



# UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

---

## ESCUELA DE POSTGRADO

### USO DE LISÍMETROS ARTESANALES PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) DEL MAÍZ MORADO, EN LA LOCALIDAD DE CAYHUAYNA – HUÁNUCO – 2019.

Tesis para optar el grado de Maestro  
en Ciencias e Ingeniería  
Mención: Ingeniería de Recursos Hídricos

**JOSÉ FIGUEROA RAMÍREZ**

Asesor: **PhD. ABELARDO MANRIQUE DIAZ SALAS**

Huaraz - Ancash - Perú

2023

Nº. Registro: **T0916**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"  
ESCUELA DE POSTGRADO

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los miembros del Jurado de Sustentación de Tesis, que suscriben, reunidos en acto público en el Auditorio de la Escuela de Postgrado, de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" para calificar la Tesis presentada por el:

Bachiller : **FIGUEROA RAMIREZ JOSE**

Título : **USO DE LISÍMETROS ARTESANALES PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) DEL MAÍZ MORADO, EN LA LOCALIDAD DE CAYHUAYNA - HUANUCO - 2019**

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones finales, lo declaramos:

APROBADA, con el calificativo de Dieciséis (16)

De conformidad al Reglamento General a la Escuela de Postgrado y al Reglamento de Normas y Procedimientos para optar los Grados Académicos de Maestro y Doctor, queda en condición de ser aprobado por el Consejo de la Escuela de Postgrado y recibir el Grado Académico de Maestro en **CIENCIAS E INGENIERÍA** con Mención en **INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS**, a otorgarse por el Honorable Consejo Universitario de la UNASAM.

Huaraz, 17 de mayo del 2023

Dr. Teofanes Mejía Anaya  
PRESIDENTE

Mag. Javier Alberto Cotos Vera  
SECRETARIO

Mag. Esteban Pedro Reyes Roque  
VOCAL

Ph.D. Abelardo Manrique Diaz Salas  
Asesor

NOMBRE DEL TRABAJO

**T033\_46679063\_M.docx**

AUTOR

**José Figueroa Ramírez**

RECUENTO DE PALABRAS

**27658 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**143604 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**161 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**17.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 2, 2023 8:44 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 2, 2023 8:46 PM GMT-5****● 13% 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
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## MIEMBROS DEL JURADO

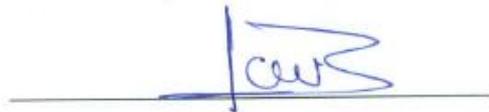
*Doctor: Teófanés Mejía Anaya*

Presidente



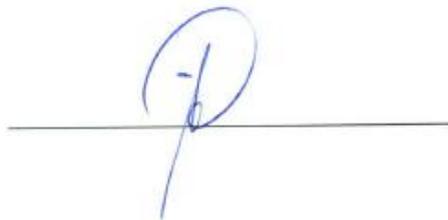
*Magister: Javier Alberto Cotos Vera*

Secretario



*Magister: Esteban Pedro Reyes Roque*

Vocal



**ASESOR**

***Doctoris Philosophiae* Abelardo Manrique Diaz Salas**



## AGRADECIMIENTO

A Dios por estar siempre conmigo, guiarme y protegiéndome en los viajes que realizaba desde Huánuco hasta la ciudad de Huaraz.

- A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por ser el alma mater para aprender nuevos conocimientos.
- Al PhD. Abelardo Diaz Salas mi asesor y catedrático de la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por su permanente apoyo y disposición.
- A mi familia, por su apoyo al estar presentes en mi vida.
- Al Dr. Santos Jacobo Salinas catedrático de universidad Nacional Hermilio Valdizán su apoyo desinteresado para brindarme información y permitir tomar datos para el desarrollo de la investigación.
- Al Dr. Juan Castañeda Alpas, un gran amigo y maestro que siempre brindó su apoyo en vida se le agradece.

A mi madre Ing. Hilda Luz Ramírez Rivera,

A mi padre Sr. José Gabriel Figueroa Malpartida,

Al PhD. Abelardo Manrique Días Salas,

Al Dr. Juan Castañeda Alpas,

Al Dr. Santos Jacobo Salinas y

A la Dra. María Betzabé Gutiérrez Solorzano.



## ÍNDICE

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Resumen  | viii          |
| Abstract   | ix            |
| INTRODUCCIÓN   | 1-2           |
| <b>Capítulo I</b>  |               |
| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN  | 3-8           |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema                       | 3             |
| 1.2 Objetivos  | 5             |
| 1.3 Justificación  | 5             |
| 1.4 Delimitación   | 6             |
| <b>Capítulo II</b>   |               |
| MARCO TEÓRICO  | 9-40          |
| 2.1 Antecedentes de la investigación                               | 9             |
| 2.2 Bases teóricas   | 12            |
| 2.3 Definición de términos   | 38            |
| 2.4 Hipótesis  | 39            |
| 2.5 Variables  | 40            |
| <b>Capítulo III</b>  |               |
| METODOLOGÍA  | 41-66         |
| 3.1 Tipo de investigación  | 41            |
| 3.2 Diseño de investigación  | 41            |
| 3.3 Población y muestra  | 41            |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos                | 45            |
| 3.5 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información | 54            |
| <b>Capítulo IV</b>   |               |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN   | 67-95         |
| 4.1 Presentación de resultados                                     | 67            |
| 4.2 Prueba de hipótesis  | 87            |
| 4.3 Discusión  | 89            |
| Conclusiones   | 93            |
| Recomendaciones  | 95            |

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Referencias bibliográficas | 96-101 |
| Anexos                     | 102    |



## Resumen

El presente trabajo de investigación: Uso de lisímetros artesanales para estimar el coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) del maíz morado, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco. El objetivo general fue determinar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), para las diferentes etapas de crecimiento del cultivo del maíz morado mediante el uso de lisímetros volumétricos artesanales en la localidad de Cayhuayna – Huánuco. Esta investigación se desarrolló en las diferentes etapas de crecimiento del maíz morado donde se estimó la evapotranspiración del maíz morado ( $E_{Tc}$ ); determino la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ); se obtuvo el coeficiente de cultivo del maíz morado ( $K_c$ ) y determino la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) a partir de fórmulas empíricas en relación al lisímetro volumétrico. Esta investigación permitió concluir que el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado fue en la etapa Inicial 0.69 de desarrollo 1.10, mediados 1.28 y en la etapa final de 0.99; la evapotranspiración del cultivo del maíz morado ( $E_{Tc}$ ) para las etapas de crecimiento Inicial fue de 43.86 mm, E. Desarrollo 247.41 mm/mes, E. Medios 210.71 mm/mes y E. final 178.47 mm.; que el calculó la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ) en la etapa inicial se determinó en 63.46 mm, desarrollo 222.70 mm, mediados 162.92 y final con 180.63 mm; se llegó a estimar la evapotranspiración Referencia a través de las fórmulas empíricas resultando ser el de mayor valor para la ecuación de Hargreaves Radiación con 11.13 mm/día, Thornthwaite con 11.03 mm/día, Jensen – Haise con 9.70 mm/día, Blaney – Criddle con 7.74 mm/día, Turc con 6.43 mm/día, radiación con 5.59 mm/día, Hargreaves Temperatura con 5.60 mm/día y lisímetro 4.68 mm/día.

**Palabras claves:** Lisímetro artesanales, coeficiente de cultivo, maíz morado.

## Abstract

The present research work focuses on the use of artisanal lysimeters to estimate the crop coefficient ( $K_c$ ) of purple corn in the locality of Cayhuayna, Huánuco. The main objective was to determine the  $K_c$  for different growth stages of the purple corn crop using artisanal volumetric lysimeters in Cayhuayna, Huánuco. This research was conducted in the different growth stages of purple corn, where the crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) was estimated, reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) was determined, the  $K_c$  of purple corn was obtained, and reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) was determined using empirical formulas in relation to the volumetric lysimeter. The findings of this research concluded that the  $K_c$  of purple corn was 0.69 in the initial stage, 1.10 in the development stage, 1.28 in the mid-stage, and 0.99 in the final stage. The evapotranspiration of the purple corn crop ( $ET_c$ ) for the initial growth stage was 43.86 mm, 247.41 mm/month for the development stage, 210.71 mm/month for the mid-stage, and 178.47 mm for the final stage. The calculation of reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) in the initial stage was determined as 63.46 mm, 222.70 mm for the development stage, 162.92 mm for the mid-stage, and 180.63 mm for the final stage. Reference evapotranspiration was estimated using empirical formulas, with the highest values obtained for the Hargreaves Radiation equation at 11.13 mm/day, Thornthwaite at 11.03 mm/day, Jensen-Haise at 9.70 mm/day, Blaney-Criddle at 7.74 mm/day, Turc at 6.43 mm/day, Radiation at 5.59 mm/day, Hargreaves Temperature at 5.60 mm/day, and lysimeter at 4.68 mm/day.

**Keywords:** Artisanal lysimeter, crop coefficient, purple corn.

## INTRODUCCIÓN

El uso de lisímetros volumétricos artesanales de bajo costo permitió estimar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado en las condiciones edafoclimáticas de Cayhuayna, así ya no depender de los valores de  $K_c$  propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura que se desarrollaron para las condiciones climáticas en los Estados Unidos, Asia y Europa. El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), permitió estimar la cantidad de agua para riego controlando el nivel de humedad de la zona radicular durante toda la etapa del desarrollo vegetativo; evitando así los períodos sensibles de desarrollo de cultivo como la floración y el llenado de granos temprano. Para así poder plantear proyectos de riego que utilicen el coeficiente de cultivo del maíz morado bajo las condiciones edafoclimáticas de Cayhuayna suministrando la cantidad de agua necesaria para cada etapa de crecimiento del maíz morado.

La localidad de Cayhuayna está ubicada en el distrito de Pillco Marca y zonas productoras de maíz morado; los productores de este cultivo desconocen criterios técnicos del manejo del riego. Suministrando de manera ineficiente y en exceso, esto contribuye a bajos rendimientos, lixiviación de nutrientes y recurso hídrico. En este sentido, es de necesidad estimar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) por el método del lisímetro de drenaje para solucionar este problema y suministrar adecuadamente el agua que la planta requiere mejorando el rendimiento y así aumentar los ingresos de los pequeños agricultores de esta zona.

El interés científico de la presente investigación radica en la importancia de comprender la evapotranspiración del cultivo de maíz morado ( $ET_c$ ) y el cultivo de

referencia (ET<sub>o</sub>), ambos factores relacionados con el clima, para estimar de manera precisa el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) del maíz morado en las condiciones de Cayhuayna.

Además, los resultados y métodos obtenidos en esta investigación podrán ser asimilados en el marco de la ciencia de los recursos hídricos, lo cual servirá como guía tanto para investigadores como para estudiantes y agricultores de la región. Asimismo, se espera que estos hallazgos consoliden futuros estudios sobre esta problemática y contribuyan al desarrollo sostenible de la agricultura en la región.

## Capítulo I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

##### 1.2.1 Planteamiento del problema

La presente investigación se enfocó en el estudio del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), la evapotranspiración del maíz morado, la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración mediante fórmulas empíricas. El estudio fue realizado en el Instituto de Investigación Frutícola Olerícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, ubicado en la localidad de Cayhuayna, como respuesta a la escasez de investigaciones similares en el departamento de Huánuco.

El interés científico de esta investigación se basa en la importancia de comprender la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y de referencia ( $ET_o$ ), dos factores estrechamente relacionados con el clima, con el fin de estimar de manera precisa el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado en las condiciones de Cayhuayna. El objetivo principal de este estudio es calcular de forma precisa los requerimientos hídricos del cultivo, con el propósito de utilizar eficientemente el agua, especialmente durante las etapas de desarrollo vegetativo y reproductivo del maíz morado. Estas etapas presentan una mayor demanda de consumo de agua, especialmente durante la fase de floración y reproducción.

Además de consolidar futuros estudios sobre esta problemática, los resultados y métodos obtenidos en este experimento podrán ser asimilados en el marco de la ciencia de los recursos hídricos, sirviendo como guía tanto para investigadores como para estudiantes y agricultores de la región. Asimismo, se

pretende utilizar las fórmulas empíricas que mejor se ajusten al método directo estudiado, las cuales serán aplicadas en trabajos de hidrología.

### 1.2.2 Formulación del problema

- Problema general

¿Serán los lisímetros volumétricos artesanales un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) del maíz morado en comparación a valores propuesto por la literatura?

- Problemas específicos

- ¿Será el lisímetro volumétrico artesanal un método adecuado para estimar la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) del maíz morado (*Zea Maíz L*), en las diferentes etapas de crecimiento, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco?
- ¿Serán el lisímetro volumétrico artesanal y las fórmulas empíricas métodos adecuados para estimar la evapotranspiración, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco?
- ¿Serán los lisímetros volumétricos artesanales un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado (*Zea Maíz L.*), en las diferentes etapas de crecimiento?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), para las diferentes etapas de crecimiento del cultivo del maíz morado mediante el uso de lisímetros volumétricos artesanales, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Estimar la evapotranspiración del cultivo ( $E_{To}$ ) del maíz morado (*Zea Maíz L.*), en las diferentes etapas de crecimiento mediante lisímetros volumétricos artesanales, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.
- Determinar la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), mediante lisímetros volumétricos artesanales y fórmulas empíricas para la localidad de Cayhuayna – Huánuco.
- Obtener los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado (*Zea Maíz L.*), para las diferentes etapas de crecimiento mediante lisímetros volumétricos artesanales, en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.

## 1.3 Justificación

La presente investigación se centró en el estudio del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), la evapotranspiración del maíz morado, la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración mediante fórmulas empíricas. El objetivo principal fue obtener un cálculo preciso de los requerimientos hídricos del maíz morado en la localidad de Cayhuayna, ubicada en el distrito de Pillco Marca, departamento de Huánuco.

