hídricas en la agricultura y ganadería, considerando los efectos del cambio climático. Se utilizaron diversos modelos de la FAO, como Penman-Monteith, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves y Turc, adaptados a zonas tropicales. La información climática de LocClim (FAO) y Power Larc (NASA) con más de 10 años de



registros respaldó el análisis, incorporando variables como radiación solar, temperatura, velocidad del viento, déficit de presión de vapor, presión atmosférica y características del entorno. La distribución espacial de los modelos reveló un mejor ajuste para Penman-Monteith, seguido por Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves y Turc. Thornthwaite y Blaney-Criddle mostraron coeficientes de determinación elevados (0,968 y 0,966), mientras que la mayoría de los métodos alcanzaron coeficientes aceptables ( $>0,80$ ), indicando un ajuste satisfactorio en comparación con Penman-Monteith. Thornthwaite y Blaney-Criddle destacaron con ajustes superiores, mientras que Turc presentó un coeficiente de determinación inferior a 0,80 (Tarqui, 2014)

“Modelos para estimar la evapotranspiración de referencia con las ecuaciones de Hargreaves y Turc, respecto de la ecuación estándar Penman-Monteith. Sector mataquita-jangas-huaraz 2013”, este estudio aborda el desafío global de determinar la evapotranspiración en la agricultura, esencial para la gestión hídrica. Se enfoca en desarrollar modelos para estimar la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) utilizando las ecuaciones empíricas de Hargreaves y Turc en comparación con la ecuación estándar Penman-Monteith (FAO) en Mataquita-Jangas durante el periodo 2004-2013. La metodología se basa en datos meteorológicos diarios de la estación Mina, utilizando regresión lineal simple para desarrollar ecuaciones empíricas. Los modelos, como ET<sub>o</sub> (PM) =  $0.5027 + 0.7514 * ET_o(H)$  y ET<sub>o</sub> (PM) =  $1.0908 + 0.9848 * ET_o(T)$  para estimaciones diarias, y ET<sub>o</sub> (PM) =  $-0.4844 + 1.0696 * ET_o(H)$  y ET<sub>o</sub> (PM) =  $1.6116 + 0.6344 * ET_o(T)$  para mensuales, mostraron un ajuste destacado, especialmente en febrero. Los coeficientes de determinación y correlación respaldan la precisión de los modelos empíricos en la región de estudio (Cerna, 2019)

“Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco”, El estudio tuvo como objetivo evaluar la precisión de nueve métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en el Valle de Tumbaco, Pichincha (Ecuador), con el propósito de mejorar la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos. Se utilizó información climatológica mensual de la estación La Tola para calcular la ET<sub>o</sub>. Los métodos evaluados incluyeron FAO56, Tanque evaporímetro, Thornthwaite modificado, Hargreaves, Jensen-Haise, Makkink, Priestley-Taylor, Turc y FAO Radiación. La evaluación se realizó mediante parámetros inferenciales, como error medio absoluto, coeficiente de determinación, coeficiente de concordancia y coeficiente de confiabilidad, utilizando el método FAO como referencia. Los métodos basados en

temperatura y radiación solar subestimaron la ETo en julio y agosto al no considerar la velocidad del viento, que osciló entre 1.1 y 1.7 m/s. Esta omisión impactó directamente la tasa de evapotranspiración. Los resultados destacan la relevancia de incluir la velocidad del viento en los modelos para mejorar la precisión de las estimaciones de ETo en el Valle de Tumbaco (Ortiz y Chile , 2020)

“Cálculo de la evaporación de agua en la microcuenca agrícola del río Coñaque, Ecuador”, en este estudio, se realizó el cálculo de la evaporación en la microcuenca del río Coñaque. El análisis del histograma de precipitación mensual mostró que febrero tiene la mayor cantidad de lluvia (promedio de 320 mm), seguido de marzo con 250 mm. Por otro lado, septiembre, octubre y agosto tienen la menor cantidad de lluvia, con un promedio de 10 mm mensuales. Hubo un aumento de la precipitación en los años 1995 y 2000, alcanzando los 200 mm anuales, y luego se mantuvo entre 50 y 150 mm durante 2000-2010. La metodología empleada determinó que a una velocidad de 6.71 mm/día se evapora agua desde la superficie del suelo o el nivel freático hacia la atmósfera, siendo esta la máxima pérdida de agua. Se utilizaron valores de precipitación calculados con el método Kriging, considerado el más preciso, teniendo en cuenta la precipitación media anual de 1,251.6 mm (Becerra et al., 2022).

¿Influyen las casas de malla en la evapotranspiración de referencia (ETo)?, Este estudio aborda la falta de investigaciones en Colombia sobre los cambios en las variables meteorológicas al interior de casas de malla, una alternativa para proteger cultivos y reducir el uso de agroquímicos. Se emplearon dos estaciones meteorológicas y dos cenirrómetros, ubicando uno de cada en el interior y exterior de la casa de malla. El objetivo fue analizar la influencia de la estructura en la evapotranspiración de los cenirrómetros y la evapotranspiración de referencia (ETo). Los resultados revelaron que dentro de la casa de malla se redujo la velocidad del viento, la humedad relativa y la radiación solar, mientras que la temperatura aumentó. Estos cambios provocaron una disminución del 20% en la ETo y un 27% en la evaporación del cenirrómetro. Se concluye que las casas de malla son una opción efectiva para reducir el consumo de agua del cultivo.( Prieto, 2022)

“Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México”, Este estudio se propuso analizar la distribución espacial de la evapotranspiración potencial (ETP) y el periodo de crecimiento en condiciones climáticas

actuales y bajo escenarios de cambio climático en todo el país. La ETP mensual se estimó utilizando el método de Penman-Monteith a partir de la ETP de referencia (ET<sub>0</sub>). Se evaluaron la fecha de inicio, fin y duración del periodo de crecimiento considerando la precipitación media mensual. Se examinaron 28 escenarios de cambio climático para comprender la alteración de la ETP y su efecto en los periodos de crecimiento de las zonas agrícolas nacionales. Se anticipa que la ETP aumentará en gran parte del territorio debido al incremento generalizado de la temperatura y la reducción de la humedad relativa. Las clases de ETP menores de 1000 mm anuales experimentarán una disminución, mientras que aquellas mayores a 1000 mm aumentarán en promedio un 20% para el horizonte medio (2040-2069) y casi un 50% hacia el horizonte lejano (2070-2099). (Monterroso et al, 2021)

“Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California”, Este estudio tuvo como objetivo caracterizar las regiones vinícolas de Baja California mediante variables climáticas, centrándose en la temperatura ambiental, irradiancia, humedad relativa, velocidad y dirección del viento en el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST) durante el periodo de 2013 a 2018. La relación entre los índices bioclimáticos de Grados Día de Desarrollo (GDD) e Índice Hídrico (HI) fue significativamente alta, indicando una captura similar de información climática. Utilizando GDD, SAM y SV se clasificaron como región IV (templado-cálido), mientras que VG y ST se catalogaron como región V (cálidas y muy cálidas). La evapotranspiración en SAM y SV fue un 15% menor en comparación con VG y ST. Estos resultados proporcionan información valiosa para la viticultura y el manejo del agua en Baja California. (Macías, 2021)

“Cambios en el clima local y su efecto en la regulación hídrica en microcuencas del departamento del Magdalena, Norte de Colombia”, El objetivo de este estudio es identificar posibles manifestaciones de cambios en el clima local en 13 microcuencas en el Norte de Colombia, mediante el análisis estadístico de la temperatura, humedad atmosférica, densidad de vapor y evapotranspiración potencial. Se empleó el método del número de curva para estimar la respuesta hidrológica del territorio e inferir la afectación en la oferta hídrica. Los resultados revelaron un aumento promedio de 0.66°C en la temperatura del aire, un incremento cercano al 16% en la densidad de vapor de agua atmosférico y un aumento promedio de 30.9 mm en la evapotranspiración potencial. En 11 microcuencas, se observaron números de curva mayores de 80 en más del 85% de su

territorio. Se concluye que las tendencias de cambio en el clima local están vinculadas al estado físico del territorio, especialmente en términos de cobertura vegetal, que actúa como regulador hídrico y térmico clave. (Revueltas et al., 2020)

“Calibración del producto de evapotranspiración potencial “MOD16A2” para la Región Pampeana Argentina”, El objetivo de este estudio en la Región Pampeana Argentina (RPA) fue corregir la sobreestimación sistemática del producto MOD16A2 de evapotranspiración potencial (ETp), identificada previamente, mediante una regresión lineal. Se utilizó un conjunto de datos de veinticuatro estaciones in situ para los años 2012, 2013 y 2014, totalizando 3094 pares de datos. La corrección se llevó a cabo utilizando el 60% de los pares de datos para calibrar el modelo y el 40% restante para validar. Los resultados demostraron una disminución significativa del error cuadrático medio de 2,4 a 0,6 mm día<sup>-1</sup> y del error medio absoluto de 2,2 a 0,5 mm día<sup>-1</sup> después de la corrección. Esta mejora sugiere que el producto MOD16A2 puede ser utilizado de manera más confiable para evaluar la variabilidad espacial de la ET en la RPA, y se recomienda explorar su aplicabilidad en grandes cuencas y en otras regiones del mundo para identificar y corregir posibles errores sistemáticos mediante el procedimiento propuesto. (Degano et al., 2021)

(Abbasi A et al., 2021) en su investigación Estimación de parámetros del modelo ARIMA para la predicción de sequía mediante el algoritmo genético tuvo como propósito analizar Monitoreo de sequía en la estación sinóptica de Tabriz como una de las estaciones más importantes en la cuenca del lago Urmia en las etapas de corto, mediano y largo plazo de un período de 53 años utilizando el índice estándar de precipitación y evapotranspiración (SPEI) los resultados mostraron que hubo tres largos períodos de sequía durante el período estadístico: 1961-1963, 1986-1992 y 1997-2009.

Desde el punto de vista del trabajo titulado “Proyección de la evapotranspiración de cultivos de referencia bajo el cambio climático futuro en la cuenca del lago Poyang, China”; Tuvo como objetivo evaluar los impactos potenciales de los cambios climáticos en los ciclos hidrológicos y el balance energético global, presenta una metodología basada en datos meteorológicos y resultados del modelo de circulación general Global Climate Model (GCM) de la Fase 5 del Proyecto de Interoperación de Modelos Combinados (CMIP5), Utiliza la fórmula de Penman-Monteith y la reducción de escala del modelo para calcular la Evapotranspiración de referencia del cultivo (ET<sub>o</sub>) hallando los

siguientes resultados, En primer lugar, la ETo promedio anual disminuyó durante el período 1961-2014, y la ETo promedio de la cuenca es alta en el norte y el sur, pero baja en el centro. En segundo lugar, el modelo de reducción de escala tiene un buen efecto de simulación y los resultados de la simulación de reducción de escala de los datos GCM mejoran significativamente después de la corrección del sesgo (Liu et al., 2021)

Qian (2023), en su trabajo titulado determinación óptima y análisis de control dinámico del nivel de agua límite de sequía gradual y por etapas de lagos típicos de meseta, el objetivo del estudio fueron los embalses y no se estableció un método para determinar el nivel máximo de sequía del agua del lago. La metodología se establecía en método de cálculo del nivel de agua límite de sequía del embalse utiliza el nivel de agua límite de sequía como único indicador de advertencia durante todo el año, que carece de estándares, y también carece de racionalidad y eficacia en la aplicación práctica encontrando los siguientes resultados que el método de determinación y el método de control dinámico del nivel del agua límite bajo una sequía lacustre gradual y por etapas se aplicaron con éxito en el lago Dianchi en Yunnan.