El interés científico de esta investigación radica en la importancia de comprender la evapotranspiración del maíz morado (ETc) y del cultivo de referencia (ETo). Factores estrechamente relacionados con el clima, para estimar adecuadamente el coeficiente de cultivo (Kc) del maíz morado en las condiciones agroclimáticas de Cayhuayna. Mediante el uso de fórmulas empíricas desarrolladas en el Instituto de Investigación Frutícola Olerícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, se busca obtener un cálculo preciso de los requerimientos hídricos, especialmente en las cuatro etapas de crecimiento del maíz morado.

#### 1.4 Delimitación

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación Frutícola-Olerícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, ubicado en la localidad de Cayhuayna, en el distrito de Pillco Marca, región Huánuco.

##### **Ubicación política**

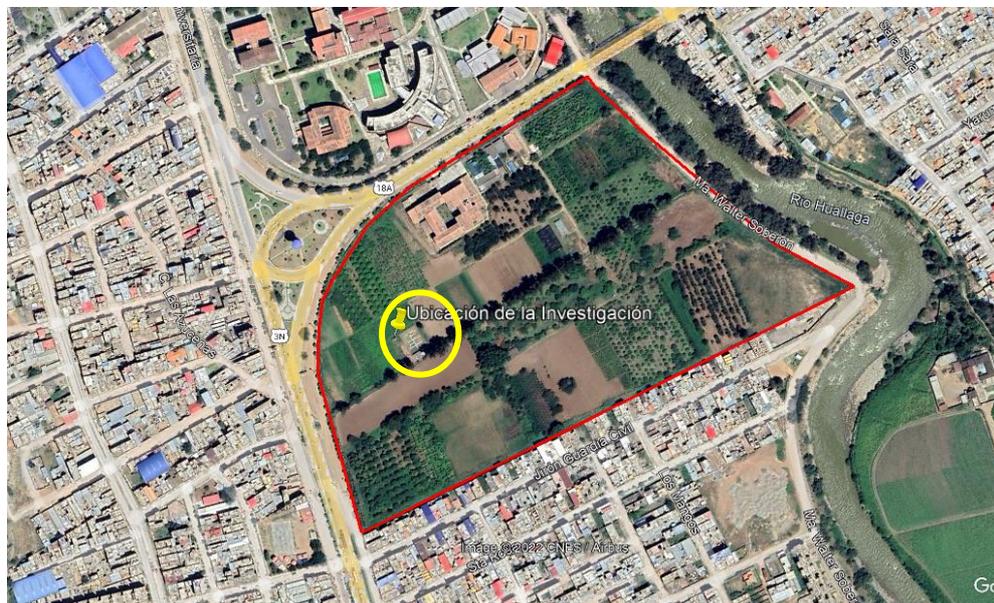
|              |   |              |
|--------------|---|--------------|
| Departamento | : | Huánuco      |
| Provincia    | : | Huánuco      |
| Distrito     | : | Pillco Marca |
| Lugar        | : | Cayhuayna    |

##### **Posición geográfica**

|                |   |              |
|----------------|---|--------------|
| Altitud        | : | 1 919 msnm   |
| Latitud Sur    | : | 09° 57' 05'' |
| Longitud Oeste | : | 76° 14' 53'' |

## Figura 1

*Vista satelital del lugar de ejecución de la investigación*



*Nota.* El círculo amarillo muestra la ubicación exacta donde se instalaron los lisímetros y la estación meteorológica de Huánuco, ambos dentro del Centro de Investigación Frutícola-Olerícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

### Características agroecológicas de la zona

Según la Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales (ONERN), la zona donde se llevó a cabo el trabajo de investigación corresponde a la zona de vida monte espinoso premontano-tropical (mte-PT). El clima de esta zona se caracteriza por ser templado y cálido. La temperatura media anual más baja registrada es de 18 °C, mientras que la temperatura media anual más alta alcanza los 24 °C. En cuanto a la precipitación anual, se sitúa en el rango de 250-500 mm.

La humedad relativa en esta zona varía entre el 60% y el 70%, y se estima que hay aproximadamente 6 horas de sol al día. En cuanto a la velocidad promedio del viento, oscila entre los 12 y 18 kilómetros por hora.

## Capítulo II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

En el trabajo de investigación titulado “Evaluación de métodos de ajuste de la evapotranspiración del maíz (*Zea mays L.*) en programas de asesoramiento de riegos”, se encontró lo siguiente:

“La evapotranspiración del maíz durante el periodo vegetativo del cultivo, bajo las condiciones de suelo y clima de Albacete, España, fue de 856 y 723 mm” (Montoro et al., 2012, p. 48).

Según el estudio de Montoro et al. (2012), titulado “Medidas hídricas del maíz dulce utilizando un lisímetro de pesada, se encontró que la evapotranspiración del cultivo de maíz dulce fue de 444.42 mm durante todo el desarrollo vegetativo en la provincia de Albacete, España” (p. 49).

Según Yanangómez (2018), en su estudio sobre el cultivo de maíz morado, se obtuvieron los siguientes valores de Kc: 0.55 en la fase inicial, 0.92 en la fase de desarrollo, 1.10 en la fase intermedia y 0.83 en la fase final. Asimismo, se determinó que el consumo de agua para cada fase fenológica fue de 40.5 mm en la fase inicial, 81.6 mm en la fase de desarrollo, 122.4 mm en la fase intermedia y 118.8 mm en la fase final. En cuanto a la evapotranspiración del cultivo (ETc) del maíz morado, se registró un valor total de 363.3 mm, equivalente a 3.633 m<sup>3</sup>/ha durante todo el periodo de cultivo. (Yanangómez, 2018, p. 63)

Oñate (2016) señala que el maíz amiláceo blanco cultivado en el Cantón de

Ecuador exhibe diferentes tasas de evapotranspiración en cada etapa de crecimiento. Durante la etapa inicial, la evapotranspiración fue de 35.94 mm, mientras que en la etapa de desarrollo fue de 169.34 mm. En la etapa intermedia, se registró una evapotranspiración de 114.41 mm, y en la etapa final alcanzó los 198.28 mm. En total, durante todo el periodo de crecimiento, la evapotranspiración del cultivo fue de 431.65 mm. Además, se determinaron los coeficientes de cultivo correspondientes a cada etapa de crecimiento: 0.32 en la etapa inicial, 1.05 en la etapa de desarrollo, 1.05 en la etapa intermedia y 0.55 en la etapa final. (Oñate, 2016, p. 45)

Según el informe de la FAO (2006), el maíz dulce cultivado en condiciones de clima árido en Utah, Estados Unidos, presenta los siguientes valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en cada etapa de crecimiento: 0.7 en la etapa inicial, 1.15 en la etapa de desarrollo, 1.05 en la etapa intermedia y 1.50 en la etapa final (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2006, p. 106).

### 2.1.2 Antecedentes Regionales

En el estudio titulado Coeficiente de cultivo para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) se encontró que el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del césped americano varió entre 0.89 y 0.62. Además, se demostró que la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) obtenida a través de la estación meteorológica era estadísticamente confiable en comparación con la determinada mediante el método del tanque de evaporación. (Padilla, 2016, p. 104)

En la investigación titulada "Caracterización de la evapotranspiración en los

cultivos alrededor del observatorio Huancayo usando la técnica Eddy Covariance", Castañeda (2016) encontró que al comparar el modelo Penman-Monteith con la evapotranspiración observada, se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.26 y un índice de desempeño (D) de 0.52. Estos resultados indican que la ecuación utilizada no explica adecuadamente la variabilidad de la evapotranspiración. (Castañeda, 2016, p. 53)

Allen (1998) señala que la ecuación empírica más ampliamente aceptada es la de Penman-Monteith. Además, se encontró que el modelo Priestley-Taylor tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.22 y un índice de concordancia (D) de 0.67, mientras que el modelo Hargreaves muestra una mejor correlación con un  $R^2$  de 0.66 (Allen, 1998, p. 1543).

Tarazona Santos (2017) quien realizó su investigación en la ciudad de Huaraz sobre la determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) utilizando el método del lisímetro, se obtuvieron los siguientes valores para la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) estimada mediante el método de Turc: noviembre 196.50 mm, diciembre 192.82 mm, enero 199.95 mm, febrero 189.56 mm y marzo 185.69 mm. En cuanto a la ET<sub>o</sub> (mm/día) promedio diario, se obtuvo 4.48 mm/día en noviembre, 6.32 mm/día en diciembre, 6.15 mm/día en enero, 4.54 mm/día en febrero y 4.56 mm/día en marzo. La misma autora también reporta la evapotranspiración de referencia diario: 3.7 mm/día en mayo, 4.9 mm/día en junio, 6.9 mm/día en julio, 6.1 mm/día en agosto, 5.9 mm/día en setiembre, 5.9 mm/día en octubre y 8.9 mm/día en noviembre(p. 84).

### 2.1.3 Antecedentes locales

En la investigación titulada "Estimación parcial de la evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.) mediante el algoritmo SEBAL en el callejón de Huaylas", estima que el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz desde la siembra hasta la cosecha fue de 112, y la evapotranspiración máxima medida con el lisímetro fue de 5.9 mm/día. Para el autor, el periodo inicial, desarrollo, intermedio y maduración se comprendió entre el 15/06/2016, 17/07/2016, 03/09/2016 y 06/11/2016. Se obtuvieron valores promedios por cada periodo vegetativo de NDVI de 0.20, 0.40, 0.60 y 0.14, ETc con imágenes Landsat de 2.39 y 4.23 mm/día, y ETc con lisímetro de 2.753 y 4.38 mm/día (Huerta, 2018, p. 62).

En el estudio de la evapotranspiración del cultivo de la quinua se registro en la etapa inicial 3.13 mm/día, en la etapa de floración fue de 5.28 mm/día y en la etapa de grano lechoso fue de 5.48 mm/día. Además, menciona que la evapotranspiración de referencia (ETo) de la quinua presenta los siguientes valores: 0.90 en promedio estacional, 1.43 durante la etapa de floración y 1.47 durante la etapa de grano lechoso. (Rojas Peña, 2015, p. 1)

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Evapotranspiración

Allen (2006) explica que las plantas pierden agua a través de los estomas de las hojas. Durante las etapas iniciales del cultivo, la pérdida de agua ocurre principalmente por evaporación del suelo. Sin embargo, a medida que el cultivo crece y cubre el suelo de manera adecuada, la transpiración se convierte en la principal causa de pérdida de agua. La transpiración de los cultivos herbáceos está influenciada por la radiación solar que alcanza la superficie del suelo, mientras que

la evaporación disminuye gradualmente a lo largo de la temporada de crecimiento a medida que las plantas se desarrollan y proporcionan sombra al suelo expuesto. La evapotranspiración se cuantifica en milímetros de altura (mm) por unidad de tiempo, representando la cantidad de agua perdida desde las primeras etapas hasta las fases finales del desarrollo de los cultivos. (Allen, 2006, p. 7)

### 2.2.2 Evaporación

La evaporación se presenta en las superficies, como lagos, ríos, aceras, suelos y vegetación húmeda, requieren energía para transformar las moléculas de agua de líquido a gas. Esta energía proviene principalmente de la luz solar directa y, en menor medida, de la temperatura del aire circundante. El proceso de evaporación se ve impulsado por la diferencia de presión de vapor de agua entre la superficie de evaporación y la atmósfera circundante. A medida que la evaporación progresa, el aire circundante se satura gradualmente. Si el aire húmedo no se mueve hacia la atmósfera, es decir, si no se produce una transferencia de vapor de agua, el proceso de evaporación se desacelera hasta detenerse por completo. (Allen, 2006, p. 1)

La sustitución del aire saturado por aire seco depende en gran medida de la velocidad del viento. La radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son, por tanto, parámetros climatológicos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar los procesos de evaporación (Olalla Mañas et al., 2005, p. 4).

### 2.2.3 Transpiración

Allen (2006) señala que la transpiración es la transferencia de agua líquida a vapor desde los tejidos vegetales, que luego se libera a la atmósfera a través de

los estomas, las pequeñas aberturas en las hojas de las plantas. Las plantaciones pierden agua principalmente a través de estos estomas, que permiten el paso de gases y vapor de agua hacia la atmósfera. Además, menciona que las raíces desempeñan un papel crucial al absorber agua y nutrientes, y transportarlos por toda la planta.

El autor también destaca que la evaporación tiene lugar en los espacios intercelulares de las hojas y que el intercambio de vapor con la atmósfera se controla mediante la apertura y cierre de los estomas. La transpiración, que representa la mayor parte del agua absorbida por la planta, está influenciada por factores como la velocidad del viento, la radiación solar, la temperatura y la humedad atmosférica. Además, la capacidad del suelo para suministrar agua a las raíces y otros factores, como la salinidad del suelo y el riego, también pueden afectar la transpiración. (Allen, 2006, p. 3)

#### 2.2.4 Factores que afectan la evapotranspiración

##### a. Variables climáticas

Los parámetros climáticos que influyen en la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Estos factores climáticos desempeñan un papel fundamental en la fuerza de evaporación presente en la atmósfera. Además, señalan que la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ) se utiliza como medida para representar la cantidad de agua perdida en un área de cultivo estándar. (Gong et al., 2006, p. 5)

##### b. Factores de cultivo

Al evaluar la transpiración de los cultivos en áreas extensas y bien

controladas, es necesario tener en cuenta la especie de cultivo, la variedad y el período de desarrollo. Estos factores son importantes para considerar las diferencias en la resistencia a la transpiración, la altura de la planta, la rugosidad del cultivo, la reflectancia, la cobertura del suelo y las características de las raíces. Estas variaciones conducen a diferentes niveles de evapotranspiración (ET) entre diferentes cultivos, incluso en las mismas condiciones ambientales. (Allen, 2006, p. 5)

#### c. Manejo y condiciones ambientales

Existen varios factores pueden afectar el crecimiento de los cultivos y restringir la evapotranspiración. Entre estos factores se encuentran la baja salinidad y fertilidad del suelo, la falta de fertilización, la presencia de capas de suelo duras, la falta de control de plagas y enfermedades, y un manejo deficiente de la fertilidad del suelo. Además, la cobertura del suelo, la densidad de plantas y la disponibilidad de agua en el suelo también deben ser considerados como factores importantes. (Gong et al., 2006, p. 6)

Allen (2006) informó que el efecto del contenido de agua del suelo sobre la evapotranspiración (ET) está determinado principalmente por el grado de déficit de agua y el tipo de suelo. Por otro lado, un exceso de humedad en el suelo puede llevar a la saturación y dañar el sistema de raíces de la planta, inhibiendo la respiración y reduciendo su capacidad para absorber agua del suelo. (Allen, 2006, p. 7)

#### 2.2.5 Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo varía de acuerdo a las etapas de crecimiento a medida que la planta crece en altura y el área foliar, el área de tierra cubierta por la

vegetación cambiará gradualmente. Debido a la diferencia en la evaporación del cultivo en diferentes etapas de crecimiento, el valor de  $K_c$  correspondiente a un cultivo específico también cambiará a lo largo del período de crecimiento. Este período de crecimiento se puede dividir en cuatro etapas: etapa temprana, desarrollo del cultivo, etapa intermedia y etapa tardía. (Allen, 2006, p. 103)

También Allen (2006) establece las diferentes etapas del crecimiento del cultivo. En primer lugar, se encuentra la etapa inicial, que abarca desde el día de la siembra hasta que el cultivo alcanza alrededor del 10% de cobertura del suelo. La duración de esta etapa depende del tipo de cultivo, la fecha de siembra y las condiciones climáticas. Luego, sigue la etapa de desarrollo del cultivo, que se extiende desde el 10% de cobertura del suelo hasta alcanzar la cobertura total efectiva, generalmente al inicio de la floración. La etapa de mediados de temporada ocurre entre la cobertura total y el inicio de la madurez, y se caracteriza por la senescencia y la reducción de la evapotranspiración. Por último, la etapa de finales de temporada abarca desde el inicio de la madurez hasta la cosecha, la senescencia completa o la defoliación del cultivo. (Allen, 2006, p. 104)

#### 2.2.6 Métodos para la determinación de la evapotranspiración

los lisímetros o medidores de transpiración son recipientes llenos de suelo en los que las plantas se desarrollan en condiciones de campo. Estos lisímetros se utilizan para medir directamente la pérdida de agua debido a la transpiración y la evaporación, y son ampliamente empleados para investigar los efectos climáticos en la evapotranspiración. (García, 1997, p. 30)

Los lisímetros son dispositivos utilizados para determinar la evaporación de un suelo desnudo o la evapotranspiración de un cultivo específico, utilizando el

concepto de impermeabilidad. Estos dispositivos se clasifican en tres tipos: lisímetro de drenaje, lisímetro de pesada y lisímetro de compensación. El lisímetro de drenaje utiliza la gravedad para medir diariamente la entrada y salida de agua, calculando la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo. Por otro lado, el lisímetro de pesada funciona mediante el pesaje del conjunto de agua, suelo, tanque y plantas, registrando la diferencia de peso en comparación con mediciones anteriores de evapotranspiración. Finalmente, el lisímetro de compensación opera de forma automática mediante un sistema de vasos comunicantes, manteniendo constante el nivel de agua a medida que la planta y las condiciones climáticas la utilizan. (Pacheco y Alonzo, 1995, p. 67)

Vásquez (1997) destaca que el factor de un cultivo es una medida del crecimiento o cobertura del suelo, lo cual requiere una evaluación precisa de su consumo de agua. Por otro lado, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) permite determinar las necesidades hídricas de un cultivo cuando no se cuenta con lisímetros. En un experimento para estudiar los requerimientos hídricos, se utilizará un lisímetro de drenaje en paralelo. Así se obtendrán datos sobre la evapotranspiración máxima ( $ET_c$ ) y la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), los cuales se relacionarán mediante la ecuación:

$$K_c = ET_c/ET_o$$

**Dónde:**

$ET_c$  es la evapotranspiración medida por el lisímetro, y  $ET_o$  es la evapotranspiración de referencia calculada mediante la ecuación de Penman - Monteith para el tanque del evaporímetro. (p. 27)

Allen et al (2006) afirman que el coeficiente de cultivo está en relación con

las etapas de crecimiento y viene determinado por la curva Kc. Esta se fracciona en 4 etapas de crecimiento: temprana, desarrollo, media estación y final de estación. La primera etapa empieza desde la siembra hasta el 10% de cobertura del suelo. La etapa de desarrollo comienza desde que concluye la etapa anterior y continúa hasta que la planta empieza a crecer. La fase intermedia dura desde la floración hasta la cosecha, y la fase final dura desde la madurez hasta la cosecha.

a. El método FAO Penman-Monteith

Los investigadores de la FAO normalizaron este método de cálculo de la evapotranspiración de referencia con el fin de estandarizar los distintos métodos de determinación de la ETo disponibles en la actualidad. Se desarrolló a partir del concepto de cultivo de referencia, que es un cultivo (herbácea) de altura de 12 cm, con una resistencia de superficie de 70 s/m y un albedo de 0.23, lo que representa la evapotranspiración de un área de hierba verde de estatura igual en crecimiento activo y suficientemente irrigada.

La ecuación Penman-Monteith de la FAO es la siguiente. (**Ver la ecuación:**

**Ecuación 1:** Fórmula de Penman-Monteith).

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (1)$$

**Ecuación 1:** Fórmula de Penman-Monteith

**Donde:**

ET<sub>0</sub>: Evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

R<sub>n</sub>: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

G: Flujo del calor de suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$\gamma$ : Constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^\circ\text{C}$ )

$u_2$ : Velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )

$e_s$ : Presión de vapor de saturación (kPa)

$e_a$ : Presión real de vapor (kPa)

La ecuación Penman-Monteith de la FAO representa de forma clara, precisa y sencilla los las variables físico-fisiológicas que influyen en el proceso de evapotranspiración La ecuación incorpora parámetros climáticos como la velocidad del viento. temperatura y radiación solar, la humedad y la velocidad del viento. Los datos climáticos deben medirse o convertirse a una altura de 2 metros, sobre una extensa zona de hierba verde que cubra todo el suelo, y sin restricciones de agua para garantizar la precisión de los cálculos (Allen, 2006, p. 17).

b. Método del tanque de evaporación

Una característica destacada del método del tanque evaporímetro es que el almacenamiento de calor en el tanque puede ser significativo, lo que ocasiona una evaporación considerable durante la noche, a diferencia de la transpiración de la mayoría de los cultivos que ocurre principalmente durante el día. (Allen, 2006, p. 78)

A través de un coeficiente  $K_p$ , la evapotranspiración se relaciona con la evaporación del tanque evaporímetro de clase A. (**Ver Ecuación 2. Evapotranspiración por el tanque Evaporímetro.**)

$$E_{To} = K_p * E \quad (2)$$

**Ecuación 2.** Evapotranspiración por el tanque Evaporímetro.

**Donde:**

ETo: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

Kp: Coeficiente empírico de tanque.

E: Evaporación libre de tanque clase A (mm/día).

El coeficiente del tanque evaporímetro se ve influenciado por factores como la cubierta del suelo, el entorno, las condiciones del viento y la humedad. (Allen, 2006, p. 16).

El tanque evaporímetro de clase A tiene forma circular con un diámetro de 120.7 cm y una profundidad de 25 cm, construido con hierro galvanizado o chapa metálica de 0.8 mm de espesor. Se coloca sobre un pedestal de madera en forma de rejilla a 0.15 m sobre el nivel del suelo. Es importante nivelar adecuadamente el tanque y llenarlo de agua hasta 0.05 m por debajo del borde, evitando que el nivel esté por debajo de 7.5 cm del borde. Se recomienda cambiar el agua regularmente, al menos una vez a la semana, para mantener su calidad. Si el tanque está galvanizado, se debe aplicar pintura de aluminio anualmente. Se deben evitar pantallas sobre los tanques y asegurarlos con redes de seguridad para evitar la entrada de animales. Las lecturas del tanque se realizan diariamente por la mañana, junto con las mediciones de precipitación, en una zona estable cerca del borde del tanque. Para establecer una zona de estabilización, se utiliza un cilindro metálico de aproximadamente 0.10 m de diámetro. (Allen, 2006, p. 78)

c. Método Blaney-Criddle

Por otro lado, el método Blaney-Criddle fue desarrollado en 1950 para las zonas occidentales de Estados Unidos, pero ha sido ampliamente utilizado en diferentes latitudes debido a su facilidad de estimación. Este método permite

calcular la evapotranspiración mensual de cultivos y vegetación natural considerando factores como la temperatura, las horas de luz y el tipo de vegetación. La FAO ha actualizado el método Blaney-Criddle para calcular la evapotranspiración de referencia de un cultivo (Allen, 2006, p. 17). (**Ver la Ecuación 3:** Evapotranspiración de referencia sin ajuste. **y Ecuación 4.** Evapotranspiración de referencia con ajuste.).

Vista por la siguiente ecuación:

$$f = p[0.46 * Tm + 8.13] \quad (3)$$

**Ecuación 3:** Evapotranspiración de referencia sin ajuste.

**Donde:**

f = evapotranspiración Referencia diaria sin ajustar (en mm).

Tm = temperatura media mensual en °C.

$$ETo = A + B * f \quad (4)$$

**Ecuación 4.** Evapotranspiración de referencia con ajuste.

**Dónde:**

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm/día.

Tm = Temperatura media diaria expresado en °C.

A,B = Factores de ajuste basados en la humedad relativa, velocidad del viento diurno, y el índice de insolación.

N,horas diarias máximas de insolación directa).

d. Hargreaves

El método del Dr. George Hargreaves en 1975 propone calcular la evapotranspiración de referencia a partir de las mediciones de la radiación solar, temperatura media del aire y la humedad relativa media. Esta estrategia contempla

dos escenarios: En base a la radiación (**Ver Ecuación 5.** Evapotranspiración según la radiación. **Ecuación 6.** Cálculo de la radiación.(Clemente et al, 2015, p 18.)

Describe como sigue:

$$ET_o = 0.0075 * R_s * T^{\circ}F \quad (5)$$

**Ecuación 5.** Evapotranspiración según la radiación.

**Donde:**

ET<sub>o</sub>= Evapotranspiración de referencia en mm/día.

R<sub>s</sub>= Radiación solar expresada en el equivalente de evaporación en mm/día:

$$R_s = (0.25 + 0.50 * n/N) * R_a \quad (6)$$

**Ecuación 6.** Cálculo de la radiación.

**Dónde:**

n/N= Es la relación entre horas reales y máximas posibles de fuerte insolación.

R<sub>a</sub>= Radiación extraterrestre equivalente (mm/día) que se obtiene del cuadro.

- En base a la temperatura

Ecuación obtenida a altitudes inferiores a 1000 msnm, en el hemisferio norte, y a temperaturas superiores a 10° celsius. Es una de las fórmulas más comunes en el Perú. (**Ver Ecuación 7.** En base a la temperatura.).

$$ET_o = MF * T^{\circ}F * CE * CH \quad (7)$$

**Ecuación 7.** En base a la temperatura.

**Donde:**

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia en mm/día.

MF = Factor mensual de latitud.

T<sup>°</sup>F = Temperatura media mensual (°F).

T<sup>°</sup>F = 9 5 \* T<sup>°</sup>C + 32 T<sup>°</sup>C = Temperatura media mensual en ° C.

CE = Factor de corrección de la altura o elevación del lugar.

CE = 1.0 + 0.04 \* (E 2000)

E = Altitud (msnm).

CH= Factor de corrección para la Humedad Relativa media.

Si: HR<sub>med</sub> > 64%

CH = 0.166 (100 – HR<sub>med</sub>)<sup>1/2</sup> Si: HR<sub>med</sub> < 64%

CH = 1.00 HR<sub>med</sub> = Humedad relativa media (%).

e. Turc

Turc en 1961 recomendó que la evapotranspiración mensual de referencia se calcule utilizando la temperatura media de cada mes y la cantidad de radiación solar recibida en la superficie terrestre, ya que esta radiación es la principal fuente de energía que impulsa el fenómeno de evapotranspiración. Se considera que este método es más preciso que los anteriores. (Clemente et al, 2015, p 18.) (**Ver Ecuación 8.** Evapotranspiración según Turc, **Ecuación 9.** Factor de corrección para zonas áridas y **Ecuación 10.** Radiación solar corregida).

$$ET_o = K_1 * K_2 * (R_i + 50) \frac{T_m}{(T_m + 15)} \quad (8)$$

**Ecuación 8.** Evapotranspiración según Turc

**Donde:**

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm/día.

K1 = 0.40; para meses de 30 y 31 días.

K1 = 0.37; para el mes de febrero.

K2 = 1; Si HRmed > 50%

K2 = 1 + (50 – HRmed)/70 , si HRmed < 50%. (9)

**Ecuación 9.** Factor de corrección para zonas áridas

$$Ri = R_A * (0.18 + 0.62) * \frac{n}{N} \quad (10)$$

**Ecuación 10.** Radiación solar corregida

Ri = Radiación solar extraterrestre en cal/cm<sup>2</sup>/día<sup>-1</sup>.

N = Horas de insolación máxima.

N = Horas de insolación reales (h/día).

Tm = Temperatura media en (°C).

HRmed = Humedad relativa media en (%).

f. Thornthwaite

Por su parte, Thornthwaite (1948) explicó la influencia física y biológica de la ETo en la clasificación climática y desarrolló una fórmula para calcular la ETo. Esta fórmula, que se da en milímetros, se utiliza para calcular la ETo mensual, y se expresa de la subsiguiente manera: (**Ver Ecuación 11.** Según Thornthwaite y **Ecuación 12**). (Clemente et al, 2015, p 19.)

$$ETo = 1.6 \left( \frac{L1}{12} \right) \left( \frac{N}{30} \right) \left( \frac{10 * T}{I} \right)^{a1} \quad (11)$$

### **Ecuación 11.** Según Thornthwaite

#### **Donde:**

ET<sub>o</sub> : Evapotranspiración de eficiencia en mm/día.

L1 : Número reales de sol al día.

N : Número de días al mes.