Torres (2020) en el trabajo titulado Mapeo de las tendencias de evapotranspiración, vegetación y precipitación en la cuenca del menguante lago Poopó Juan, tuvo como objetivo analizar la reducción del lago, incluido el cambio climático, el aumento del riego, la minería y el crecimiento demográfico, y su metodología Al ser una cuenca endorreica, se espera que las pérdidas por evapotranspiración (ET) sean el principal mecanismo de producción de agua y estudios previos demostraron aumentos de ET utilizando datos de observación de la Tierra (EO), obteniendo los resultados mostró que solo las tierras de cultivo experimentaron un aumento en las pérdidas de índice de vegetación MODIS (NDVI) y ET, mientras que las cubiertas naturales mostraron tendencias de NDVI constantes o decrecientes junto con un aumento en ET.

Vega (2018) en su trabajo titulado “Variabilidad espacio-temporal de las sequías en el Perú y el peligro asociado al fenómeno del niño” , tuvo como objetivo analizar por primera vez la variabilidad espacio-temporal, características y tendencias de las sequías en el Perú y la amenaza de sequía asociada al ENSO (El Niño-Oscilación del Sur), para el periodo 1970 al 2014 y tiene una metodología de análisis de componentes principales mediante el método de conglomerados basado en el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), presento los siguientes resultados las tendencias indican un aumento de las sequías

en la vertiente del Titicaca y una mayor intensidad y severidad de las sequías en la parte superior de la vertiente del Amazonas, mientras que la vertiente del Pacífico norte mostró una tendencia hacia una reducción de la duración y severidad de las sequías. Si se analiza un análisis decenal de las sequías (1970-2010), el número de meses de sequía en todas las regiones ha disminuido en la última década (2000-2010) en comparación con décadas anteriores.

Martinez (2018) en su trabajo titulada Estimación de la variación espacio temporal de la evapotranspiración real en el valle del Cauca y su relación con la amenaza de sequía meteorológica, entre los años 2000 al 2015, tuvo como objetivo analizar la variación espacial y temporal de la evapotranspiración neta (ETR) en el Valle del Cauca, utilizando información mensual y semanal del producto (MOD 16 – que mide Evapotranspiración) MOD16 para el periodo 2000 a 2015, se utiliza el método de aplicación del Índice de Evapotranspiración Estandarizado (SETI) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), muestra que el uso de estos índices en conjunto permite identificar la amenaza de sequía meteorológica, resultante de la disponibilidad de agua en el tiempo., y se obtuvo los resultados siguientes, para el Valle del Cauca se puede confirmar que el producto MOD16 se puede utilizar de manera confiable para obtener información sobre la evapotranspiración real y potencial. Sin embargo, para las estribaciones con cambios de pendiente y terrenos baldíos (en terrenos a 3400 m sobre el nivel del mar), se deben realizar ajustes al modelo y La relación entre la evapotranspiración real y la sequía meteorológica en una zona piloto del Valle del Cauca, mediante la implementación del índice de evapotranspiración estandarizado (SETI) y el índice de precipitación estandarizado (SPI), muestra que utilizar estos índices en un conjunto de ellos nos permitirá determinar la amenaza de sequía meteorológica, debido a la disponibilidad de agua en el tiempo.

En su artículo Sequía y colapso de la civilización Tiwanaku: nueva evidencia del lago Orurillo, Perú, el objetivo de este estudio es investigar la relación entre los indicadores isotópicos (Hidrogeno) H y (óxido de Calcita) Oc, la aridez y el cambio en la sociedad, particularmente en relación con el colapso de Tiwanaku en los Andes del centro-sur, Se llevó a cabo un análisis de los valores de H y Oc, junto con registros de no deposición o erosión en un núcleo de sedimento lacustre, se utilizó esta información para reconstruir la cronología y severidad de la sequía que afectó a la región y su relación con el colapso de Tiwanaku. El estudio reveló un período prolongado y severo de sequía que se extendió



hasta el siglo XIII. Esto coincide con el colapso de Tiwanaku y sugiere que la sequía desempeñó un papel importante en este evento. Los resultados también respaldan la idea de que los patrones de circulación oceánica y atmosférica en el hemisferio norte fueron un mecanismo clave para impulsar el cambio climático en los Andes (Arnold et al., 2021)

(Gaxiola, 2021), presenta en su trabajo "Umbral de sequía en el desierto sonorense: relación entre radiación y evapotranspiración", El objetivo de esta investigación fue analizar las relaciones entre el albedo, la temperatura superficial y el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) en el Desierto Sonorense, específicamente para identificar los valores umbrales de NDVI que indican la transición de condiciones vegetativas a condiciones de deshidratación severa. Para lograr esto, se utilizaron datos mensuales de imágenes satelitales de albedo, temperatura superficial y NDVI en cinco cuadrantes del desierto durante el periodo de febrero de 2000 a febrero de 2018. Los resultados destacaron que los valores umbrales de NDVI por debajo de 0.10 son característicos de las zonas más áridas en el centro de Baja California y en el área del Patrimonio de la UNESCO El Pinacate y Gran Desierto de Altar. En contraste, las zonas más húmedas en la península de Baja California y la llanura costera de Sonora presentaron umbrales de NDVI por debajo de 0.15. Además, se observó que los periodos más propensos a condiciones climáticas desérticas, es decir, más cálidas y secas, varían en diferentes cuadrantes, siendo junio crítico en algunos y noviembre-febrero en otros. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la monitorización de la sequía y la gestión de recursos en el Desierto Sonorense.

(Vargas, 2021) en su investigación titulada, Estimación De Índices de Sequía en la Cuenca del Río Ichu Utilizando Datos Generados Por Teledetección- Huancavelica-2019 con el objetivo El propósito de este estudio es estimar índices de sequía en la cuenca del río Ichu, utilizando datos de teledetección y las metodologías de los índices SPI y SPEI en distintas escalas temporales. Se evaluarán estos índices utilizando información de precipitación, temperatura máxima y mínima mensual generada a través de la precipitación satelital PISCOp del SENAMHI - Perú, así como datos de Modelos Climáticos Globales (GCM) del proyecto CMIP5, específicamente el modelo CESM1-BGC bajo el escenario RCP8.5. Se llevará a cabo un proceso de calibración y validación de los datos de PISCOp, comparándolos con los registros de estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca; La metodología de la investigación se centra en analizar datos de sequía correspondientes al período de 1994 a 2016, utilizando tanto datos estimados por



PISCOp como datos provenientes de estaciones meteorológicas en la cuenca de estudio. Se aplicaron medidas de evaluación, como el estadístico Nash-Sutclie y la correlación de Pearson, con resultados que indican un ajuste excelente y una correlación muy alta entre los datos. Luego, se emplearon Modelos Climáticos Globales para proyectar sequías futuras en el periodo de 2020 a 2100, utilizando la metodología del índice SPEI en diferentes escalas temporales; Los resultados obtenidos respaldan la validez de los datos de PISCOp y la capacidad de los Modelos Climáticos Globales para proyectar sequías futuras. Las cifras reflejan una fuerte correlación y un alto nivel de ajuste entre los datos simulados por los GCM.

En su estudio Desentrañando los impactos de las sequías y la intensificación agrícola en los recursos hídricos del Altiplano. El objetivo de esta investigación fue medir el impacto de la sequía severa y la intensificación agrícola sobre los recursos hídricos de la región utilizando datos de teledetección, la metodología incluye la validación de las precipitaciones y los posibles productos de evapotranspiración, uso del Índice Estandarizado de Precipitaciones (SPI). caracterizar sequías pasadas y comparar tendencias en la expansión de los cultivos de quinua, las condiciones meteorológicas y su influencia en los sistemas hidrológicos regionales; Este estudio revela un aumento significativo en el cultivo de quinua, lo que es consistente con una disminución en las condiciones de la vegetación regional y el almacenamiento de agua (Satgé et al., 2019)



## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La El lago Titicaca de la región Puno, es conocida por ser el lago navegable más alto del mundo y por su rica biodiversidad y su importancia económica, especialmente en la agricultura y la pesca. Sin embargo, en los últimos años, esta región ha experimentado un aumento preocupante en los episodios de sequía, lo que ha generado una serie de desafíos significativos como, cambio climático, escases del agua, pérdida de ecosistemas, impacto en la agricultura y ganadería (Senamhi, 2021)

La sequía en la región de Puno no solo afecta la disponibilidad de recursos hídricos, sino que también amenaza la sostenibilidad de la agricultura y pone en riesgo la biodiversidad única que depende de los ecosistemas acuáticos y terrestres en esta área. Además, las comunidades locales que dependen de la agricultura y la pesca se ven afectadas negativamente, lo que conlleva consecuencias socioeconómicas adversas.

A pesar de la creciente preocupación por la sequía en la región, todavía existe una falta de comprensión integral sobre las causas subyacentes y los factores que contribuyen a este fenómeno. La dinámica de la evapotranspiración, un proceso clave en el ciclo del agua, desempeña un papel fundamental en la sequía, pero su relación exacta con los factores atmosféricos y el cambio climático aún no se ha explorado de manera exhaustiva en el contexto del Lago Titicaca y la región de Puno.

Por lo tanto, es crucial abordar el problema de la sequía en esta región desde una perspectiva científica sólida. Este proyecto de investigación se propone analizar en profundidad la dinámica de la evapotranspiración y su vínculo con la sequía en el contexto

del Lago Titicaca, centrándose en la influencia de los factores atmosféricos y considerando el impacto potencial del cambio climático. La identificación de estas relaciones es esencial para el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación que ayuden a preservar los recursos naturales y a proteger las comunidades locales de los efectos adversos de la sequía en esta región única y valiosa.

## 2.2 Enunciados del problema

Se plantea las siguientes interrogantes:

¿Los factores atmosféricos (Temperatura atmosférica, velocidad del viento y humedad relativa) influirán significativamente en la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno?

¿El incremento de temperatura atmosférica tendrá una relación directa con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno?

¿La velocidad del viento influyen en la evapotranspiración y sequía en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno?

¿La humedad relativa del aire mostrará una correlación negativa con la evapotranspiración y sequía en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno?

## 2.3 Justificación

Este proyecto de investigación, titulado "Dinámica de la Evapotranspiración y Sequía en el Lago Titicaca, Región Puno: Influencia de Factores Atmosféricos," se justifica debido a la creciente preocupación por la sequía en la región de Puno y su impacto en la disponibilidad de recursos hídricos, la agricultura y la biodiversidad. A pesar de los desafíos que enfrenta la región, existe una falta de comprensión integral sobre las causas subyacentes de la sequía y su relación con los factores atmosféricos.

Este proyecto abordará esta brecha de conocimiento al analizar en profundidad la dinámica de la evapotranspiración y su vínculo con la sequía en el contexto del Lago Titicaca, centrándose en la influencia de factores atmosféricos y considerando el impacto potencial del cambio climático. Los resultados de esta investigación proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones informadas y el desarrollo de estrategias de

adaptación y mitigación de la sequía en la región, lo que beneficiará tanto a las comunidades locales como a la sostenibilidad de los recursos naturales en esta área única y valiosa.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo general**

Analizar si los factores atmosféricos (Temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento) influyen significativamente en la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

Analizar la relación de la temperatura atmosférica con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno.

Evaluar el nivel de impacto que la temperatura media mensual tiene en relación con la precipitación media mensual, así como la correlación de la velocidad del viento con la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y su influencia en la intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno

Evaluar la correlación negativa entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración del área del Lago Titicaca de la Región de Puno.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis general**

Los factores atmosféricos (Temperatura atmosférica, velocidad del viento y humedad relativa influyen significativamente en la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

El incremento de temperatura atmosférica tiene una relación directa con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno.



La velocidad del viento influye en la evapotranspiración y sequía en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno.

La humedad relativa del aire muestra una correlación negativa con la evapotranspiración y sequía en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Físicas de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano en Puno, Perú, ubicada a una altitud de 3832 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas de latitud  $-15.824245^\circ$  y longitud  $-70.013445^\circ$ . Dada la naturaleza frígida del clima en la región de Puno, que ha experimentado sequías en los últimos años, se reconoce la necesidad de analizar si los factores atmosféricos (Temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) influyen en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno.