T : Temperatura media mensual en °C.

$$a_1: 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.49$$

I : Índice de calor derivado de la suma de los 12 valores de los índices mensuales (i) obtenida a partir de:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (12)$$

### **Ecuación 12.** Índice mensual

#### 2.2.7 Balance de Agua en el Suelo

Thornthwaite definió el balance hídrico como la diferencia entre la entrada de agua a través de las precipitaciones y la salida de agua mediante la evapotranspiración, la recarga de los acuíferos y la escorrentía. Básicamente, toda el agua que cae sobre la superficie de la tierra se evapora y regresa a la atmósfera. Por lo tanto, estimar el balance hídrico en el ciclo del agua es relativamente sencillo. Este balance se aplica en diferentes escalas, desde la continental hasta la escala de un árbol. Por lo general, se calculan diversas variables, incluida la evapotranspiración. La precisión y exactitud de los parámetros medidos son fundamentales para el propósito de este método. Los errores de medición en la variabilidad de la precipitación, la escorrentía y la humedad del suelo a menudo son

significativos. (Tuñon, 2000, p. 143)

a. Disponibilidad del Agua en el Suelo

La cantidad de agua accesible para el uso de las plantas en el suelo se encuentra entre la humedad a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Si la humedad del suelo continúa por encima de la CC, la falta de aire en el suelo puede convertirse en un factor limitante para el desarrollo normal. Vásquez (1988, p. 34)

Saturación

menciona cuando todos los poros de un suelo están llenos de agua, se dice que está saturado. La presión es  $< 0.3$  bar y el agua se ve influenciada por la gravedad. Esta situación no es ideal desde el punto de vista biológico debido a la escasez de oxígeno. Esta condición ocurre como resultado de un riego excesivo o de lluvias prolongadas. Lazo (2006, p. 47)

Capacidad de Campo (CC)

Suele definirse la retención máxima del agua del suelo sin ningún problema de drenaje, y se logra entre 12 y 72 horas después de un riego abundante o de precipitaciones que hayan permitido la saturación momentánea del suelo, en otras palabras, se alcanza en cuanto ha cesado prácticamente la percolación gravitacional del agua y el drenaje, en función de la textura del suelo. A veces se define la humedad del suelo cuando el cambio del contenido de humedad con respecto al tiempo se aproxima a cero y la evapotranspiración es cancelada.

Vásquez (1988) menciona que el contenido de humedad a capacidad de campo también se define como la humedad correspondiente al estado energético del agua del suelo, que se sitúa en torno a 0.33 bares para un suelo pesado (arcilloso)

y 0.10 bares para un suelo de textura gruesa (arenoso).

#### Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente es el nivel de humedad del suelo en el cual el agua se mueve con dificultad desde el suelo hacia las plantas. Cuando el contenido de humedad del suelo alcanza este punto, la vegetación comienza a mostrar signos de marchitamiento, pérdida de hojas, escaso desarrollo o falta de fructificación. Este punto está asociado con un estado de energía del agua en el suelo de aproximadamente 15 bares. (Lazo, 2006, p. 42)

#### Método directo o gravimétrico

El método directo o gravimétrico, descrito por Lazo (2006) es ampliamente utilizado como base para aplicar enfoques indirectos en la determinación del contenido de humedad del suelo. En este proceso, se toman muestras de suelo húmedas y se pesan inicialmente. Luego, estas muestras se someten a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 105 °C durante un período de 24 horas. Después del secado, las muestras se vuelven a pesar (p. 49).

#### Método indirecto o de los tensiómetros.

Según Martín (2017) un tensiómetro es un instrumento utilizado para medir la tensión con la que el suelo retiene el agua. Consiste en una punta de cerámica o porosa que se conecta a una columna de agua y se instala a una profundidad adecuada en el suelo. A medida que el suelo se seca, el tensiómetro extrae agua de la columna a través de las bolas de cerámica, generando succión en la columna de agua. Se recomienda tomar lecturas diariamente antes del riego, y para realizar comparaciones, es aconsejable tomar nuevas mediciones durante el período de mayor consumo del cultivo, es decir, a partir del mediodía.

También el menciona que los valores de referencia agrónomicamente relevantes para las lecturas de tensión son los siguientes: 0 - 10 cb en suelos saturados, 10 - 20 cb en suelos con capacidad de campo, 20 - 30 cb en suelos arenosos irrigados, 30 - 50 cb en suelos limosos y 30 - 60 cb en suelos arcillosos. (Martín, 2017, p. 5)

#### 2.2.8 Cultivo de maíz morado

Según Guilen Sánchez et al. (2019), la variedad morada de *Zea mays L.* es una variante genética del maíz peruano. Esta variedad de maíz presenta una espiga y grano conocidos como "tuza", compuestos en un 85% por grano y un 15% por corona (tusa). Se destaca que la corona (tusa) contiene una cantidad significativa de antocianina, mientras que el pericarpio (cáscara) del grano contiene una menor cantidad de esta sustancia. Dado que el maíz morado es uno de los alimentos principales en la dieta peruana, se utiliza ampliamente en la preparación de bebidas como la chicha morada y postres como la mazamorra. (Guilen et al., 2019, p. 43)

##### a. Sistema vegetativo

Gamboa (1980) señala que el sistema radicular del maíz consta de tres tipos de raíces: raíces seminales, que se originan en la propia semilla o grano de maíz y forman el sistema primario; raíces secundarias, que emergen de los nudos del tallo ubicados por debajo de la superficie del suelo; y por último, raíces terciarias. Además, se sugiere la existencia de un tercer tipo de raíces, conocidas como raíces anaerobias, las cuales se originan en los nudos del tallo más cercanos a la superficie y desempeñan un papel crucial en la fijación de la planta.

Por otro lado, el tallo del maíz se caracteriza por ser cilíndrico y presentar

rayas longitudinales y entrenudos, tal como se ha mencionado anteriormente. La altura del tallo puede variar entre 50 cm y 6 m, dependiendo del tipo de maíz, y en promedio tiene alrededor de 14 entrenudos. En cada nudo, se desarrolla una hoja que envuelve todo el tallo. (Gamboa, 1980, p. 123)

También se menciona que el maíz se caracteriza por tener raíces fibrosas, mientras que sus tallos tienen forma de caña con un diámetro promedio de aproximadamente 3 cm. La longitud de los tallos varía entre 100 y 250 cm, dependiendo de la variedad. Además, se describe que las hojas del maíz son acintadas, paralelinervadas y presentan una disposición alternada en la planta. (Fuster, 1974, p. 2)

#### b. Sistema reproductivo

Gamboa (1980) investigó las características de las espiguillas masculinas y femeninas del maíz, y observó que se diferencian por su ubicación en un eje pajizo llamado "zuro". Este zero puede tener de 8 a 30 surcos a lo largo de pares de espiguillas. Cada espiguilla femenina cuenta con un largo estilo o barba en su extremo. Por otro lado, las espiguillas masculinas forman la panícula terminal, la cual puede variar en su compactación según la variedad. Según el autor, el conjunto de flores femeninas que conforma la mazorca se encuentra en un corto pedúnculo lateral (Gamboa, 1980, p. 67).

Asimismo, se destaca que las espigas femeninas contienen dos flores, aunque generalmente solo una de ellas es viable. El polen proveniente de las espiguillas masculinas fecunda esta flor, que luego se desarrolla en un fruto denominado cariósido, el cual alberga el grano de maíz. El grano está casi completamente rodeado por el endospermo y representa aproximadamente el 10%

del total del grano. Además, el endospermo está envuelto por una cáscara de germen y las células del pericarpio. (Gamboa, 1980, p. 68)

Robles (1975) señala que el maíz presenta flores estaminadas y pistiladas que se encuentran en ubicaciones diferentes de la planta. Además, el autor destaca que el endospermo del fruto varía en su composición genética según los diferentes tipos de maíz, y técnicamente se clasifica como una cariósida, aunque popularmente se le denomina semilla o grano. (Robles, 1975, p. 204)

- c. Medina (2022) proporciona la siguiente clasificación taxonómica para el maíz:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Género: Zea

Especie: mays

Nombre científico: *Zea mays* L.

Variedad: Negra tomasa.

Por lo tanto, el maíz pertenece a la familia Poaceae, al orden Poales y a la clase Liliopsida. (Medina, 2022, p. 25)

- d. Fisiología y fenología

Según Gostincar (1997), el ciclo fenológico de una planta se define como el período de tiempo que transcurre desde su germinación hasta que alcanza la madurez fisiológica. Durante este ciclo, es importante destacar que una vez que la

planta alcanza la madurez fisiológica, el grano ya no acumula más materia orgánica, pero el tallo continúa haciéndolo (p. 38).

e. Fases fenológicas o de desarrollo del maíz morado

Los recursos primarios de una planta, es decir, sus insumos básicos, incluyen el agua, los nutrientes minerales del suelo, el dióxido de carbono y el oxígeno. La luz solar desempeña un papel fundamental al proporcionar energía al sistema interno de la planta, permitiendo la conversión de estos materiales básicos en productos útiles. Estos productos, también conocidos como materia seca, están compuestos por diferentes proporciones de minerales, proteínas, carbohidratos y aceites. (Hanway, 1966, p. 198)

Etapas de crecimiento:

Las etapas de desarrollo de la planta de maíz en vegetativas (V) y reproductivas (R), y cada etapa de desarrollo se divide a su vez en una variedad de niveles: vegetativo (V) y reproductivo (R):

**Tabla 1**

*Estado de desarrollo o fases fenológicas del maíz*

| <b>Estado vegetativo</b> | <b>Estado reproductivo</b> |
|--------------------------|----------------------------|
| VE - Emergencia          | R1 – Floración femenina    |
| V1- Primera hoja         | R2 – Grano perlita         |
| V2 - Segunda hoja        | R3 – Grano lechoso         |
| V3 - Tercera hoja        | R4 – Grano masoso          |
| V6 - Sexta hoja          | R5 – Grano dentado         |
| V9 - Novena hoja         | R6 – Madurez fisiológica   |
| V12 - Duodécima hoja     |                            |
| V15 - Décima quinta hoja |                            |
| V18 - Décima octava hoja |                            |
| VT - Floración masculina |                            |

*Nota.* Muestra los diferentes códigos con sus respectivos significados de las fases fenológicas del maíz. Fuente: Hanway. (Hanway, 1966, p. 200)

f. Estado de desarrollo vegetativo

La información proporcionada describe diferentes etapas del crecimiento y desarrollo del maíz, basándose en observaciones y descripciones realizadas por Hanway (1966). A continuación, resumiré las principales etapas mencionadas:

- VE (emergencia): Las semillas de maíz absorben agua y comienzan a crecer cuando se dan las condiciones adecuadas en el campo. Las raíces siguen al coleótilo, y la planta emerge de la superficie del suelo. La velocidad de emergencia puede variar según las condiciones ambientales.
- Estado V3: En este punto, la planta ha desarrollado todas sus hojas y botones

auriculares. El sistema radicular seminal casi deja de expandirse, y los pelos radicales comienzan a emerger de las raíces nodales.

- Estado V6: El tallo comienza a desarrollarse y alargarse más rápidamente. El sistema radicular nodal se convierte en el principal sistema radicular utilizado por la planta.
- Estado V9: Se observan varios botones auriculares en cada nudo de la sección aérea de la planta. El crecimiento de los brotes de tuza en el tallo inferior se ralentiza, mientras que los brotes superiores continúan creciendo.
- Estado V10: Las nuevas hojas emergen con mayor frecuencia, y la planta comienza a aumentar rápidamente su peso seco.
- Estado V12: Se determina la cantidad de óvulos en cada espiga y el número de hileras de granos por tuza. Los brotes superiores de la tuza son más pequeños que los inferiores.
- Estado V15: La fase de floración femenina comienza, y las tuzas superiores se desarrollan más que las inferiores. Aparecen hojas nuevas cada uno o dos días.
- Estado V17: Las tuzas han crecido lo suficiente como para ver las puntas de las cubiertas de las hojas que las rodean. La flor masculina también es visible.
- Estado de VT: Comienza cuando se ve claramente la última rama de la floración masculina y las floraciones femeninas aún no han florecido. La planta está cerca de su altura máxima y comienza la liberación de polen.

g. Estado de desarrollo reproductivo

R1 (Floración femenina): Las flores femeninas se vuelven visibles y ocurre

la polinización cuando los granos de polen son recogidos y fecundan el óvulo.

R2 (Grano perlita): El raquis, las espigas y el pedúnculo de la espiga están completamente formados. Los granos comienzan a acumular almidón y aumentan rápidamente de peso. El embrión del grano también comienza a desarrollarse.

R3 (Grano lechoso): El grano adquiere un color amarillo y su líquido interior se vuelve blanco lechoso debido a la acumulación de almidón. El embrión se expande rápidamente y los granos están cerca del 80% de humedad. El crecimiento se debe al llenado de almidón y la expansión celular.

R4 (Estado masoso o pastoso): El líquido lechoso interior sigue acumulando almidón en el endospermo. El embrión aumenta de tamaño y se forman cuatro hojas embrionarias. La tuza cambia de color a tonalidades rosadas. Los granos y la longitud de la tuza comienzan a detenerse o a secarse en las puntas.

R5 (Grano dentado): La cáscara de la tuza adquiere un color rojo oscuro y la mayoría de los granos presentan denticiones. El proceso de desecación inicia y se forma una capa dura de almidón en la parte superior de los granos, la cual se extiende hacia la base del grano a medida que crece.

R6 (Madurez fisiológica): Todo el maíz de la tuza alcanza su máximo peso seco o acumulación de materia seca. La tuza desarrolla una cobertura completa de almidón duro, formando una capa de abscisión de color negro o marrón. El grano ha alcanzado su peso máximo y está fisiológicamente maduro. Aunque la planta se seca y muere, las cáscaras y muchas hojas conservan su color verde. (p. 201)

### 2.2.9 Variedades Comerciales

Armando (2021) describe varias variedades de maíz morado que se encuentran en diferentes regiones de Perú. A continuación se presenta un resumen de las principales variedades mencionadas:

1. Morado Canteño: Es una variedad originaria de la variedad Cuzco y tiene características similares al Cuzco Morado. Es una variedad precoz que se siembra en varias zonas de la Sierra, así como en las zonas altoandinas del valle del Chillón en la región de Lima, por debajo de los 2500 metros sobre el nivel del mar. Se utiliza principalmente para la producción de chicha morada en la capital del Perú.
2. Morado de Caráz: Esta variedad se obtiene de dos razas, el Alazán y el Ancashino. Recibe su nombre por ser cultivada en la zona de Caraz, en el Callejón de Huaylas, donde ocupa grandes áreas. Es una variedad más pequeña en comparación con las variedades originarias de Cuzco. Tiene una madurez intermedia y se adapta bien a las condiciones de la costa. Su rendimiento es superior a otras variedades comunes cultivadas en el país y presenta una coronta más pigmentada. Aunque su tamaño es más pequeño que el maíz cusqueño, prevalecen las características propias de la costa.
3. Arequipeño: Esta variedad se encuentra en las zonas altoandinas de la región Arequipa. Los granos morados están dispuestos en hileras regulares en la mazorca, que tiene una estructura similar a la del maíz cusqueño, pero es más pequeña. El color del grano no es tan intenso como en otras variedades, y en Arequipa se observa una gran variación

en estas características, lo que indica un margen de mejora. Esta variedad es más antigua que las mencionadas anteriormente.

4. Negro de Junín: Esta variedad ha sido mejorada vegetativamente y tiene grandes semillas negras dispuestas de forma irregular en hileras cortas y redondeadas. Su forma es similar a la variedad San Jerónimo.
5. Huancavelicano: Esta variedad se encuentra en la parte central y sur de la Sierra, llegando hasta Arequipa. Se cultiva a altitudes superiores a las otras variedades. A diferencia de lo mencionado por Quevedo (2013) sobre la variedad Cuzco Morado y Cuzco Gigante, el maíz Huancavelicano tiene un período de madurez tardío y presenta granos grandes dispuestos en espigas con ocho filas bien diferenciadas. Se siembra en varias zonas a una altura media en las provincias de Cusco y Apurímac. (p. 18)

#### 2.2.10 Manejo del cultivo

El periodo de siembra efectuar en los primeros quince días del mes de octubre coincidiendo con las primeras lluvias en la sierra del país.

##### - Siembra

La siembra debe realizarse a una profundidad menor e igual a 10 centímetros de la superficie del suelo, esta favorecer la germinación y posterior emergencia. Para esto el suelo debe estar en condiciones óptimas de preparado y humedad para evitar.

##### - Densidad de siembra

La densidad de siembra usada fue de 2 semillas por cada golpe a una distancia de 0.40 m entre las plantas y 0.80 m de surcos; aproximadamente 50000 semillas

por hectárea. Haciendo un total de 40 a 50 kg/Ha Utilizar semilla de buena calidad de 40 a 45 kilos/ha; a 0.80 m entre surcos y 0.50 m entre golpes con tres semillas.

- Fertilización Aporque

La fertilización para el cultivo fue de acuerdo al análisis de suelos del laboratorio. Donde por hectárea se debe aplicar 5 toneladas de abono orgánico ó 10 sacos de guano de isla. Para obtener rendimientos superiores a 5 t/ha también se debe emplear más la dosis de fertilización 120-90-60 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O.

- Aporque

Se realizo 2 aporque el primero a los 20 – 30 cm y el segundo en 45 cm, con el objetivo de evitar la competencia de las malezas con el cultivo, darle sostén y aeración de las raíces.

- Control de malezas

El cultivo debe mantenerse libre de malezas especialmente durante los primeros 45 días. Los deshierbos deben ser oportunos para evitar pérdidas de nutrientes por la competencia. De persistir su presencia, previa evaluación, eliminarlas antes de la floración y durante el llenado del grano. Para el control químico, se recomienda utilizar herbicidas específicos a base de Atrazina.

- Riegos

Realizar un riego profundo para el establecimiento del cultivo, durante el ciclo vegetativo aplicar riegos de acuerdo al requerimiento de las plantas. En la etapa de floración y llenado de grano no debe faltar humedad en el suelo.

Allen (2006) estableció el descenso permitido de la humedad en el suelo para el maíz dulce de 50 %, estos representan la fracción del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular del frijol antes de

presentar estrés hídrico (p. 185).

#### - Control de Plagas

Para prevención del gusano de tierra Racka (*Ancognatha scarabioides*) y el cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se efectuó el riego, buena preparación del suelo, riegos oportunos y tratar la semilla con insecticidas. El control de los gusanos de cogollero (*S. frugiperda*) se realizó en las primeras etapas de la planta hasta que tenga el cogollo bien definido, aplicando insecticidas líquidos sin que este sobrepase el 10% de daño.

#### - Cosecha

La cosecha se realizó cuando las brácteas estuvieron bien secas o el grano llegó a la madurez fisiológica.

### 2.3 Definición de términos

#### Evapotranspiración de referencia

Es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo.

#### Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar.

#### Coefficiente de cultivo (Kc)

El factor Kc (Coeficiente de cultivo) representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

## Clima

Es el estado más frecuente de la atmósfera de un lugar de la superficie terrestre; es decir, una descripción estadística de las condiciones meteorológicas más frecuentes de una región en cierto periodo de tiempo

## Suelo

El suelo es la capa que cubre la superficie terrestre y que sostiene la vida vegetal y animal. Es el gran motor energético de la naturaleza, ya que en su interior alberga nutrientes y agua de la que se alimentan las plantas y otros organismos.

## 2.4 Hipótesis

Usar los lisímetros volumétricos artesanales será un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado en comparación a valores propuestos por la literatura.

- Hipótesis específicas
  - Usar los lisímetros volumétricos artesanales será un método adecuado para estimar la evapotranspiración del cultivo de maíz morado ( $ET_c$ ), en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.
  - Usar los lisímetros volumétricos artesanales y las fórmulas empíricas serán métodos adecuados para estimar la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.
  - Usar los lisímetros volumétricos artesanales será un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo del maíz morado ( $K_c$ ), en las diferentes etapas de crecimiento.

## 2.5 Variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

| VARIABLES  | DIMENSIÓN   | INDICADORES  |
|--|---|--|
| <p><b>Independiente</b></p> <p>Lisímetros volumétricos artesanales y fórmulas empíricas.</p> | <p>- Evapotranspiración de referencia y de fórmulas empíricas (ET<sub>o</sub>).</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos directos</li> <li>- Lamina de riego y drenaje</li> <li>• Métodos indirectos</li> <li>- Turc</li> <li>- Jensen – Haise</li> <li>- Hargreaves Temperatura</li> <li>- Hargreaves Radiación</li> <li>- Blaney – Criddle</li> <li>- Thorwitwe</li> <li>- Hargreaves Radiación</li> </ul> |
| <p><b>Dependiente</b></p> <p>Coefficiente de Cultivo del maíz morado (K<sub>c</sub>).</p>    | <p>- Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>).</p> <p>- K<sub>c</sub></p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamina de riego y drenaje.</li> <li>- ET<sub>c</sub>/ET<sub>o</sub></li> </ul>  |
| <p><b>Interviniente</b></p> <p>Condiciones suelo y clima</p>                                 | <p>- Clima</p> <p>- Suelo</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura Mínima</li> <li>- Temperatura Máxima.</li> <li>- Precipitación.</li> <li>- Velocidad de viento</li> <li>- Humedad Relativa.</li> <li>- Textura</li> <li>- Estructura</li> <li>- pH</li> </ul>   |

*Nota.* Se presenta la operacionalización de las variables propuestas para la investigación.

## Capítulo III

# METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo de investigación

El presente estudio se clasifica como cuantitativo, ya que se emplean variables con valores numéricos para llevar a cabo el análisis. Además, se enmarca en un enfoque aplicada que se fundamenta en los principios de la ciencia de la ingeniería de los recursos hídricos. El objetivo principal es calcular el coeficiente de cultivo mediante el uso del método del lisímetro y otros métodos indirectos, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico. De esta manera, se busca generar tecnología que contribuya a resolver los problemas relacionados con el suministro adecuado y oportuno de riego durante las fases vegetativas del cultivo de maíz morado en la región de Huánuco, beneficiando a los agricultores.

### 3.2 Diseño de investigación

La presente investigación se clasifica como experimental, siguiendo una metodología de diseño transversal. En este tipo de estudio, se recopilan datos en un período de tiempo específico

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población del estudio está compuesta por un total de 70 plantas de maíz morado, las cuales presentan características homogéneas.

#### 3.3.2. Muestra

##### a. Maíz morado

La muestra fue homogénea y estuvo constituida por 12 plantas, las

cuales se distribuyeron en los 3 lisímetros.

b. Ray Grass

La muestra estuvo conformada por 1.20 m<sup>2</sup> del pasto ray grass, el cual fue acondicionado en uno de los lisímetros.

### Características del campo de investigación

a) Campo de investigación

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Longitud del campo de investigación   | 9.50 m               |
| Ancho del campo de investigación      | 5.00 m               |
| Área total del campo de investigación | 47.50 m <sup>2</sup> |

b) Características de Lisímetro

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| Longitud del lisímetro | 1.20 m              |
| Ancho del lisímetro    | 1.00 m              |
| Altura del lisímetro   | 0.90 m              |
| Volumen del lisímetro  | 1.08 m <sup>3</sup> |

c) Características de los surcos

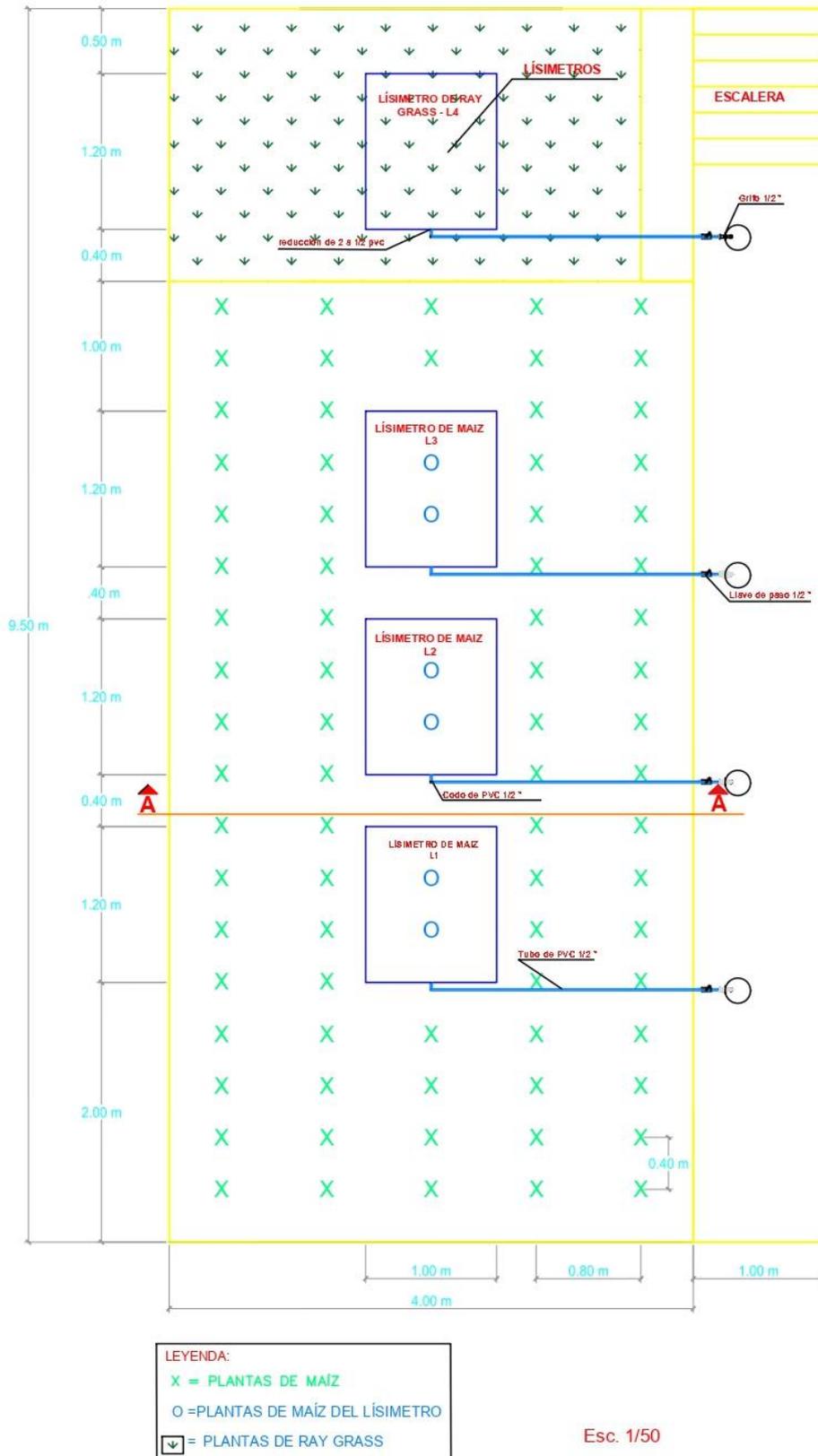
|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Longitud de surcos            | 7.40 m |
| Distanciamiento entre surcos  | 0.80 m |
| Distanciamiento entre plantas | 0.40 m |
| Nº de plantas/Lisímetro       | 4.00   |
| Nº de plantas/Golpe           | 2.00   |
| Nº de golpes/Lisímetro        | 2.00   |

#### 3.3.3. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado fue probabilístico, específicamente un muestreo aleatorio simple (MAS). Esto significa que todas las plantas de maíz morado y ray grass tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionadas para formar parte de la muestra durante la evaluación.