#### 3.2 Población

La población de estudio en este caso consiste en datos meteorológicos e hidrológicos recopilados de estaciones meteorológicas locales y estaciones de monitoreo en la cuenca del Lago Titicaca. No hay un tamaño de muestra específico, ya que se utilizaron datos históricos y actuales disponibles para la región. Se recopilaron series temporales de datos de múltiples estaciones para realizar análisis detallados.

#### 3.3 Muestra

El tamaño de la muestra para estos análisis dependió de la disponibilidad de datos y de la metodología utilizada. Para el análisis de evapotranspiración, se utilizaron datos históricos y actuales de estaciones meteorológicas, por lo que el tamaño de la muestra estuvo influenciado por la cantidad y calidad de estos datos. Para el análisis de sequía, se

aplicaron índices a los datos de precipitación, y el tamaño de la muestra dependió de la cantidad de años de datos disponibles y de la resolución temporal deseada.

### **3.4 Método de investigación**

El presente estudio de investigación se clasifica como aplicado y adopta un enfoque descriptivo correlacional, en consonancia con su objetivo principal. Su propósito central consiste en examinar la posible influencia significativa de los factores atmosféricos, a saber, la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, en la dinámica de la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca. Además, busca analizar cómo estos factores atmosféricos podrían estar relacionados con la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno.

La naturaleza descriptiva del estudio se evidencia en la necesidad de medir varias variables, tales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, con el fin de proporcionar un panorama completo y detallado de las condiciones atmosféricas en la región de estudio. Por otro lado, la orientación correlacional del trabajo se destaca al buscar medir el grado de relación o comparación entre las mencionadas variables atmosféricas

La naturaleza de la investigación se caracteriza como cuantitativa, dado que implica la recopilación sistemática de datos y la aplicación de modelos matemáticos y teorías relacionadas con fenómenos naturales. Este enfoque requiere la implementación del análisis estadístico como herramienta fundamental para examinar de manera rigurosa las interrelaciones entre las variables atmosféricas, tales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. La adopción de métodos cuantitativos proporciona una base metodológica sólida, permitiendo una evaluación precisa de la influencia de estos factores en la dinámica de la evapotranspiración y en la ocurrencia de episodios de sequía en la Región de Puno, particularmente en el área del Lago Titicaca.

La metodología adoptada para respaldar la hipótesis de esta investigación se clasifica como cuasi experimental, conforme a la taxonomía propuesta por (Tamayo Tamayo, n.d.). Este enfoque se caracteriza por su análisis de relaciones causa-efecto, aunque sin la aplicación de un control riguroso sobre todos los factores que podrían incidir en el experimento. Este enfoque resulta apropiado para abordar situaciones naturales, donde llevar a cabo un control exhaustivo de todas las variables no es viable.

En términos más precisos, la investigación no implica la manipulación deliberada de ninguna variable independiente. En su lugar, se procederá a medir variables clave, como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, utilizando datos provenientes de fuentes terrestres, en este caso, a través de la plataforma Giovanni de la NASA. Este enfoque cuasi experimental posibilita el estudio de fenómenos en condiciones del mundo real, reconociendo la impracticabilidad de un control absoluto sobre todas las variables en juego.

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Primer objetivo específico (Analizar la relación de la temperatura atmosférica con la tasa de evapotranspiración). El primer objetivo específico de la investigación se centra en analizar la relación existente entre la temperatura atmosférica y la tasa de evapotranspiración. Para llevar a cabo este análisis, se empleará la plataforma SENAMHI como herramienta fundamental. Esta plataforma proporciona acceso a datos climáticos y atmosféricos recopilados a nivel nacional, permitiendo una evaluación detallada de la temperatura atmosférica en relación con la tasa de evapotranspiración en la región de estudio, específicamente en el área del Lago Titicaca, datos tabla 2.

Tabla 2

*Temperatura media mensual*

<b>Puno</b>			
<b>Latitud:</b>	<b>15°49'13.4"</b>	<b>Periodo:</b>	<b>2023</b>
<b>Longitud:</b>	<b>69°58'26.9"</b>	<b>Altitud</b>	<b>3819 msnm.</b>
<b>Mes</b>	<b>Temperatura media mensual °c</b>		<b>ETP (cm/mes)</b>
Enero	9.4		4.66
Febrero	10.7		4.93
Marzo	10.8		5.71
Abril	8		4.28
Mayo	6.4		3.63
Junio	5.1		2.85
Julio	6.9		3.95
Agosto	7.3		4.07
Septiembre	8.9		4.64
Octubre	12		6.23
Noviembre	12.1		5.86
Diciembre	12.9		6.34

Y adicionalmente se calcula la evapotranspiración por el método Thornthwaite, consiste el método en calcular un índice de calor mensual (i) a partir de las temperaturas, lo cual se utiliza como referencia principal para el análisis empieza con el uso de la formula:(Montaner y Sánchez, 1988)



$$i = (t/5)^{1.514}$$

Donde:

i = es el índice de calor mensual

t = es la temperatura media mensual

Obteniendo el índice de calor anual (I) como la suma de los 12 valores del índice de calor mensual para meses teóricos de 30 días y 12 horas diarias de sol.

$$I = \sum i$$

Donde:

I = índice de calor anual.

A partir de estos datos se propone la formula:

$$ETP = 1.6(10t/I)^a$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial mensual no corregida en mm/día.

a = función compleja de I igual a:

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1.972 \times 10^{-5} I + 0.49239$$

t = temperatura media mensual en °C

corrección para n° días del mes y n° de horas de sol

$$ETP = ETP_{sin\ corr} \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right)$$

ETP = evapotranspiración potencial corregida.

N = Número máximo de horas de sol, depende del mes y la latitud (tabla 2), para la cual se necesita hallar “N” y “d”:

$$Si f = \frac{N}{12}$$

Donde:

f = Factor de reducción

d = Número de días del mes (se coloca el número de días correspondiente a cada mes hasta completar los 12) y se presenta en la tabla 3

Temperaturas medias del año 2023	Temperatura media mensual	Indice de calor mensual	$ETP_{sin\ corr}$	(N)	$f = \frac{N}{12}$	#días del mes	n° de días del mes (d/30)	ETP (cm/mes)
Enero	9.4	2.60	4.82	11.25	0.94	31	1.03	4.66
Febrero	10.7	3.16	5.48	11.58	0.97	28	0.93	4.93
Marzo	10.8	3.21	5.53	12.00	1.00	31	1.03	5.71
Abril	8	2.04	4.10	12.52	1.04	30	1.00	4.28
Mayo	6.4	1.45	3.28	12.85	1.07	31	1.03	3.63
Junio	5.1	1.03	2.62	13.05	1.09	30	1.00	2.85
Julio	6.9	1.63	3.54	12.95	1.08	31	1.03	3.95
Agosto	7.3	1.77	3.74	12.63	1.05	31	1.03	4.07
Septiembre	8.9	2.39	4.56	12.22	1.02	30	1.00	4.64
Octubre	12	3.76	6.14	11.78	0.98	31	1.03	6.23
Noviembre	12.1	3.81	6.19	11.37	0.95	30	1.00	5.86
Diciembre	12.9	4.20	6.60	11.15	0.93	31	1.03	6.34
		(1) Indice de calor anual	a =	1.00	ETP anual		57.165	

Figura 1. Resultados obtenidos utilizando valores medios mensuales y diarios

Evaluar el nivel de impacto que la temperatura media mensual tiene en relación con la precipitación media mensual, así como la correlación de la velocidad del viento con la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y su influencia en la intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno

Para alcanzar este objetivo de evaluar el impacto que la temperatura media mensual tiene en relación con la precipitación media mensual se tomaran datos de la plataforma SENAMHI para el año 2023 y se presentan en la tabla 4.

Tabla 3

Temperatura media mensual y precipitación año 2023

<b>Puno</b>			
<b>Latitud:</b>	<b>15°49'13.4"</b>	<b>Periodo:</b>	<b>2023</b>
<b>Longitud:</b>	<b>69°58'26.9"</b>	<b>Altitud</b>	<b>3819 msnm.</b>
<b>Mes</b>	<b>Temperatura media mensual °C</b>	<b>Precipitación mm/día</b>	
Enero	9.4	4.20	
Febrero	10.7	5.09	
Marzo	10.8	4.42	
Abril	8	0.31	
Mayo	6.4	0.77	
Junio	5.1	0.00	
Julio	6.9	0.21	
Agosto	7.3	0.08	
Septiembre	8.9	0.02	
Octubre	12	1.07	
Noviembre	12.1	2.37	
Diciembre	12.9	1.94	

Así también para calcular la correlación de la velocidad del viento con la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca, se extrajeron datos de la plataforma SENAMHI para el año 2023 y se presenta en la tabla 5.

Tabla 4

*Velocidad del viento media mensual y evapotranspiración media mensual de año 2023*

<b>Puno</b>			
<b>Latitud:</b>	<b>15°49'13.4"</b>	<b>Periodo:</b>	<b>2023</b>
<b>Longitud:</b>	<b>69°58'26.9"</b>	<b>Altitud</b>	<b>3819 msnm.</b>
<b>Mes</b>	<b>Velocidad del viento m/s</b>	<b>Evapotranspiración (cm/mes)</b>	
Enero	3.33	4.66	
Febrero	2.7063	4.93	
Marzo	2.858	5.71	
Abril	2.33	4.28	
Mayo	2.47	3.63	
Junio	2.66	2.85	
Julio	2.69	3.95	
Agosto	2.75	4.07	
Septiembre	3.03	4.64	
Octubre	3.33	6.23	
Noviembre	3.337	5.86	
Diciembre	3.091	6.34	

El Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI) se calcula mediante un proceso detallado que implica la normalización de datos de precipitación. Aquí se presenta una descripción paso a paso del cálculo:

Se obtienen datos mensuales de la precipitación tomados de la plataforma SENAMHI, para el año 2023, luego se calcula la media ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la serie temporal de precipitación. Estos valores se utilizamos para la normalización, seguidamente se debe restar la media ( $\mu$ ) de cada valor mensual de precipitación para obtener las desviaciones con respecto a la media y luego calculamos la normalización por la desviación estándar esto se obtiene dividir cada desviación mensual por la desviación estándar ( $\sigma$ ). Seguidamente, Calculamos el SPI para el Periodo Específico:

Utilizamos la fórmula del SPI:  $SPI = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$ , donde  $X_i$  es la precipitación en el periodo  $i$ ,  $\mu$  es la media y  $\sigma$  es la desviación estándar.

Repetimos el Proceso para Diferentes Periodos:

Calcular el SPI para diversos periodos, como 1, 3, 6, 12 meses. (Iwata et al., 2012)

Tabla 5








*Velocidad del viento media mensual del año 2023*

Mes	Media	Desviación estándar	Anomalías de precipitación mensual
Enero	4.20	8.62	-0.01
Febrero	5.09	8.42	0.07
Marzo	4.42	5.97	0.01
Abril	0.31	0.96	0.02
Mayo	0.77	2.95	-0.03
Junio	0.00	0.00	0.00
Julio	0.21	1.17	-0.02
Agosto	0.08	0.37	0.03
Septiembre	0.02	0.11	-0.02
Octubre	1.07	3.50	0.01
Noviembre	2.37	3.97	0.00
Diciembre	1.94	3.13	0.00
		Acumulación de anomalías	0.06

Se utilizó una tabla de la magnitud del SPI, como se presenta en la Tabla 3, para determinar la intensidad húmeda o seca sobre el área de estudio del lago Titicaca-Puno.