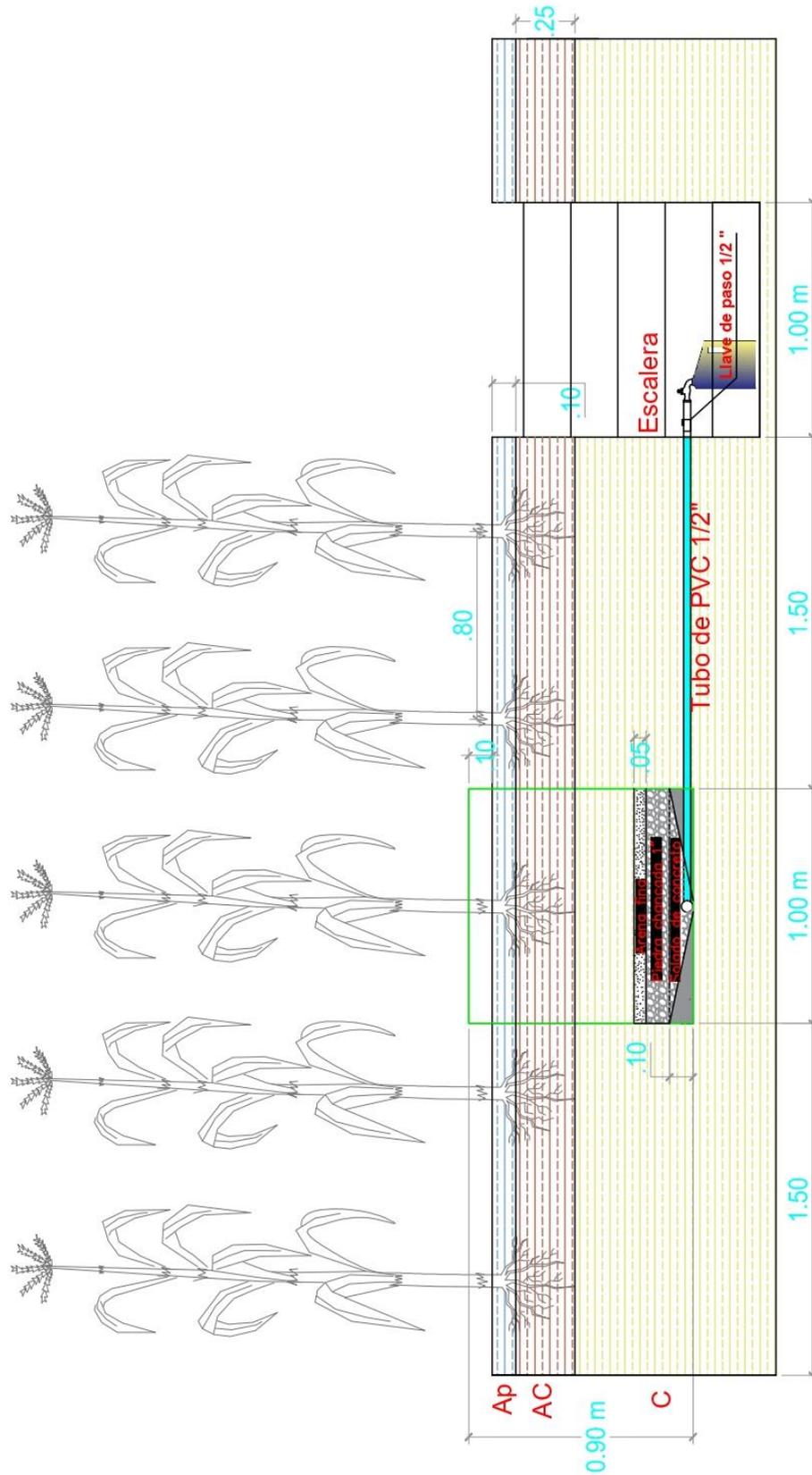
**Figura 2**

*Vista de planta de la parcela de investigación*



**Figura 3**

*Corte AA de la parcela de investigación.*



### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1 La observación

Se recolectó la información mediante observaciones en los lisímetros de maíz morado y ray grass durante las cuatro etapas de crecimiento establecidas por la FAO. Durante este proceso, se estimaron la evapotranspiración del cultivo, la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo. Para obtener los datos necesarios, se realizaron mediciones del agua de riego, la precipitación y el agua drenada en los contenedores de cada lisímetro. Además, se utilizaron los datos meteorológicos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

#### 3.4.2 Datos a registrar

- a. Evapotranspiración del cultivo maíz morado (ET<sub>c</sub>) y la evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>).

Durante la evaluación, se realizaron mediciones de acuerdo a las necesidades específicas del cultivo de maíz morado y ray Grass en cada etapa de crecimiento. Estas mediciones se llevaron a cabo utilizando el lisímetro volumétrico de drenaje. El proceso de evaluación se inició el 01 de noviembre de 2021, cuando las plantas emergieron del suelo. A continuación se presentan los datos requeridos para el estudio:

- Las precipitaciones (P), los registros de precipitación fueron obtenidos por la estación meteorológica de Huánuco, la cual se encontraba ubicada a una distancia de 10 metros de la zona de investigación. La unidad de medida utilizada para registrar la precipitación fue en láminas de mm/m<sup>2</sup>.

- la escorrentía (E), se despreció en la ecuación de balance hídrico debido a que los lisímetros sobresalían 5 cm del nivel del suelo con el fin que actué como un reservorio. Además, los lisímetros se construyeron de un material impermeable, para que el agua de riego no se pierda por escorrentía (E).
- Asimismo, la capilaridad (C) no se tuvo en cuenta, debido a que no existieron capas freáticas sub-superficial en el suelo.
- El riego (R), se realizó mediante una probeta graduada y regadera los datos registrados estuvieron en mililitros/lisímetro estas se convirtieron a mm/m<sup>2</sup> dividiendo el volumen entre el área del lisímetro (1.20 m<sup>2</sup>).
- Se registró el drenaje (D), que correspondía al agua drenada en los contenedores dentro de cada lisímetro. Las mediciones se realizaron en mililitros por lisímetro y posteriormente se convirtieron a mm/m<sup>2</sup> dividiendo el volumen obtenido por el área del lisímetro, que era de 1.20 m<sup>2</sup>.

$$ET_o, ET_c \text{ (mm/día)} = \frac{R \text{ (mm)} + P \text{ (mm)} - D \text{ (mm)}}{\# \text{ días}} \quad (13)$$

**Ecuación 13.** Evapotranspiración del cultivo y referencia.

b. Coeficiente de cultivo (Kc).

La determinación de los coeficientes KC para cada etapa de desarrollo del maíz morado se llevó a cabo a partir de la emergencia de las plantas, aproximadamente 8 días después de realizar el primer riego el día de la siembra, que tuvo lugar el 24 de octubre de 2021. Se utilizó la siguiente ecuación para calcular los coeficientes KC:

$$KC = \frac{ETc \text{ (mm/día)}}{ETo \text{ (mm/día)}} \quad (13)$$

**Ecuación 14.** Coeficiente de cultivo.

c. Evapotranspiración referencia mediante los métodos indirectos

Una vez instalado el experimento, se comenzó a recopilar de forma simultánea los datos meteorológicos diarios de precipitación, humedad relativa en %, temperatura máxima y mínima, utilizando la estación meteorológica del SENAMHI Huánuco. Posteriormente, se calcularon los promedios mensuales de estos factores climáticos. La estimación de la evapotranspiración de referencia se realizó en el programa Microsoft Office Excel 2019, al igual que la creación de las siguientes fórmulas:

- Blaney–Criddle.
- Radiación.
- Hargreaves
  - En base a la Radiación
  - En base a la Temperatura.
- Turc
- Jensen y Haise
- Thornthwaite.

Para evaluar la evapotranspiración de referencia (ETo) utilizando cada método durante las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de maíz morado, se realizó el cálculo de la ETo mensual en milímetros por mes.

### 3.4.3 Equipos

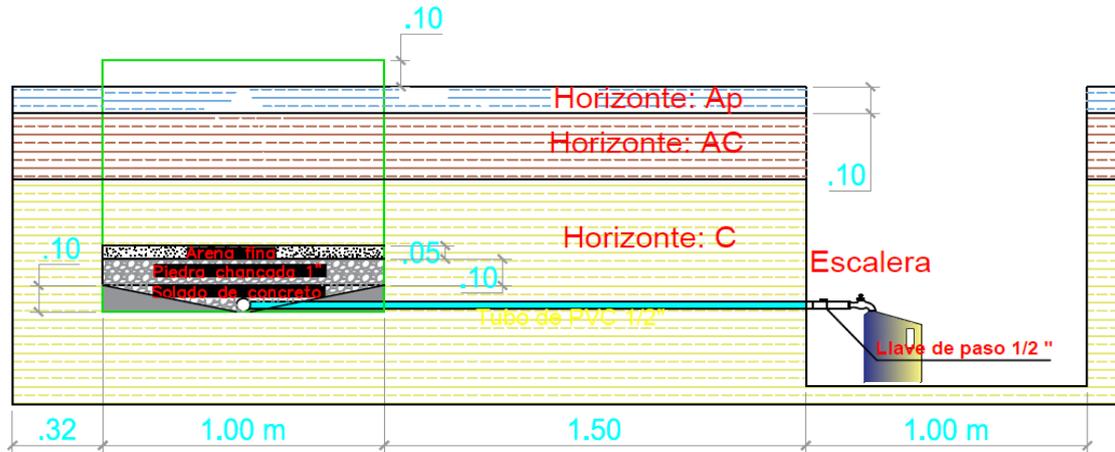
#### a. Lisímetro

Las dimensiones del lisímetro fueron de 1.20 metros de largo y 1.00 metro de ancho, lo que resulta en un área total de 1.20 metros cuadrados. El tamaño del lisímetro se determinó teniendo en cuenta las características fisiológicas de las plantas de maíz morado y ray grass, tales como la profundidad radicular, la distancia entre surcos y el área correspondiente a cada planta. A continuación, se presenta una lista de los materiales utilizados:

- Tubería de  $\varnothing = 1/2''$  de PVC.
- llave de paso de Agua  $f = 1/2$ .
- Grifos de  $1/2$
- Tubo de PVC  $1/2$  pulgadas
- Reducción de 2 a  $1/2$  pulgadas
- Recipiente medidor del nivel de agua percolado.
- Niples de  $f = 1/2$  pulgadas,  $L = 2.5$  pulgada.
- Cemento portland
- Arena fina y piedra chancada.

**Figura 4**

*Diseño del lisímetro de drenaje*



*Nota.* La imagen muestra la disposición del lisímetro en relación al sistema de drenaje escala 1/50.

b. Tensiómetro

El tensiómetro utilizado en el estudio fue el modelo LT de la marca IRROMETER, este dispositivo fue empleado para medir la tensión del agua en el suelo, proporcionando información relevante sobre las condiciones de humedad. El tensiómetro está compuesto por varios componentes, entre los cuales se incluyen:

Tubo de plástico herméticamente cerrado, Es el cuerpo principal del tensiómetro y tiene la función de contener y proteger los demás componentes. Su diseño asegura un sellado adecuado para prevenir fugas de agua y mantener la integridad del sistema.

Cápsula porosa: Situada en la parte inferior del tubo, la cápsula porosa está en contacto directo con el suelo. Su estructura porosa permite que el agua del suelo ingrese al tensiómetro, estableciendo un equilibrio con la presión

del agua en el suelo. El manómetro, ubicado en la parte superior del tubo del tensiómetro, cumple la función de medir la presión en el interior del dispositivo. Está equipado con una escala graduada en centibares (cb), que es la unidad de medida utilizada para expresar la tensión del agua en el suelo. El rango de graduación del manómetro va desde 0 hasta 100 cb, lo que permite al usuario observar y registrar de manera precisa la presión del agua en el suelo.

Indicador de presión, el indicador visual en el manómetro muestra la lectura de la presión y permite al usuario visualizar y registrar la tensión del agua en el suelo. Esta herramienta proporciona información importante sobre el nivel de humedad del suelo y ayuda a los usuarios a monitorear y controlar el riego de manera efectiva. Al observar el indicador en el manómetro, los usuarios pueden determinar si el suelo está demasiado seco o demasiado húmedo, lo que les permite tomar las medidas necesarias para mantener un equilibrio adecuado en los niveles de humedad del suelo.

Durante el estudio, se utilizó el tensiómetro IRROMETER modelo LT para monitorear de manera precisa la tensión del agua en el suelo. Esta herramienta permitió obtener información detallada sobre las condiciones de humedad y desempeñó un papel fundamental en la estimación de la evapotranspiración de los cultivos. Estación meteorológica

La Estación Meteorológica Huánuco - tipo Convencional del SENAMHI se encuentra ubicada en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL).

Su ubicación geográfica es la siguiente:

Latitud: 9°57'7.24" S.

Longitud: 76°14'54.8" W.

Altitud: 1919 msnm.

Tipo: Convencional - Meteorológica.

Código: 109003.

La estación meteorológica se encuentra estratégicamente ubicada en esta área con el fin de recopilar datos meteorológicos precisos y representativos de la región de Huánuco. Estos datos son utilizados para llevar a cabo estudios y análisis del clima local, así como para proporcionar información climática actualizada a agricultores, investigadores y otros usuarios interesados. De esta manera, la estación meteorológica cumple un papel fundamental en la recolección de información climática confiable y en la difusión de dicha información a quienes la necesitan.

c. Materiales

- Material vegetativo semillas de maíz morado

Se utilizó semilla comercial de maíz morado Var. negra tomasa, proveniente del Huerto Olerícola Frutícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (**Ver Tabla 3**).

**Tabla 3***Características agronómicas del Maíz morado.*

| CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS   |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Nombre de la Variedad          | Maíz Morado Var. Negra Tomasa |
| Altura de Planta               | 2.16 m                        |
| Altura de Mazorca              | 1.24 m                        |
| Días a floración femenina      | 98                            |
| Días a maduración              | 170                           |
| Unidad calórica a la floración | 875.7+-8. 1° Cd               |
| Hojas Normales                 | Lanceoladas                   |
| Numero de hojas por planta     | 12                            |
| Forma de la mazorca            | Ligeramente cónica.           |
| Longitud de la mazorca         | 17.5 cm                       |
| Diámetro de mazorcas           | 4.6 cm                        |
| Número de hileras              | 10 a 12                       |
| Número de granos por hilera    | 26                            |
| Consistencia de grano          | harinosa                      |
| Longitud del grano             | 13 mm                         |
| Ancho del grano                | 11 mm                         |
| Espesor                        | 5 mm                          |
| Porcentaje de desgrane         | 78%                           |

*Nota.* Fuente UNHEVAL.

- Material vegetativo semilla de rye grass
1. El cultivo de ray grass Nui es una variedad de gramínea perenne diploide que se destaca por su temprana madurez y capacidad de rebrote. Es ampliamente utilizado en actividades de pastoreo y puede ser asociado con plantas como tréboles para mejorar la calidad del pasto. Además de su uso en pastoreo, el ray grass Nui es aprovechado para la producción de heno y ensilaje, lo que lo convierte en una opción

versátil como forraje para el ganado.

## 2. Características

- Posee un sistema radicular más denso, mejorando la estructura del suelo.
- Tiene una gran capacidad de macollamiento.
- Altamente digerible.
- Resistencia al pisoteo.
- Gran capacidad de rebrote.

## 3. Tolerancias

- Ligeramente a roya.
- A bajas temperaturas.
- Recomendaciones:
- Planta ideal para el pastoreo.

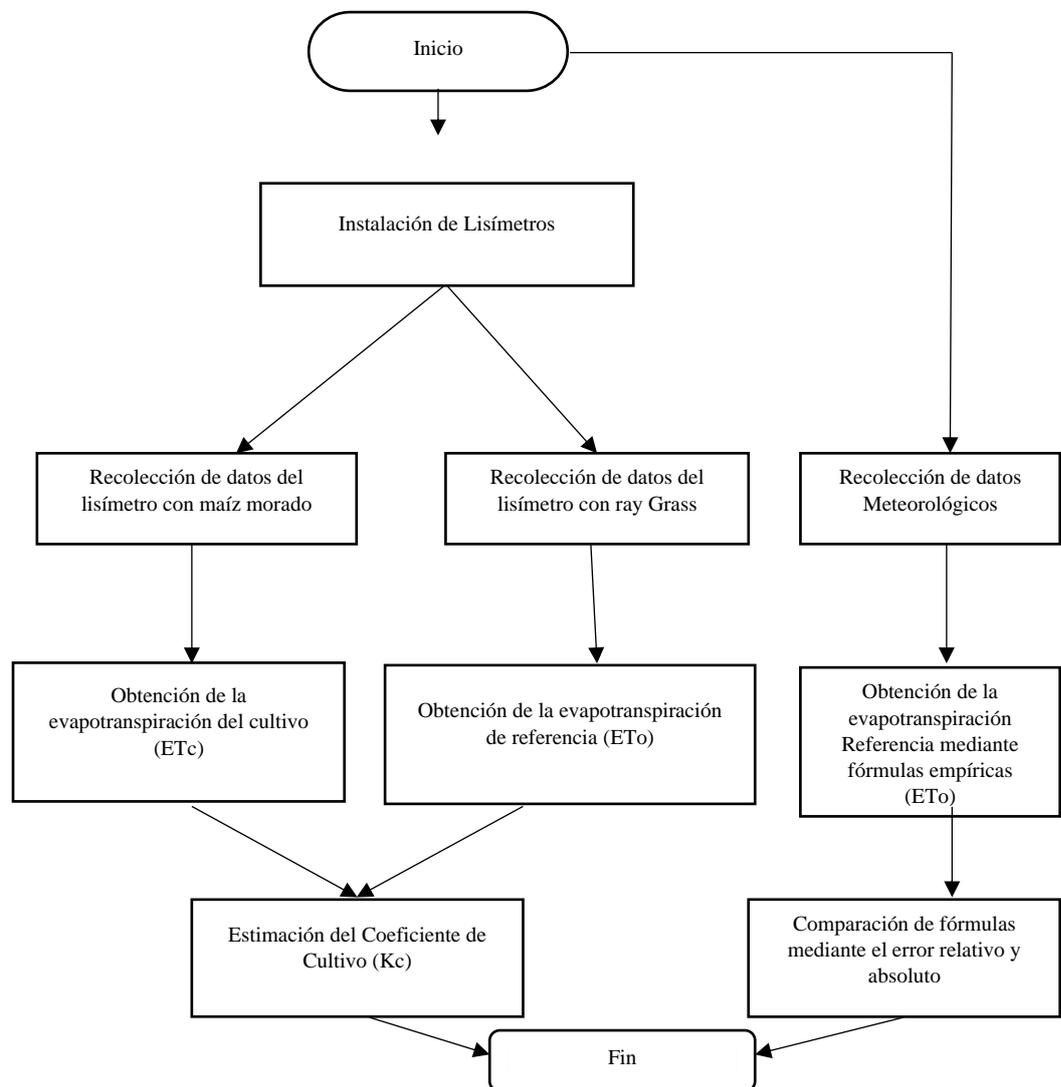
### 3.5 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

#### 3.5.1. Metodología

La metodología realizada en resumen para el proyecto se representa en la siguiente figura de diagrama de flujo (Ver Figura 5 Diagrama de flujo de la metodología aplicado).

**Figura 5**

*Diagrama de flujo de la metodología aplicada*



*Nota.* El siguiente diagrama muestra la metodología usada desde la recolección de datos para cumplir los objetivos planteados.

a. Análisis del suelo

El análisis físico-químico del suelo se llevó a cabo seleccionando aleatoriamente 4 submuestras en el área experimental a una profundidad de 0-10 cm y otras 4 submuestras a una profundidad de 0-35 cm. Estas submuestras fueron mezcladas y homogeneizadas para obtener una muestra representativa. A continuación, se tomaron dos muestras de 1 kg cada una, las cuales fueron procesadas y enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad Agraria de la Selva para realizar el análisis físico-químico. Este análisis permitió determinar las características y propiedades del suelo, como su textura, pH, contenido de nutrientes y otros parámetros relevantes para el estudio.

**Tabla 4**

Análisis físico del suelo del área experimental

| PROFUNDIDAD<br>(cm) | TEXTURA |    |    | CLASE<br>TEXTURAL | Da<br>(gr/ml) | Dr<br>(gr/ml) | % HUMEDAD |        |
|---------------------|---------|----|----|-------------------|---------------|---------------|-----------|--------|
|                     | Ao      | Ar | L  |                   |               |               | C.C.      | P.M.P. |
| 0 – 10              | 59      | 18 | 23 | Franco<br>Arenoso | 1.40          | 2.50          | 15        | 6      |
| 10 – 25             | 57      | 19 | 24 | Franco<br>Arenoso | 1.40          | 2.50          | 15        | 6      |

*Nota.* Esta tabla presenta el análisis físico de suelos realizados por el laboratorio.

**Tabla 5**

Análisis químico del suelo del área experimental

| pH   | % M.O. | % M.O. | P (ppm) | K (ppm) | CIC  | % Baes<br>cambiables |
|------|--------|--------|---------|---------|------|----------------------|
| 8.58 | 4.65   | 4.65   | 14.63   | 103     | 7.32 | 100                  |
| 8.53 | 4.62   | 4.62   | 14.13   | 100     | 7.35 | 100                  |

*Nota.* Esta tabla presenta el análisis químico de suelos realizados por el laboratorio.

## b. Construcción e instalación del lisímetro

La construcción e instalación de los lisímetros se llevó a cabo de la siguiente manera: se preparó una superficie de 47.50 m<sup>2</sup> mediante el uso de un pico y una lampa, mezclando compost con el suelo. Se instalaron cuatro lisímetros simétricos para medir el balance hídrico, garantizando áreas de influencia homogéneas. Durante la instalación, se prestaron atención a la colocación de las capas de suelo dentro de los lisímetros, alineándolas con el perfil del suelo circundante y la capa superior. Además, se nivelaron las capas de suelo, colocándolas 5 cm por encima del nivel del suelo para evitar la entrada de agua de riego al medio ambiente. Es importante destacar que el suelo presente dentro de los lisímetros es idéntico al suelo exterior, asegurando condiciones comparables para las mediciones y evaluaciones.

Los lisímetros se construyeron utilizando contenedores de 1.00 x 1.20 m<sup>2</sup> y 0.90 m de altura, adecuados para cultivos grandes y campos abiertos. La excavación tuvo dimensiones de 8.00 metros de largo, 1.5 metros de ancho y 1.2 metros de profundidad, con un volumen doble al del cuerpo del tanque para facilitar la instalación.

Se utilizó una vasija rectangular de 1.20 m de largo, 1.00 m de ancho y 0.90 m de alto como tanque de los lisímetros, con una válvula de reducción de 2 pulgadas para controlar el flujo de agua. Se colocó mortero en el fondo del tanque, se inclinó y pulió después del drenaje. Se diseñó una rampa para dirigir el agua hacia la válvula de salida, seguida de capas de grava de diferentes tamaños y una capa de arena fina, todas prelavadas.

Finalmente, los lisímetros se llenaron de acuerdo a los horizontes de suelo identificados.

c. Calibración del tensiómetro

El tensiómetro consta de una punta de cerámica, el tensiómetro sirve de maniquí de la raíz, interactuando con la humedad del suelo. Este método resultó ser el más preciso. Aunque las lecturas del tensiómetro son sencillas de realizar, su instalación requiere una calibración previa. En consecuencia, se calibró un tensiómetro para establecer la curva pf de humedad del suelo. A continuación, se indican las medidas que se toman al aplicar el método de la tensión del suelo: A 15 cm y 30 cm, se insertaron dos tensiómetros tras un riego de saturación.

- ✓ Después de 72 horas el suelo haya alcanzado la capacidad de campo, tome la primera lectura del tensiómetro en centibares y tome una muestra de suelo para determinar su contenido de humedad en el horno por método gravimétrico. A medida que el suelo se seca, comienza a extraer agua de la columna de agua del tensiómetro a través de las bolas de cerámica, creando succión en la columna de agua. En este caso, la fuerza se mide y registra en centibares con un manómetro de succión (manómetro).
- ✓ Se tomó lectura y se sacó muestras del suelo para determinar el % de humedad gravimétrica del suelo se realizó del 12 de octubre al 14 de octubre del 2021.
- ✓ Obtenidos los datos se graficó en un sistema de eje cartesiano los pares de valores de tensión y contenido de humedad del suelo obtenidos. Así se ha determinado una relación directa entre ambos parámetros, de manera que, conociendo el valor de uno de ellos, podemos conocer el otro.

d. Instalación del tensiómetro

Se instaló tensiómetro para los 04 lisímetros IRROMETER de 15 y 30 cm para medir la tensión del agua para riego. Se colocaron los tensiómetros a una profundidad de 15 cm (ray grass) y 30 cm (maíz morado). Para la instalación del tensiómetro, se utilizó una barra de acero para perforar un agujero en el suelo a la profundidad deseada. El tensiómetro se colocó en los orificios previamente realizado con la barra de acero en el suelo y luego se llenó en cada lisímetro de agua destilada para eliminar las burbujas de aire, antes de sellar herméticamente. En estas condiciones, el agua que llena la columna de agua está a la presión atmosférica y el manómetro muestra cero.

e. Conducción de la investigación

i. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó dentro y fuera de los lisímetros 15 días antes de la siembra con el objetivo de que las condiciones físicas dentro del lisímetro sean comparables con los de afuera. Se utilizó pico, azadón, cordel, wincha para labrar la tierra y hacer los surcos.

ii. Siembra

Después de la preparar el terreno, el suelo se lleva a condiciones de rendimiento dentro y fuera dentro y fuera de los lisímetros, Después de realizar el primer riego controlado. Se destinó 03 lisímetros para la siembra del maíz morado, acomode 03 semillas para asegurar la germinación. La germinación Esta actividad se realizó el 25 de octubre de 2021, mediante la siembra por golpe, con distanciamiento de 0.40 m. entre plantas y 0.8 entre surcos en el cual se utilizó tres (3) semillas colocadas en la costilla del surco para asegurar la población y

finalmente se dejaron dos (2) plantas por golpe.

### iii. Labores culturales

Una vez instalado y sembrado el cultivo del maíz morado, se llevó a cabo el deshierbo manual a los 15 días después de la emergencia. En esta etapa, se eliminaron las malezas indeseadas, dejando solamente 2 plantas de maíz morado por golpe. El deshierbo se realizó utilizando un azadón para remover las malezas de forma manual.

Posteriormente, a los 45 días después de la siembra, se llevó a cabo el aporque correspondiente. Esta práctica consiste en acumular tierra alrededor de la base de las plantas para estabilizarlas y promover el desarrollo de raíces adventicias. El aporque ayuda a mejorar la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas y favorece un mejor anclaje al suelo.

### iv. Control de plagas

Cuando había una alta presencia de malezas en el campo, se optó por realizar deshierbes manuales para controlarlas. Se llevaron a cabo dos deshierbes, uno a los 21 días después de la siembra y otro a los 45 días, con el objetivo de eliminar las malezas y reducir su competencia con las plantas de maíz morado. Además, se sembraron semillas para evitar la competencia por nutrientes, agua y luz, asegurando así un adecuado desarrollo del cultivo.

En cuanto al control de plagas, se implementó el control de *Spodoptera frugiperda*, una plaga común en el maíz morado. Se utilizó el insecticida clorpirifos, aplicando una dosis de 400 ml por frasco en dos

ocasiones: en los días 45 y 95 después de la siembra. Esta medida permitió mitigar el impacto de la plaga y proteger la salud de las plantas.

Por otro lado, se adaptó uno de los lisímetros para el cultivo de rye grass Nui. Después de preparar el terreno y llevarlo a capacidad de campo, se realizó la siembra al voleo el 16 de octubre de 2021. Se utilizó una densidad de siembra de 15 kg por hectárea. Durante el crecimiento del cultivo, se mantuvo una altura entre 12 y 15 cm.

#### v. Aplicación de riegos

Lámina inicial de agua de riego, calculada a partir de la ecuación original, fue de 7.26 cm (87.12 L) para regar un suelo con una superficie de 1.2 m<sup>2</sup> y un perfil de 55 cm. Al sembrar maíz morado a capacidad de campo (CC = 16%), se elige este método debido a que se realiza en un suelo bien drenado. Es importante no volver a regar hasta que las plántulas se hayan establecido, ya que regar durante la germinación puede causar la pudrición de las semillas.