Tabla 6

*Tabla de interpretación de los colores*

Valor SPI	Interpretación	Color
2 a más	Extremadamente mojado	
1.5 a 1.99	Muy mojado	
1.0 a 1.49	Moderadamente mojado	
0.99 a -0.99	Casi normal	
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco	
-1.5 a -1.99	Muy seco	
Menor a -2.0	Extremadamente seco	

Tercer objetivo específico (Evaluar la correlación negativa entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración)

Para alcanzar este objetivo evaluamos la correlación negativa entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca.

Calculamos la correlación negativa, el coeficiente de correlación de Pearson mide el grado de relación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación presupone un valor entre **-1** y **+1**. Si una variable tiende a aumentar mientras la otra disminuye, el coeficiente de correlación es negativo. En cambio, si las dos variables tienden a aumentar al mismo tiempo, el coeficiente de correlación es positivo. La fórmula para calcular el coeficiente de correlación de Pearson es la siguiente:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

Donde:

- n es el número de observaciones.

- $x$  es la primera variable corresponde a la humedad relativa.
- $y$  es la segunda variable corresponde a la evapotranspiración.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 8.

Tabla 7

*Resultados obtenidos utilizando valores medios mensuales de la humedad relativa y Evapotranspiración*

<b>Puno</b>			
<b>Latitud:</b>	<b>15°49'13.4"</b>	<b>Periodo:</b>	<b>2023</b>
<b>Longitud:</b>	<b>69°58'26.9"</b>	<b>Altitud</b>	<b>3819 msnm.</b>
<b>Mes</b>	<b>Humedad</b>		
	<b>relativa</b>	<b>Evapotranspiración</b>	
	<b>(%)</b>	<b>(cm/mes)</b>	
Enero	9.4	78.8	
Febrero	10.7	82.6	
Marzo	10.8	81.2	
Abril	8	71.5	
Mayo	6.4	78.4	
Junio	5.1	77.6	
Julio	6.9	79.7	
Agosto	7.3	77.5	
Septiembre	8.9	76.8	
Octubre	12	75.9	
Noviembre	12.1	73.9	
Diciembre	12.9	78.3	

Este enfoque metodológico contribuirá a una comprensión más profunda de los factores que afectan la evapotranspiración en la región, brindando información valiosa sobre cómo la humedad relativa del aire se relaciona inversamente con este proceso.

Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

La recolección de datos para los objetivos fue realizada en un mismo acto, los cuales fueron, los datos de las temperaturas, precipitación, la velocidad del viento y humedad

relativa. La toma de datos se realiza cada hora y mensual de todo el, año 2023, de las cuales para la evaluación y análisis se escogieron las medias mensuales. En la ejecución de esta investigación, se hará uso exclusivo de la plataforma SENAMHI, como principal recurso para la obtención y análisis de datos atmosféricos. La plataforma SENAMHI, reconocida por su capacidad para proporcionar información detallada y global sobre variables climáticas, se convertirá en el instrumento central para la recopilación de datos relacionados con la temperatura atmosférica, velocidad del viento y humedad relativa del aire en el área del Lago Titicaca, ubicada en la Región de Puno.

La metodología se basará en la extracción y manipulación de datos de la plataforma SENAMHI para evaluar las relaciones entre las variables atmosféricas mencionadas y su impacto en la evapotranspiración, así como en la frecuencia e intensidad de episodios de sequía en la Región de Puno.

Aplicación de prueba estadística inferencial.

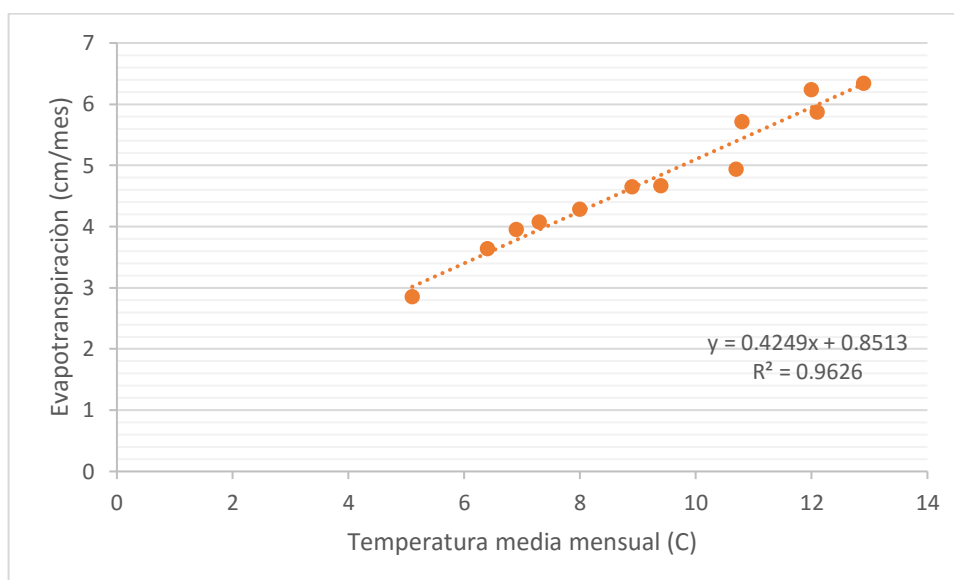
La aplicación de pruebas estadísticas inferenciales en este estudio se realizará mediante el análisis de datos recopilados a través de la plataforma SENAMHI del Perú <https://www.senamhi.gob.pe>. Se emplearán variables clave, como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, y se calcula la evapotranspiración por el método Thornthwaite e índices de sequía con Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) al igual que la plataforma <https://climate.onebuilding.org> y se utiliza el programa DView para leer y evaluar relaciones y patrones significativos en la región del Lago Titicaca como referencia en la comparación de datos meteorológicos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la relación de la temperatura atmosférica con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno.



*Figura 2.* Temperatura media mensual y evapotranspiración correspondiente del año 2023.

En la figura 2 se observan los datos de la temperatura atmosférica media mensual en relación de la evapotranspiración obteniendo coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.9626$  sugiere que aproximadamente el 96.26% de la variabilidad en la evapotranspiración puede explicarse por las variaciones en la temperatura atmosférica media mensual. Este alto valor de  $R^2$  indica una relación estadísticamente significativa y robusta entre la temperatura y la evapotranspiración. En un contexto más amplio, la temperatura atmosférica juega un papel crucial en los procesos de evapotranspiración, ya que influye

directamente en la tasa de vaporización del agua desde las superficies terrestres y la transpiración de las plantas. Este hallazgo puede tener implicaciones importantes para la comprensión de los patrones climáticos y su impacto en la disponibilidad de agua a través de la evapotranspiración. Es esencial considerar estos resultados al analizar las dinámicas hidrológicas y el ciclo del agua en un área específica, ya que la temperatura puede ser un factor determinante en la regulación de la pérdida de agua hacia la atmósfera para el año 2023.

Evaluar el nivel de impacto que la temperatura media mensual tiene en relación con la precipitación media mensual, así como la correlación de la velocidad del viento con la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca y su influencia en la intensidad de los episodios de sequía en la Región de Puno.

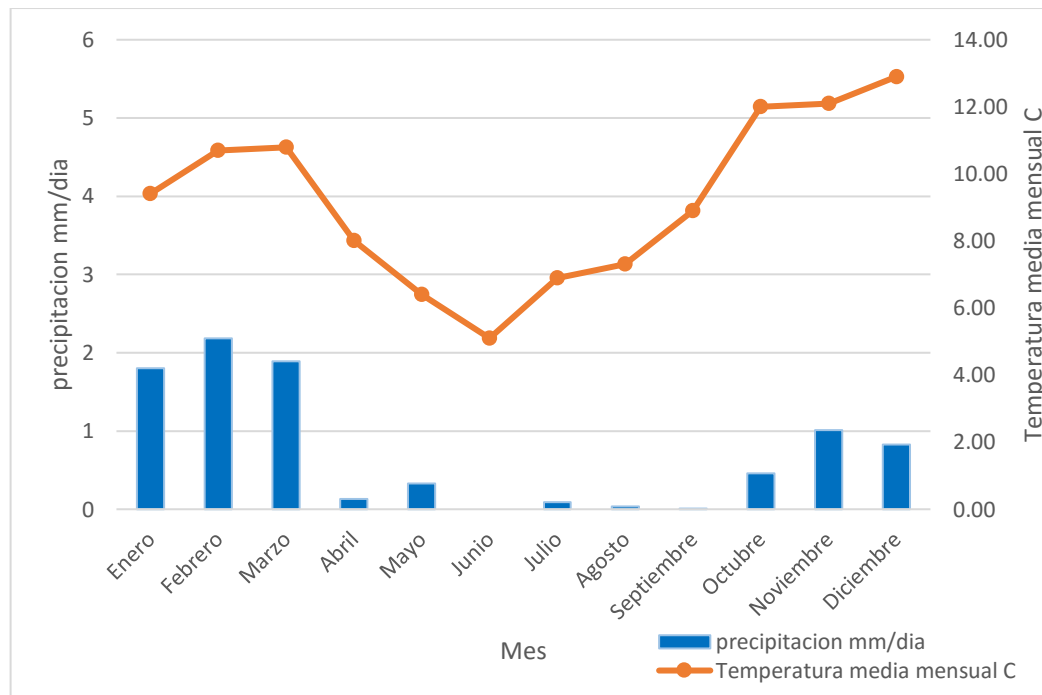


Figura 3. Precipitación media mensual y temperatura media mensual del año 2023.

La Figura 3 ofrece un análisis detallado de las condiciones climáticas mensuales para el año 2023, centrándose en la temperatura media mensual y la precipitación media mensual, y expresando todas las medidas en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Durante el mes de marzo, se registra la temperatura media mensual más alta del año, alcanzando 10.7 °C, acompañada por una precipitación media mensual de 5.09 mm/día. Estos valores sugieren condiciones relativamente cálidas y una cantidad apreciable de

precipitación para este mes en particular. En contraste, junio exhibe las condiciones más frescas, con la temperatura media descendiendo a 5.1 °C y una precipitación media de 0.00 mm/día, indicando un período más fresco con una disminución en la cantidad de precipitación.

Para el mes de diciembre, la temperatura media mensual asciende a 12.1 °C, acompañada por una precipitación media mensual de 2.37 mm/día. Estos valores sugieren condiciones más cálidas en comparación con los meses más fríos, con una cantidad de precipitación que también experimenta un aumento en comparación con junio. Este análisis proporciona una visión detallada de las variaciones estacionales en la temperatura y la precipitación a lo largo del año, siendo esencial para comprender las características climáticas y planificar actividades agrícolas, de gestión del agua y otras decisiones relacionadas con el clima.

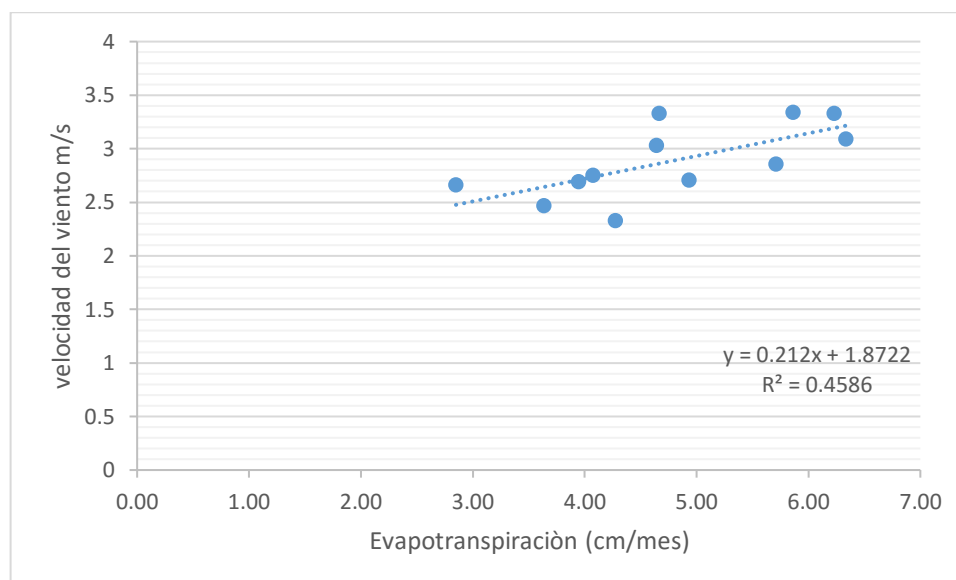
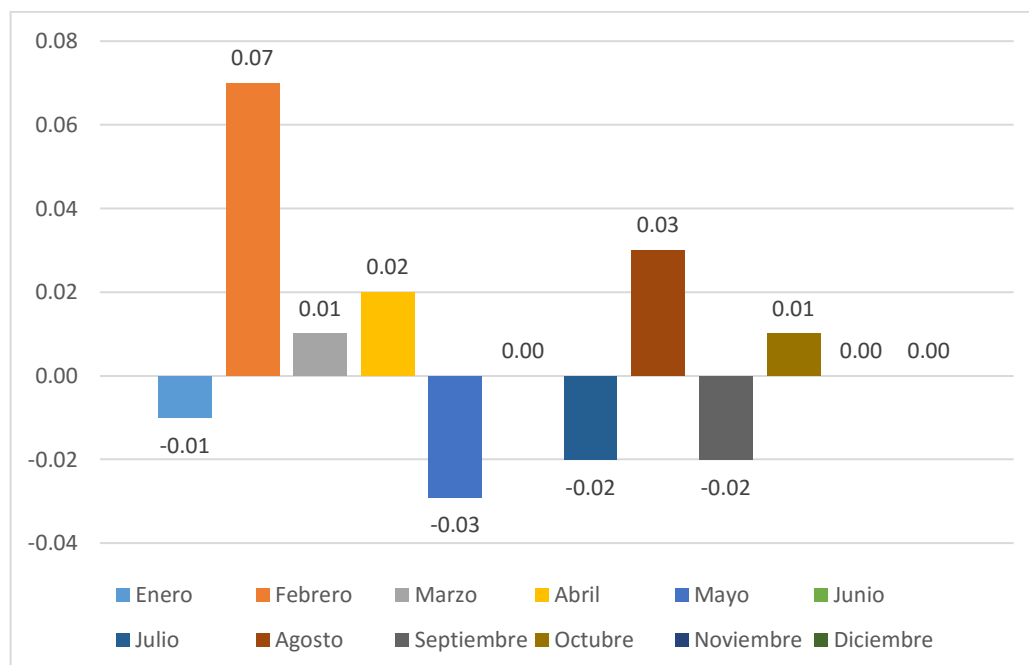


Figura 4. Velocidad media mensual en relación de la evapotranspiración media mensual.

En la Figura 4, se presenta una relación sustancial entre la velocidad media mensual del viento y la evapotranspiración, con un coeficiente de correlación de 0.4586. Este valor indica que alrededor del 45.86% de la variabilidad en la evapotranspiración puede ser explicada por la variabilidad en la velocidad del viento a lo largo de los meses analizados. La visualización destaca la presencia de una conexión moderada entre estos dos factores climáticos, sugiriendo que la velocidad del viento desempeña un papel significativo en la regulación de los procesos de evaporación y transpiración en la región.

Se observan patrones estacionales en la relación, indicando que la influencia de la velocidad del viento en la evapotranspiración puede variar a lo largo del año. Este análisis proporciona información valiosa para comprender cómo la dinámica del viento puede afectar los procesos hidrológicos en el área del Lago Titicaca, teniendo implicaciones prácticas en la gestión del agua y la agricultura. La identificación de tendencias y anomalías en la correlación brinda un punto de partida para investigaciones más detalladas sobre la interacción entre la velocidad del viento y la evapotranspiración, permitiendo una comprensión más completa de los fenómenos climáticos locales.

Tomamos como referencia la tabla 6 ya haciendo uso del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para el conjunto de datos de precipitación ver figura



*Figura 5.* Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI)

La Figura 5 presenta el Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI), que varía en un rango de 0.99 a -0.99. Este índice es fundamental en la evaluación de las condiciones de sequía, ya que abarca un espectro que va desde condiciones extremadamente secas hasta condiciones extremadamente húmedas. La variación en el SPI proporciona una representación detallada de las fluctuaciones en la disponibilidad de precipitación a lo largo del tiempo, permitiendo una comprensión más profunda de los patrones de sequía en la región.

La presencia de valores positivos en el SPI indica períodos de exceso de precipitación, mientras que los valores negativos sugieren déficits de precipitación. La amplitud de la variación en este rango de -0.99 a 0.99 ofrece una medida cuantitativa de la intensidad de las condiciones de sequía o humedad en diferentes momentos.

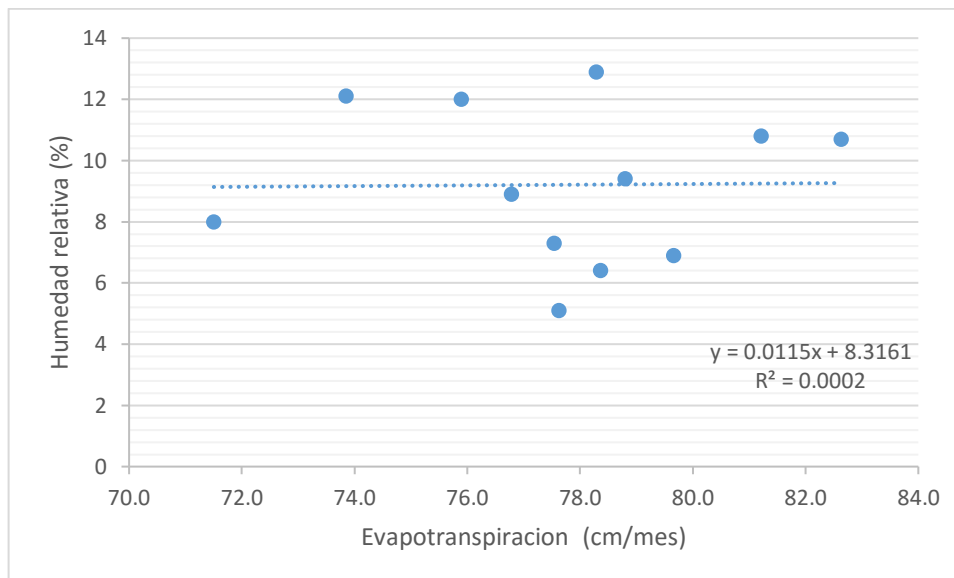


Figura 6. Relación de la humedad relativa y la evapotranspiración.

La figura 6, muestra la correlación de 0.0002 entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración del área del Lago Titicaca en la Región de Puno indica una relación extremadamente débil o prácticamente inexistente entre estas dos variables en el conjunto de datos analizado, sugiere que menos del 0.02% de la variabilidad en la evapotranspiración puede ser explicada por la variabilidad en la humedad relativa del aire. En otras palabras, la humedad relativa del aire parece tener una influencia mínima o nula en los patrones de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca.

## DISCUSIÓN

Relación de la temperatura atmosférica con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno se destaca la fuerte correlación entre la temperatura atmosférica media mensual y la evapotranspiración, con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0.9626. Esto sugiere que aproximadamente el 96.26% de la variabilidad en la evapotranspiración puede explicarse por las variaciones en la temperatura atmosférica. Este hallazgo resalta la importancia de la temperatura en los procesos de evapotranspiración.

Por otro lado, (Tarqi, 2014), se centra en la estimación de la evapotranspiración potencial (ETp) en la región de Alto Beni, norte de La Paz, utilizando diversos modelos de la FAO. Se evalúan modelos como Penman-Monteith, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves y Turc adaptados a zonas tropicales. Los resultados indican que Penman-Monteith y Thornthwaite presentan un mejor ajuste, destacando su utilidad en la región tropical. En el Cerna, (2019), se aborda el desafío global de determinar la evapotranspiración en la agricultura, utilizando ecuaciones empíricas de Hargreaves y Turc en comparación con la ecuación estándar Penman-Monteith (FAO) en Mataquita-Jangas durante el periodo 2004-2013. Los modelos desarrollados muestran un ajuste destacado, especialmente en febrero, subrayando la utilidad de los modelos empíricos en la región de estudio, (Ortiz y Chile A., 2020) evalúa la precisión de nueve métodos para estimar la ETo en el Valle de Tumbaco, Pichincha (Ecuador). Se destaca que los métodos basados en temperatura y radiación solar subestiman la ETo en julio y agosto al no considerar la velocidad del viento. Este resultado resalta la importancia de incluir la velocidad del viento en los modelos para mejorar la precisión de las estimaciones de ETo.

A nivel de impacto que la temperatura media mensual tiene en relación con la precipitación media mensual, así como la correlación de la velocidad del viento con la evapotranspiración. La comparación entre el análisis detallado de las condiciones climáticas mensuales para el año 2023 y el estudio de Becerra et al. (2022), centrado en el cálculo de la evaporación en la microcuenca del río Coñaque, Ecuador, revela aspectos clave sobre las variaciones climáticas y su repercusión en la disponibilidad de agua. El análisis mensual destaca la variabilidad estacional, evidenciando que marzo registra la temperatura media mensual más alta, acompañada por una precipitación significativa, mientras que junio exhibe condiciones más frescas y una disminución en la precipitación.

El estudio de Becerra et al. se enfoca en la microcuenca, calculando la evaporación y considerando la variabilidad en la precipitación mensual. La variación climática estacional en él puede influir en la cantidad y distribución de la precipitación, lo cual, a su vez, afecta directamente la evaporación en la microcuenca estudiada. La información, que proporciona una visión general de las condiciones estacionales, se complementa con el enfoque específico de Becerra et al. en la microcuenca. La mayor cantidad de lluvia en febrero y marzo, según el estudio de Becerra et al., coincide con la observación del primer texto sobre una alta precipitación en marzo. Ambos textos resaltan la relevancia de comprender las variaciones climáticas y sus consecuencias en la disponibilidad de agua. La variabilidad estacional presentada en el primer texto puede tener implicaciones directas en la evaporación de la microcuenca, como indica el estudio de Becerra et al. al determinar la velocidad de evaporación. Combinar estos enfoques proporciona una perspectiva integral de los procesos climáticos y sus impactos específicos en una región determinada, siendo esencial para la gestión hídrica, la planificación agrícola y la toma de decisiones relacionadas con el clima.

La relación significativa entre la velocidad media mensual del viento y la evapotranspiración, como se expone en nuestros resultados, destaca la influencia del viento en los procesos hidrológicos en la región del Lago Titicaca. El coeficiente de correlación del 45.86% indica una conexión moderada, señalando que la velocidad del viento desempeña un papel considerable en la regulación de la evaporación y transpiración. La visualización de patrones estacionales en la relación sugiere que la influencia de la velocidad del viento en la evapotranspiración varía a lo largo del año, proporcionando información valiosa para la gestión del agua y la agricultura en la región. En contraste, de Ortiz y Chile A. (2020) aborda la evaluación de métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en el Valle de Tumbaco, Pichincha (Ecuador). Se destaca que los métodos basados en temperatura y radiación solar subestimaron la ET<sub>o</sub> en julio y agosto al no considerar la velocidad del viento. La velocidad del viento, en un rango de 1.1 a 1.7 m/s, se revela como un factor esencial para la precisión en las estimaciones de evapotranspiración. Estos resultados resaltan la importancia de incluir la velocidad del viento en los modelos para mejorar la exactitud de las estimaciones de ET<sub>o</sub> en la región estudiada. La conexión entre ambos resultados radica en la relevancia de la velocidad del viento en los procesos hidrológicos. Mientras nuestros resultados ofrece una perspectiva específica sobre la relación entre la velocidad del viento y la

evapotranspiración en el contexto del Lago Titicaca, (Ortiz & Chile A., 2020) respalda la importancia de considerar la velocidad del viento al evaluar métodos para estimar la ETo. Esta discusión resalta la coherencia y complementariedad entre ambos estudios, subrayando la necesidad de tener en cuenta la velocidad del viento en evaluaciones climáticas y modelos hidrológicos para una gestión más precisa del agua y la agricultura.