Para monitorear el contenido de agua en el suelo, se utilizó un tensiómetro de 30 cm que registró la capacitancia del campo a una tensión de 15.97 cbar (CC = 16%). De manera similar, para la siembra de pasto troza, que tuvo lugar el 16 de octubre de 2021, se esperó a que las semillas germinaran después de 5 días y luego se realizó el riego cuando el suelo alcanzó la capacidad de campo (CC = 16%). En este caso, se utilizó un tensiómetro de 15 cm para registrar el volumen de agua en el suelo a un voltaje de 10 cbar.

La lámina aplicada ( $L_a$ ) se determinó mediante una ecuación específica, que no se proporciona en el texto proporcionado.

$$La = \frac{(\%CC - \%PMP)}{100} * Da * Pr \quad (14)$$

**Ecuación 15.** Lamina de riego según la capacidad de campo.

**Donde:**

CC : Capacidad de Campo

PMP : Punto de Marchitez Permanente.

Da : Densidad Aparente.

Pr : Profundidad radicular.

El volumen aplicado (Va) se calculó con la siguiente expresión:

$$Va = \text{Área} * La \quad (16)$$

**Ecuación 16.** Volumen aplicado.

**Donde:**

Área: Área del lisímetro

La: Lámina aplicada.

f. Frecuencia de riego

Se estableció una frecuencia de riego basada en la lectura del tensiómetro de 30 cm, el cual registró la capacidad de campo (CC = 16%) a una tensión de 15.97 centibares. De manera similar, para la siembra de ray grass, esta se realizó al voleo el 16 de octubre de 2021. El pasto germinó después de 5 días y posteriormente se procedió a regar cuando el suelo alcanzó la capacidad de campo (CC = 16%). El tensiómetro de 15 cm registró la capacidad de campo a una tensión de 10 centibares.

g. Balance Hídrico en el Lisímetro

En cada lisímetro, el agua de entrada de riego (R), la precipitación (P) y

el exceso de agua de infiltración (D), el escurrimiento superficial y los cambios de humedad ( $\Delta H$ ) permiten crear la ecuación:

$$ET = P + R - ES - D + C \pm \Delta SW \quad (17)$$

**Ecuación 17.** Balance hídrico.

En la ecuación mencionada, ET representa la evapotranspiración del cultivo desde el último riego hasta el momento actual. La cantidad de agua excedente (D) debido a la percolación se determinó recojiéndola en un recipiente de volumen conocido durante el último y primer día del período analizado. Se mantuvo la humedad del suelo en los lisímetros a un nivel óptimo, aproximado a la capacidad de campo, utilizando un tensiómetro para su monitoreo. Cabe destacar que el escurrimiento superficial no fue considerado en los lisímetros. (**Ver Ecuación 18.** Fórmula para lisímetro de drenaje.).

$$ET = (R+P) - D \quad (18)$$

**Ecuación 18.** Fórmula para lisímetro de drenaje.

**Donde:**

**ET :** Evapotranspiración del cultivo mm/día.

**R :** Riego mm.

**P :** precipitación para el período mm.

**D :** Lámina percolada en mm.

h. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia

La evapotranspiración de referencia se determinó utilizando el método de lisímetros de drenaje. Se construyó un lisímetro que incluía todos los accesorios

necesarios para el riego y el drenaje del agua. El cultivo de referencia utilizado fue el rye grass nui, el cual se instaló en las condiciones de desarrollo de la localidad de Cayhuayna. La evapotranspiración de referencia se calculó en base a los riegos realizados con frecuencias de 2 a 5 días, según las necesidades del cultivo indicadas por el tensiómetro.

Finalmente, se generó de ETo y ETc, con el cual se obtuvieron las ETo y ETc en mm/día, el cual consistió en restar la cantidad de agua drenada (D), recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua de riego (R), dividido por el número de días de riego (R). El riego fue controlado en cada uno de los lisímetros del cultivo de Maíz morado, se procedió a par medir el volumen de agua drenada y de riego se usó una probeta graduada de 1000 ml, dicha medición se realizó en la unidad de media mililitros/lisímetro para luego esta se convirtió a mm/m<sup>2</sup> para calcular en base a la precipitación.

i. Estimación del coeficiente de cultivo (Kc)

En la investigación, se identificaron las siguientes etapas de crecimiento del cultivo de maíz morado: Inicial, desarrollo, mediados y final. Se determinó el periodo de duración de cada etapa de desarrollo del maíz morado. Para cada etapa de crecimiento, se calculó la evapotranspiración de referencia (ETo) promedio, teniendo en cuenta la duración de la etapa. Asimismo, se determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETc) para cada etapa de crecimiento del maíz morado.

Las evaluaciones se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) para determinar el coeficiente de cultivo (Kc) del maíz morado. Se consideraron las

medidas necesarias para obtener datos precisos y confiables.

1. Fecha de siembra.

2. Se estableció el período de desarrollo en días para cada estado de crecimiento del cultivo del maíz morado con bases en observaciones realizadas en el campo experimental.

3. Se utilizó la relación ETc y ETo, donde se registró diariamente la ETc del maíz morado (drenaje) al igual que para la ETo (rye grass).

$$Kc = ETc / ETo$$

La idea subyacente, es que existirá una relación entre los dos valores de evapotranspiración si la ETo y la ETc del cultivo se miden simultáneamente durante un período de tiempo específico en el mismo entorno. Esta relación se cuantificará mediante un factor de escala denominado coeficiente de cultivo.

**(Ver Figura 4**

*Diseño del lisímetro de drenaje)*

j. Curvas del Coeficiente de Cultivo (Kc)

Las curvas de coeficiente de cultivo se trazaron siguiendo los siguientes pasos:

1. Se determinó el número de días de cada etapa del período vegetativo del maíz morado, que en este caso fue de 134 días.
2. Se calculó el Kc inicial para la fase inicial del cultivo. En este caso, la siembra se realizó el 01 de noviembre y esta etapa duró 19 días en el campo.
3. Se determinó el Kc de la fase de desarrollo del cultivo. Esta etapa tuvo una duración de 41 días en el campo.
4. Se calculó el Kc a mitad de temporada. Esta fase duró 31 días en el campo.

5. Se determinó el Kc final para la etapa final del cultivo, que duró 43 días en el campo
6. Determinación del Kc final. La fase final duró de 43 días en el campo.
  - k. Estimación con métodos indirectos

Una vez obtenidos los registros promedios mensuales de los factores climáticos, se estimó la evapotranspiración de Referencia mediante un trabajo de gabinete utilizando el programa Microsoft Office Excel 2019. Asimismo, se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Radiación.
- Hargreaves
  - En base a la Radiación
  - En base a la Temperatura.
- Turc
- Jensen y Haise
- Thornthwaite.

### 3.5.2. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se efectuaron los siguientes cálculos y análisis:

- a. Error absoluto

Se calculó el error absoluto utilizando los datos de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) y la evapotranspiración de Referencia calculada (ET<sub>o</sub>) mediante las diferentes fórmulas empíricas, en promedio mensual. El objetivo fue determinar el grado de subestimación o sobreestimación en relación a la ET<sub>o</sub> lisimétrica, que se relaciona de la siguiente manera en la ecuación (**Ver Ecuación**

19. Fórmula para el Error Absoluto.).

$$\text{Error Absoluto} = \text{ETP Lisimetro} - \text{ETP Ecuaciones} \quad (19)$$

**Ecuación 19.** Fórmula para el Error Absoluto.

b. Error relativo

El error relativo es la división del error absoluto entre el valor exacto. Si esta se multiplica por el valor de 100 se obtiene el porcentaje (%) de error relativo careciente de unidades (**Ver Ecuación 20.** Fórmula para el Error Relativo.

$$\text{Error Relativo} = \frac{\text{ETP Lisimetro} - \text{ETP Ecuaciones}}{\text{ETP Lisimetro}} \quad (20)$$

**Ecuación 20.** Fórmula para el Error Relativo.

El error Relativo permitió comparar con la evapotranspiración de referencia). Para recomendar la fórmula que más se ajuste del experimento. Es decir, aquella que ostenta el menor valor de error relativo.

c. Desviación Estándar

Se calculó la desviación estándar de los errores obtenidos para las 07 ecuaciones empíricas propuestas para medir la dispersión de los datos respecto a la media (variabilidad) (**Ver Ecuación 21.** Fórmula para la Desviación Estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (21)$$

**Ecuación 21.** Fórmula para la Desviación Estándar.

## Capítulo IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación de resultados

##### 4.1.1 Evapotranspiración del cultivo de maíz morado

Para estimar la Evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), se observó que los tres lisímetros el desarrollo del cultivo fue similar; sin encontrar diferencias significativas hasta el final de su desarrollo vegetativo (Datos registrados de campo del lisímetro N° 01, 02 y 03 de maíz morado).

**Tabla 6**

*Registro del coeficiente de cultivo del Maíz Morado (Kc) por cada estado de crecimiento.*

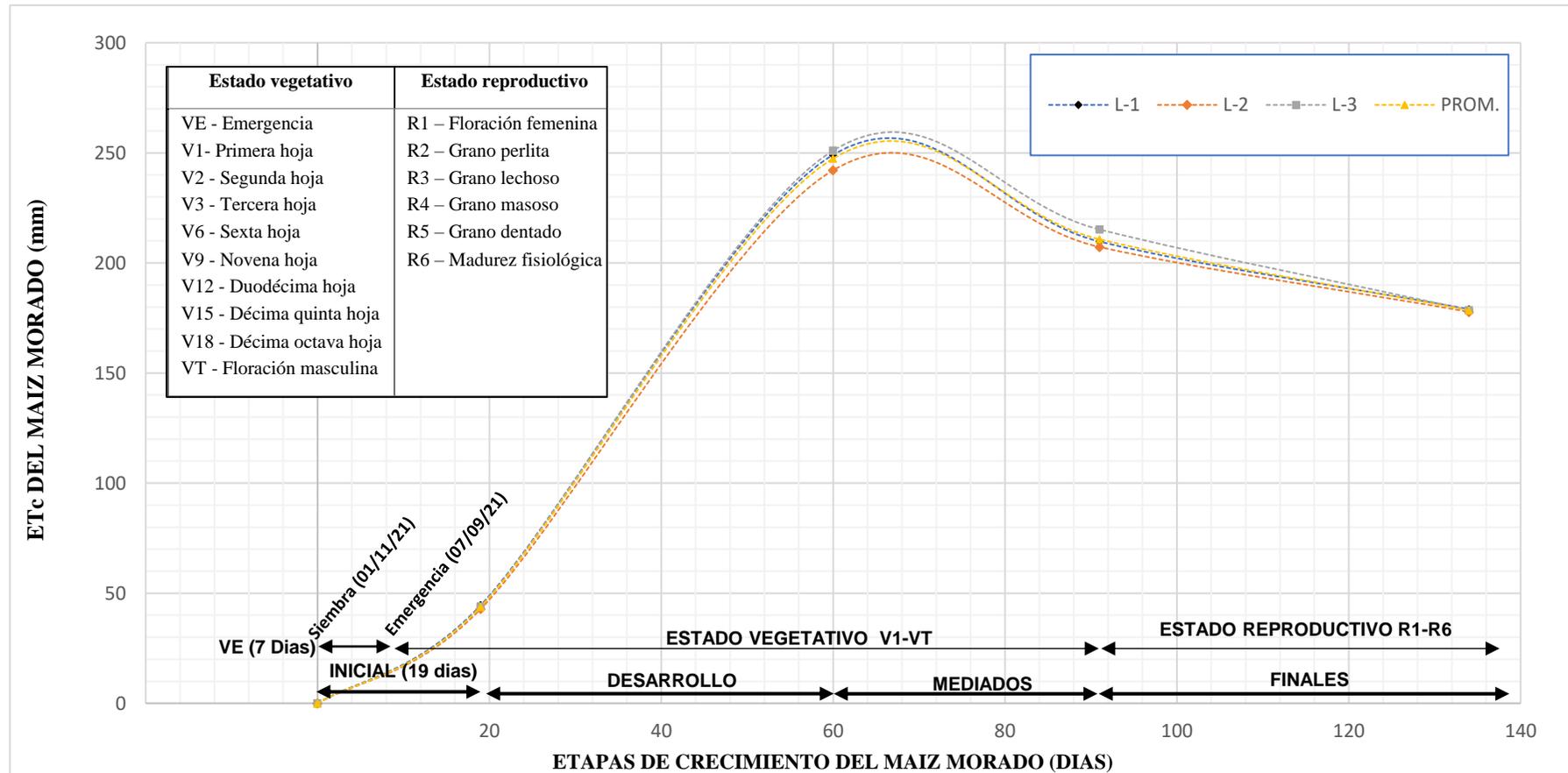
| <b>Etapas de crecimiento</b> | <b>Fecha</b> | <b>Días</b> | <b>L1-ETc (Prom) (mm)</b> | <b>L2-ETc Prom. (mm)</b> | <b>L3-ETc Prom. (mm)</b> | <b>ETc prom. (mm)</b> |
|------------------------------|--------------|-------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Inicial</b>               | 01/11/21     | 19          | 44.60                     | 42.90                    | 44.07                    | <b>43.86</b>          |
|                              | 19/11/21     |             |                           |                          |                          |                       |
| <b>Desarrollo</b>            | 20/11/21     | 60          | 249.11                    | 242.11                   | 251.03                   | <b>247.41</b>         |
|                              | 31/12/21     |             |                           |                          |                          |                       |
| <b>Mediados</b>              | 01/01/22     | 31          | 209.70                    | 207.23                   | 215.18                   | <b>210.71</b>         |
|                              | 31/01/22     |             |                           |                          |                          |                       |
| <b>Final</b>                 | 01/02/22     | 43          | 178.98                    | 177.78                   | 178.65                   | <b>178.47</b>         |
|                              | 15/03/22     |             |                           |                          |                          |                       |

*Nota.* Así mismo, la evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), se consolidaron según las etapas de crecimiento, a través de evaluaciones constantes siendo estas: Inicial 43.86 mm, desarrollo 247.41 mm, mediados 210.71 mm y final 178.47 mm.

Es así que en la etapa inicial duro 19 días, desarrollo 60 días, mediados 31 días y final con 43 días haciendo un total para el periodo de desarrollo del cultivo de maíz morado en 134.