Los resultados proporcionan distintos enfoques para evaluar y monitorear la sequía, utilizando índices y métodos diversos para analizar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones en diferentes regiones. Se introduce el Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI), ofreciendo una visión detallada de las fluctuaciones en la disponibilidad de precipitación a lo largo del tiempo. Este índice abarca desde condiciones extremadamente secas hasta húmedas, permitiendo una comprensión profunda de los patrones de sequía. Abbasi et al. (2021), se centra en la predicción de sequía mediante el modelo ARIMA y el algoritmo genético, analizando el monitoreo de sequía en la estación sinóptica de Tabriz a lo largo de 53 años con el Índice Estándar de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). Se revelan tres largos períodos de sequía, proporcionando información valiosa sobre las tendencias de sequía a lo largo del tiempo. De Martinez (2018), aborda la variación espacio-temporal de la evapotranspiración real en el Valle del Cauca, utilizando el Índice de Evapotranspiración Estandarizado (SETI) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). los resultados comparten el uso de índices como SPI o SPEI para evaluar la sequía, aunque con enfoques y objetivos ligeramente diferentes. Mientras que los resultados de esta investigación destacan la variación del SPI para comprender las condiciones de sequía en general, el Abbasi et al. (2021), y el Martinez (2018), se centran en períodos específicos y en la relación entre evapotranspiración y sequía en ubicaciones particulares. Estos enfoques combinados contribuyen a una comprensión más completa de las condiciones de sequía y sus variaciones en el tiempo y el espacio.

La comparación entre los resultados de esta investigación, que revela una correlación extremadamente débil entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca, y (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2021), que aborda el impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y el periodo de crecimiento en México, ofrece perspectivas contrastantes. Mientras que los resultados de esta investigación sugieren una influencia mínima o nula de la humedad relativa del aire en la evapotranspiración, (Monterroso et al, 2021) destaca cambios significativos en la





evapotranspiración potencial en México debido al aumento de temperatura y la reducción de la humedad relativa proyectada. Esta divergencia resalta la importancia de considerar contextos específicos y condiciones climáticas regionales al interpretar las relaciones entre la humedad y la evapotranspiración.

## CONCLUSIONES

Relación de la temperatura atmosférica con la tasa de evapotranspiración en el área del Lago Titicaca de la Región de Puno se destaca la fuerte correlación entre la temperatura atmosférica media mensual y la evapotranspiración, con un coeficiente de correlación del 96.26% de la variabilidad en la evapotranspiración esto explica que existen variaciones en la temperatura atmosférica.

La variabilidad estacional, evidenciando que marzo registra la temperatura media mensual más alta, acompañada por una precipitación significativa, mientras que junio exhibe condiciones más frescas y una disminución en la precipitación, Se introduce el Índice de Sequía de Reconstrucción de Precipitación Estándar (SPI), ofreciendo una visión detallada de las fluctuaciones en la disponibilidad de precipitación a lo largo del tiempo. Este índice abarca desde condiciones extremadamente secas hasta húmedas, permitiendo una comprensión profunda de los patrones de sequía.

los resultados revelan una correlación extremadamente baja de 0.02% entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración en el área del Lago Titicaca, indicando una relación prácticamente inexistente entre estas dos variables. La escasa influencia detectada, representada por menos del 0.02% de la variabilidad en la evapotranspiración, sugiere que la humedad relativa del aire no desempeña un papel significativo en los patrones de evapotranspiración en la Región de Puno.



## RECOMENDACIONES

la Región de Puno, se recomienda enfocar los esfuerzos de monitoreo climático y estudios hidrológicos en la evaluación continua de la relación entre la temperatura atmosférica y la tasa de evapotranspiración. Además, se sugiere llevar a cabo análisis más detallados sobre la influencia de la radiación solar y la velocidad del viento en la evapotranspiración, considerando su impacto en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la región. Por último, se aconseja realizar investigaciones adicionales para explorar la correlación negativa entre la humedad relativa del aire y la evapotranspiración, a fin de comprender mejor esta relación y fortalecer las estrategias de gestión hídrica en el área del Lago Titicaca. Estas recomendaciones contribuirán a una comprensión más completa de los procesos climáticos locales y respaldarán iniciativas de manejo sustentable de los recursos hídricos en la Región de Puno.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi A et al. (2021). *Estimation of ARIMA model parameters for drought prediction using the genetic algorithm.*
- Allen, et al. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper Crop by. *Irrigation and Drainage*, 300(56), 300. <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>
- Alsamamra, H. (2019). Estimation of Global Solar Radiation from Temperature Extremes: A Case Study of Hebron City, Palestine. *Journal of Energy and Natural Resources*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.jenr.20190801.11>
- Arnold, T. E., Hillman, A. L., Abbott, M. B., Werne, J. P., Mcgrath, S. J., & Arkush, E. N. (2021). Drought and the collapse of the Tiwanaku Civilization : New evidence from Lake Orurillo , Peru. *Quaternary Science Reviews*, 251, 106693. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106693>
- Azua Barron, M., Arteaga-Ramirez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Quevedo-Nolasco, A. (2020). Calibración y evaluación de modelos matemáticos para calcular evapotranspiración de referencia en invernaderos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 125–137. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1906>
- Becerra, J., National, S., & Pardo, M. A. (2022). *Cálculo de la evaporación de agua en la microcuenca agrícola del río Coñaque , Ecuador. September.*
- Cátedra de climatología agrícola 2009 unidad 2:* (2009). 1–27.
- Chacpi Cerna, L. K. (2019). *Modelos Para Estimar La Evapotranspiración De Referencia Con Las Ecuaciones De Hargreaves Y Turc, Respecto De La Ecuación Estándar Penman Monteith. Sector Mataquita-Jangas-Huaraz 2013.* 109. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3619>
- Degano, M. F., Rivas, R. E., Carmona, F., Faramiñán, A., & Rodríguez, P. O. (2021). Calibration of the potential evapotranspiration product “mod16a2” for the argentinian pampas region. *Boletín Geológico y Minero*, 132(1–2), 167–174. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.1-2.017>
- Garay. (2022). “ *APLICACIÓN DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA ANALIZAR SEQUÍAS EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO* ,.

- Gaxiola. (2021). Doctor en Ciencias. *UMBRAL DE SEQUÍA EN EL DESIERTO SONORENSE: RELACIÓN ENTRE RADIACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.*, *I*(Meteorología), 57.
- Guillermo, E., & Mansilla. (2019). *Modelo desarrollado en Python , para determinar la disponibilidad del recurso hídrico superficial y efectos de la variabilidad climática en la cuenca del río Atulapa , Esquipulas , Chiquimula , Guatemala . Estudiante : Edwin Guillermo Santos Mansilla Tuto.*
- Huaroma Villegas, Y. S. (2025). *Facultad de ingeniería escuela académico profesional de ingeniería ambiental.*
- Huerta, A. (2012). *Vulnerabilidad de la disponibilidad de los recursos hídricos en el Perú frente al cambio climático: Análisis probabilístico de Budyko.* 511, 7995788.
- Iwata, T., Nishiyama, N., Nagano, K., Izumi, N., Tsukioka, T., Chung, K., Hanada, S., Inoue, K., Kaji, M., & Suehiro, S. (2012). Preoperative serum value of sialyl Lewis X predicts pathological nodal extension and survival in patients with surgically treated small cell lung cancer. *Journal of Surgical Oncology*, 105(8), 818–824. <https://doi.org/10.1002/jso.23002>
- Jacobs, A. F. G., & De Bruin, H. A. R. (1998). Makkink's equation for evapotranspiration applied to unstressed maize. *Hydrological Processes*, 12(7), 1063–1066. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19980615\)12:7<1063::AID-HYP640>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19980615)12:7<1063::AID-HYP640>3.0.CO;2-2)
- Jaime Wright Gilmore. (1988). Estimacion De Los Promedios Diarios Y Mensuales De La Radiación. In *Uniciencia* (pp. 39–46).
- Jiménez, R. M. R., Capa, Á. B., & Lozano, A. P. (2004). *Meteorología Y Climatología.* <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Jordan I et al. (2019). *A Methodology for Flash Drought Identification : Application of Flash Drought Frequency across the United States.* 833–846. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0198.1>
- Liu, Z., Lu, J., Ph, D., Huang, J., Ph, D., Chen, X., Ph, D., Zhang, L., & Ph, D. (2021). *Projection of Reference Crop Evapotranspiration under Future Climate Change in*

- Poyang Lake Watershed , China.* 26(2006), 1–17.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002020](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002020)
- Macías-Carranza, V., & Cabello Pasini, A. (2021). Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 849–863. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2816>
- Martinez. (2018). *ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN EL VALLE DEL CAUCA Y SU RELACIÓN CON LA AMENAZA DE SEQUÍA METEOROLÓGICA, ENTRE LOS AÑOS 2000 AL 2015.*
- Miguel, M. M. (2023). *Tendencia de la evapotranspiración en Cuautitlán Izcalli, México y su importancia en las actividades agrícolas.*
- Montaner, M., & Sánchez, E. (1988). Aproximación, Por Le Método De Thornthwaite, Al Cálculo De La Infiltración De La Lluvia Útil. *Papeles de Geografía*, 14, 223–235.
- Monteith. (1965). *Cálculo de ET 0 : MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH.* 1–13.
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1–19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Ortiz, R. S., & Chile A., M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 070–079. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81–92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:otaosh>2.3.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:otaosh>2.3.co;2)
- Qian Ge, et. (2023). *Optimal Determination and Dynamic Control Analysis of the Plateau Lakes.*
- Rahimi, I., Bakhtiari, B., Qaderi, K., & Aghababaie, M. (2012). Calibration of angstrom equation for estimating solar radiation using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm (Case study: Mashhad-east of Iran). *Energy Procedia*, 18(1), 644–651.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.078>

- Revueltas, J. E., Zabaleta, A., Mercado, T., & Aguirre, S. (2020). Changes in local climate and its effects on micro-basins water regulation in Magdalena, Northern Colombia. *Informacion Tecnologica*, 31(6), 193–205. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600206>
- Rios M. (2021). ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN AL DESARROLLO DE CONDICIONES DE SEQUÍA EN LA REGIÓN CHOROTEGA. *ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN AL DESARROLLO DE CONDICIONES DE SEQUÍA EN LA REGIÓN CHOROTEGA*, 1(Meteorologia), 91.
- Satgé, F., Hussain, Y., Xavier, A., Zolá, R. P., Salles, L., Timouk, F., Seyler, F., Garnier, J., Frappart, F., & Bonnet, M. P. (2019). Unraveling the impacts of droughts and agricultural intensification on the Altiplano water resources. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279(July), 107710. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107710>
- Senamhi. (2017). *ATLAS DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS DE LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL TITICACA*.
- SENAMHI. (2021). *Las Caras De La Sequía*. 1–34. [www.euroclimaplus.org](http://www.euroclimaplus.org)
- Serway, R. A., & Kirkpatrick, L. D. (1988). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. In *The Physics Teacher* (Vol. 26, Issue 4). <https://doi.org/10.1119/1.2342517>
- Shahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J., Haie, N., & Santos, F. (2012). Hargreaves and Other Reduced-Set Methods for Calculating Evapotranspiration. *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*, January. <https://doi.org/10.5772/18059>
- Tamayo Tamayo, M. (n.d.). . [www.noriega.com.mx](http://www.noriega.com.mx)
- TARQUI, C. E. C. (2014). Universidad Mayor De San Andres. *Memoria De Trabajo Dirigido "Gobierno Autonomo Municipal De Viacha,"* 48, 01–115. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25934/T-2902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Torres-batl, J., & Pillco-zol, R. (2020). *Mapping Evapotranspiration , Vegetation and Precipitation Trends in the Catchment of the Shrinking Lake Poop ó.*
- V, R. L., & Prieto, E. A. T. (2022). *referencia ( ETo )? Do mesh houses influence reference evapotranspiration ( ETo )? Resumen Introducción Materiales y métodos.* 47–54.
- Vargas A. (2021). Universidad nacional de huancavelica. *ESTIMACIÓN DE ÍNDICES DE SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO ICHU UTILIZANDO DATOS GENERADOS POR TELEDETECCION- HUANCAVELICA-2019,* Tesis(Meteorología), 205.
- Vega F. (2018). Variabilidad Espacio - Temporal de las Sequias en el Perú y el pligro asociado al Fenomeno del niño. In *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA* (Vol. 1, Issue Recursos Hidricos).
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Yoon, C. (2014). Conceptos basicos de la evaporacion. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 3–20.
- YUNUS A. ÇENGEL. (2019). Termodinamica. In *The Physics Teacher* (9th ed., p. 983). Universidad Nacional Autónoma de México.



## ANEXO

### Anexo 1. Datos del mes de enero (SENAMHI, 2023)

Estación: LOS UROS				
Departamento :	PUNO	Provincia :	PUNO	Distrito: PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud: 3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088	
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día) TOTAL
	MAX	MIN		
01/01/2023	15.2	6.4	79.2	6.8
02/01/2023	15.2	5.6	86.2	2.1
03/01/2023	17.8	6.6	82.8	0
04/01/2023	16.4	5.8	78.3	2.7
05/01/2023	15.2	5.2	80.2	0.2
06/01/2023	16	6.8	78.7	6.1
07/01/2023	16.8	7.6	83.1	0.1
08/01/2023	16.4	5.8	80.5	0
09/01/2023	17.6	3.6	75.6	0.7
10/01/2023	18	2.8	73	0.3
11/01/2023	17.2	2.4	78.3	0
12/01/2023	18	3	75	0
13/01/2023	18.6	2.2	69.7	0
14/01/2023	17.8	-0.2	76.4	0
15/01/2023	18.4	0.8	71.5	0
16/01/2023	17	2	77.2	7.2
17/01/2023	16.6	4.6	76.8	0.4



18/01/2023	16	5.2	82.4	0
19/01/2023	14.2	6.6	81.9	12.3
20/01/2023	17.4	4	73.5	0.9
21/01/2023	18	4.8	77.4	0
22/01/2023	17.4	3.6	76.2	2.2
23/01/2023	17.8	5.2	75.3	0
24/01/2023	19	7.2	79.9	0.3
25/01/2023	16.8	6.8	84.5	43
26/01/2023	16.4	6.4	83.4	11.6
27/01/2023	16	6	82.2	5.4
28/01/2023	14.6	6.6	81.4	5.9
29/01/2023	13.6	6.2	84.7	1.5
30/01/2023	14	7.4	81.2	20.6
31/01/2023	15.4	6	76.2	0
MAX Y MIN	19	-0.2	78.7967741 9	4.203225806
PROMEDIO			9.4	

---

**Anexo 2. Datos del mes de febrero (SENAMHI, 2023)**

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/02/2023	11.4	5.2	86.4	2.9
02/02/2023	16.2	5.6	80.3	16.3
03/02/2023	14.6	6.2	87.9	20.3
04/02/2023	10.2	6	97.1	30
05/02/2023	12.4	2.4	89.7	5.6
06/02/2023	13	4.6	95.8	12.3
07/02/2023	14.8	6.6	84.6	0.6
08/02/2023	16.2	7.2	81.5	8.4
09/02/2023	15.6	6.8	81.3	23.8
10/02/2023	15.4	7	87.9	0.2
11/02/2023	16	8	92	3.9
12/02/2023	16.4	6.6	82.3	0
13/02/2023	15.2	7.2	83.1	0.2
14/02/2023	16.4	6.8	79.6	0
15/02/2023	18.4	4.8	74.5	0
16/02/2023	19	7.2	79.2	0
17/02/2023	18.2	3.8	79.2	2.3
18/02/2023	15.6	5.4	76.7	0.2
19/02/2023	17.4	3.6	79.1	0



20/02/2023	16	8	83.7	14.6
21/02/2023	16.8	6.2	79.1	0
22/02/2023	16.6	5	82	0.4
23/02/2023	17.2	7.8	78.8	0
24/02/2023	18.6	5.2	77.6	0
25/02/2023	18.2	3.4	75.7	0
26/02/2023	18.8	2.6	78.2	0.6
27/02/2023	16.8	6.4	83.9	0
28/02/2023	19	3.4	76.6	0
MAX Y MIN	19	2.4	82.635714 29	5.092857143
PROMEDIO			10.7	

---

### Anexo 3. Datos del mes de marzo (SENAMHI, 2023)

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD D RELATIV A (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/03/2023	18.6	5	77.2	0
02/03/2023	19.2	2.4	70.5	0
03/03/2023	17.8	5.4	75.9	0
04/03/2023	18.4	3.6	83.7	0
05/03/2023	16.6	7.2	81.2	0
06/03/2023	17.8	6.4	80.4	0
07/03/2023	18.2	4.8	80.7	0.7
08/03/2023	17.4	6.2	82.1	0
09/03/2023	16.2	3.6	80.3	0
10/03/2023	16.8	5.2	88.1	0
11/03/2023	15.6	7.6	88.9	0.1
12/03/2023	16.8	5.4	83.6	1
13/03/2023	17.2	3.4	77.5	0
14/03/2023	17.4	6.8	82.3	4
15/03/2023	17	5.8	84.2	0.3
16/03/2023	13.8	6.2	82.9	12.5
17/03/2023	13.4	5.4	81.7	23.3
18/03/2023	12.8	5.6	79.3	7.7
19/03/2023	15.2	6	80.1	8.6



20/03/2023	14	5	82.2	18.3
21/03/2023	12.8	4.4	79.2	9.8
22/03/2023	13	6.2	85.4	6.5
23/03/2023	14.6	6.4	80.1	9
24/03/2023	15.4	5	80.8	12.7
25/03/2023	16	5.4	81.6	7.6
26/03/2023	16.8	5.2	77.7	0.7
27/03/2023	15.2	6	85	2.5
28/03/2023	15.2	4.8	83.9	1
29/03/2023	16.4	5.8	78.5	5.5
30/03/2023	15	5.2	78.2	1.9
31/03/2023	13.6	6.6	84.5	3.2
MAX Y MIN	19.2	2.4	81.216129 03	4.416129032
PROMEDIO			10.8	

---

#### Anexo 4. Datos del mes de abril (SENAMHI, 2023)

Estación : LOS UROS					
Departamento :	PUNO	Provincia :	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/04/2023	15.8	5.4	81.2	0
02/04/2023	16.4	5	76.4	0
03/04/2023	15	6.2	76.4	0
04/04/2023	13.4	3.4	73.4	1.3
05/04/2023	15.6	3.2	72.4	0
06/04/2023	15.2	2.2	74.8	0
07/04/2023	14.6	2.8	81.3	4.3
08/04/2023	13.8	5	79	3
09/04/2023	15.4	3	74.7	0
10/04/2023	16	2.8	74.9	0
11/04/2023	15.8	4.6	74	0
12/04/2023	16.6	2.8	70	0
13/04/2023	17.2	4.4	70.5	0
14/04/2023	17.4	3	72.9	0
15/04/2023	16.8	4.2	71.2	0.8
16/04/2023	17.2	2.4	75	0
17/04/2023	16.8	1.8	71	0
18/04/2023	17.4	2.6	68.9	0
19/04/2023	17.8	0.4	67.7	0



20/04/2023	17	2.2	75.5	0
21/04/2023	18	1.8	64.5	0
22/04/2023	17.6	1.2	59.4	0
23/04/2023	16.6	2	68.2	0
24/04/2023	16.2	0.2	64.2	0
25/04/2023	17	0	63.6	0
26/04/2023	16.4	-0.6	65.5	0
27/04/2023	16.4	-1	67.8	0
28/04/2023	15.8	-1.6	72.8	0
29/04/2023	17.2	-2	71.4	0
30/04/2023	16.8	-0.4	66.5	0
			71.50333333	
MAX Y MIN	18	-2	3	0.3133333333
PROMEDIO			8	

---



**Anexo 5. Datos del mes de mayo (SENAMHI, 2023)**

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9'	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día) TOTAL
	MAX	MIN		
01/05/2023	17.4	0.6	70.2	0
02/05/2023	18	-0.8	66.7	0
03/05/2023	16.6	1.4	75.2	0
04/05/2023	17.2	1.2	75.5	0.3
05/05/2023	15.4	4.8	81.2	3.5
06/05/2023	12.8	4.6	88.9	0.7
07/05/2023	14.2	4.4	76.4	2.4
08/05/2023	12.6	4	87.1	1
09/05/2023	13.8	1.2	71.9	0
10/05/2023	14.6	0	75.5	0
11/05/2023	15	1	77.3	0
12/05/2023	13.2	2	85.3	16.1
13/05/2023	14	2.8	82.3	0
14/05/2023	15.6	2.4	82.1	0
15/05/2023	15.8	0.2	80.2	0
16/05/2023	16.4	-1.2	76.4	0
17/05/2023	17	-3	71.2	0
18/05/2023	15	-1.2	79.5	0
19/05/2023	16.4	-0.8	81.7	0



20/05/2023	15.6	0.4	81.3	0
21/05/2023	16.8	3	74.6	0
22/05/2023	14.6	-4	82.3	0
23/05/2023	14.4	-1.4	83.4	0
24/05/2023	15.4	-1.8	74.3	0
25/05/2023	15.8	-2.6	82.8	0
26/05/2023	16	1.8	76.7	0
27/05/2023	14.2	3	84.7	0
28/05/2023	14.6	4.6	83.7	0
29/05/2023	17.2	5.2	71	0
30/05/2023	16	-5.2	74.1	0
31/05/2023	15.8	-4.8	75.8	0
MAX Y MIN	18	-5.2	78.3	0.774193548
PROMEDIO			6.4	

---

Anexo 6. Datos del mes de junio (SENAMHI, 2023)

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9'	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/06/2023	16.4	-4.6	80.2	0
02/06/2023	17	-3.6	75.5	0
03/06/2023	17.6	-3	71.8	0
04/06/2023	15.2	-2.2	73.4	0
05/06/2023	15.4	-2.4	80	0
06/06/2023	14.8	-2.8	79.4	0
07/06/2023	15.6	-1.6	81.1	0
08/06/2023	15	-4	77.6	0
09/06/2023	14.6	-3.2	73	0
10/06/2023	14.8	-4.4	77	0
11/06/2023	16.6	-2.6	75.5	0
12/06/2023	17.4	-2	77.4	0
13/06/2023	17.2	-1	70.8	0
14/06/2023	17.4	-2.2	79	0
15/06/2023	16	-2	75.7	0
16/06/2023	15.8	-3.6	77.4	0
17/06/2023	16.4	-4.8	79	0
18/06/2023	15	-2.2	74.9	0



19/06/2023	17.2	-3.6	78.7	0
20/06/2023	16	-3.4	79.7	0
21/06/2023	15.2	-4	82.8	0
22/06/2023	16.6	-4.4	76.6	0
23/06/2023	14.4	-7	82.6	0
24/06/2023	15.8	-7.4	79.6	0
25/06/2023	14	-4.6	81	0
26/06/2023	15.2	-3.8	81.1	0
27/06/2023	15.4	-5.6	74.5	0
28/06/2023	16	-5	81.8	0
29/06/2023	16.8	-2.6	74.2	0
30/06/2023	15.6	-1.8	77.5	0
MAX Y MIN	17.6	-7.4	77.626666 67	0
PROMEDIO			5.1	

---

Anexo 7. Datos del mes de julio (SENAMHI, 2023)

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológico a	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD D RELATIV A (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día) TOTAL
	MAX	MIN		
01/07/2023	14.8	-3.8	78	0
02/07/2023	15.4	-2.6	77.6	0
03/07/2023	16.6	-3.6	79.1	0
04/07/2023	17	-4.2	76.8	0
05/07/2023	17.6	-4.6	79.6	0
06/07/2023	16.4	-2.4	78	0
07/07/2023	17.2	-3	80.2	0
08/07/2023	17.8	-2.8	77.7	0
09/07/2023	18	-3.4	77.8	0
10/07/2023	16.8	-1.8	82.3	0
11/07/2023	17.4	-1.2	76.7	0
12/07/2023	18.2	0.6	76.7	0
13/07/2023	18.8	-3.6	78.7	0
14/07/2023	17.6	-1.8	81.9	0
15/07/2023	17.2	-2.4	79.1	0
16/07/2023	18.4	-1.2	77.7	0
17/07/2023	19.2	-0.8	77.4	0
18/07/2023	16.6	0.6	81.3	0
19/07/2023	17	-0.2	77.8	0



20/07/2023	18	-1.4	79.5	0
21/07/2023	16.6	-5.4	83.1	0
22/07/2023	16.8	-1.8	78.8	0
23/07/2023	17	-1.6	77	0
24/07/2023	17.4	-2.2	82	0
25/07/2023	17.2	-2.6	78.6	0
26/07/2023	16.8	-1.6	78.2	0
27/07/2023	15.6	-4.8	75.6	0
28/07/2023	13.8	-3.8	84.2	0
29/07/2023	12.6	-1	87	6.5
30/07/2023	14	5	88	0
31/07/2023	14.6	0	83.2	0
MAX Y MIN	19.2	-5.4	79.664516 13	0.209677419
PROMEDIO			6.9	

---

Anexo 8. Datos del mes de agosto (SENAMHI, 2023)

Estación : LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9'	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD D RELATIV A (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/08/2023	14.8	-1.4	84.1	0
02/08/2023	14	-1.6	81	0
03/08/2023	15	-0.6	87.5	0
04/08/2023	15.6	0.2	85	0
05/08/2023	16.2	-0.8	82.4	0
06/08/2023	15.4	1.6	82.2	0
07/08/2023	17.4	0.8	77.5	0
08/08/2023	16.2	1.2	77.4	0
09/08/2023	17	-1.4	80.6	0
10/08/2023	17.6	-0.8	70.6	0
11/08/2023	16.4	-1.4	76.7	0
12/08/2023	14	3.8	80.2	0.6
13/08/2023	12.8	2	80.5	0
14/08/2023	15.4	0.4	79	0
15/08/2023	16.6	-1.2	76.2	0
16/08/2023	16.2	-1.8	74.7	0
17/08/2023	19	-2.2	74.7	0
18/08/2023	19.6	-4.4	77.9	0
19/08/2023	15.2	-5	76.9	0



20/08/2023	18	-4.8	75.8	0
21/08/2023	16.4	-5	74	0
22/08/2023	17.6	-4.4	74.2	0
23/08/2023	17.8	-1.2	72.5	0
24/08/2023	17	-1	78.3	0
25/08/2023	17.6	0.2	78.2	0
26/08/2023	17	-0.4	76.1	0
27/08/2023	16.2	-1	78.7	0
28/08/2023	18.2	-0.2	74.2	0
29/08/2023	17.8	0.6	72.1	0
30/08/2023	18.4	1.6	73.6	0
31/08/2023	18.2	2	71.1	2
MAX Y MIN	19.6	-5	77.545161 29	0.083870968
PROMEDIO			7.3	

---



*Anexo 9. Datos del mes de septiembre (SENAMHI, 2023)*

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD D RELATIV A (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/09/2023	18.8	2.6	80.3	0
02/09/2023	19.2	3.8	79.9	0
03/09/2023	20	4.4	76.6	0
04/09/2023	16	-1.8	77.8	0
05/09/2023	19	-1	77.1	0
06/09/2023	15.8	3.4	80.8	0
07/09/2023	17.2	2.2	75.5	0
08/09/2023	17	-2	70.1	0
09/09/2023	16.2	-1.6	71.6	0
10/09/2023	17.8	0.8	71.9	0
11/09/2023	17.8	-0.8	76.8	0
12/09/2023	18.2	1.6	75.6	0
13/09/2023	16.2	1	77.8	0
14/09/2023	17	-2.2	75.2	0
15/09/2023	18.8	-1.6	75.3	0
16/09/2023	18.2	0	73.8	0
17/09/2023	18.4	1	70.7	0
18/09/2023	17.6	1.8	77.6	0.6
19/09/2023	16.8	6	83.9	0



20/09/2023	17.6	4	74.5	0
21/09/2023	18.2	1.4	79.8	0
22/09/2023	19	3.6	78.5	0
23/09/2023	18	3.8	82.5	0
24/09/2023	17.6	3.8	79	0
25/09/2023	19.2	3.4	73.2	0
26/09/2023	19.4	1.2	77	0
27/09/2023	20	3	81	0
28/09/2023	18.6	4.4	75.5	0
29/09/2023	18.4	4.2	78.8	0
30/09/2023	17.8	6.4	75.4	0
MAX Y MIN	20	-2.2	76.783333 33	0.02
PROMEDIO			8.9	

---

Anexo 10. Datos del mes de octubre (SENAMHI, 2023)

Estación: LOS UROS					
Departamento :	PUNO	Provincia :	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológico a	Código:	100088		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD D RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día) TOTAL
	MAX	MIN		
01/10/2023	19.2	4.6	76.7	0
02/10/2023	19.8	2.6	76.5	0
03/10/2023	20.6	4.2	75.4	0
04/10/2023	20.8	4	73.6	0
05/10/2023	21.4	3.6	74.6	0
06/10/2023	22	5.2	72.6	0.1
07/10/2023	21.6	4	76.1	2.7
08/10/2023	21.2	3.8	72.7	0
09/10/2023	20.6	4.4	80.4	0
10/10/2023	20.2	7.2	76.3	0
11/10/2023	21.8	2.2	79.9	0
12/10/2023	18.6	4.6	82.5	0
13/10/2023	17.6	9	80.6	0
14/10/2023	18.2	7.2	76.3	0
15/10/2023	18.6	3.2	72.5	0
16/10/2023	17.8	2.8	77.1	0
17/10/2023	17.4	3.4	80.5	0
18/10/2023	16.8	7.2	78.5	0.6
19/10/2023	15	8	85.9	0.9

20/10/2023	17	6.6	77.5	17.3
21/10/2023	13.6	4.8	84	0.4
22/10/2023	17.2	6	77.5	9.7
23/10/2023	17	5.8	75.2	0.3
24/10/2023	17.8	7.8	85.8	1.3
25/10/2023	18.6	7.6	81.3	0
26/10/2023	19.8	3.2	77.2	0
27/10/2023	21	4	71.7	0
28/10/2023	22	5.8	60.8	0
29/10/2023	19.8	3	66.8	0
30/10/2023	19.4	2.2	64.7	0
31/10/2023	18.4	2	61.6	0
MAX Y MIN	22	2	75.8967741 9	1.074193548
PROMEDIO			12	

*Anexo 11. Datos del mes de noviembre (SENAMHI, 2023)*

Estación : LOS UROS				
Departamento :	PUNO	Provincia :	PUNO	Distrito: PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud: 3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológico a	Código:	100088	
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDA D RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓ N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/11/2023	20.6	3.2	62.6	0
02/11/2023	20	2.8	69.9	0
03/11/2023	19.2	3.4	68.9	0
04/11/2023	17.8	4	81.4	0



05/11/2023	20.4	7.6	71.9	0
06/11/2023	19.8	6.8	76.5	0
07/11/2023	20.4	6.6	71.3	0
08/11/2023	17.6	7.6	71.1	1.5
09/11/2023	14.8	5.4	82.9	2.2
10/11/2023	18.2	6.2	74.4	4.3
11/11/2023	19.6	7	71.4	7.4
12/11/2023	17.8	6	79.6	9.5
13/11/2023	17.4	7.8	72.3	0.1
14/11/2023	18.8	4.4	74.5	0
15/11/2023	20.6	4.8	68.2	0
16/11/2023	20	3	70.2	5.7
17/11/2023	21.2	5.6	72.5	0.4
18/11/2023	21.2	5	76.5	0
19/11/2023	19.6	6	65.2	0
20/11/2023	21.4	5.8	69.4	0
21/11/2023	19.6	4.6	71.5	0
22/11/2023	21.4	3.8	61.1	0
23/11/2023	20	5.4	72.2	2.9
24/11/2023	16.2	7.2	78.5	14.2
25/11/2023	16.8	7	79	5.1
26/11/2023	15.4	7.4	76	13.3
27/11/2023	16.6	6.2	82.7	0.1
28/11/2023	18	5	74.7	1.9
29/11/2023	18.2	8.4	84.8	2
30/11/2023	15.4	8.8	84.3	0.4
MAX Y MIN	21.4	2.8	73.85	2.366666667
PROMEDIO			12.1	

---

*Anexo 12. Datos del mes de diciembre (SENAMHI, 2023)*

Estación: LOS UROS					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PUNO
Latitud:	15°49'13.4"	Longitud:	69°58'26.9"	Altitud:	3819 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológico a	Código:	100088		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)	
	MAX	MIN		TOTAL	
01/12/2023	16	6	82.4	3.9	
02/12/2023	18.4	5.8	78.8	0	
03/12/2023	18.8	6.4	73.3	1.2	
04/12/2023	19.2	6.6	78.6	0	
05/12/2023	15.8	6.8	85.1	0	
06/12/2023	19.6	5.6	69.4	0.3	
07/12/2023	18.8	6.4	78.1	2.6	
08/12/2023	16.6	7	83.8	7	
09/12/2023	17.4	7.6	81.1	4.8	
10/12/2023	16.4	8	85.2	9.5	
11/12/2023	16.8	7	82.6	2.7	
12/12/2023	17.6	7.2	80.6	3.8	
13/12/2023	18.6	7.2	80.1	0.2	
14/12/2023	16.6	7.2	79.5	0.8	
15/12/2023	18.2	7.8	80.4	5.6	
16/12/2023	19.4	8	77	0	
17/12/2023	19.6	7.4	72.8	2.2	
18/12/2023	17.8	6	81.1	0	



19/12/2023	19.2	8	74.9	0.1
20/12/2023	18.4	8.4	79.1	0
21/12/2023	18.6	6	75.2	0
22/12/2023	18	6	75.1	0
23/12/2023	19.8	5.8	75.2	0
24/12/2023	20.2	6.6	69.9	0
25/12/2023	20.6	5.2	70.3	0
26/12/2023	16.4	7.4	78.5	0.2
27/12/2023	17.6	8.8	80.2	12.6
28/12/2023	16.8	8	84	0
29/12/2023	17.2	7.2	78.8	2.5
30/12/2023	17.8	7.2	79.8	0
31/12/2023	19	5.8	76.1	0
MAX Y MIN	20.6	5.2	78.290322 58	1.935483871
PROMEDIO			12.9	

---



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Carlos Caracusto Quispe  
identificado con DNI 403566537 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Dinámica de la evapotranspiración en el área del lago Titicaca

y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequía en la región de Puno

”

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de Abril del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Carlos Carcausto Quispe,  
identificado con DNI 40356537 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Dinàmica de la evapotranspiraciòn en el area del lago Titicaca

y en la frecuencia e intensidad de los episodios de sequìa en la regiòn de Puno

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

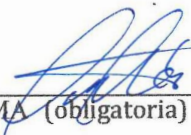
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de Abril del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella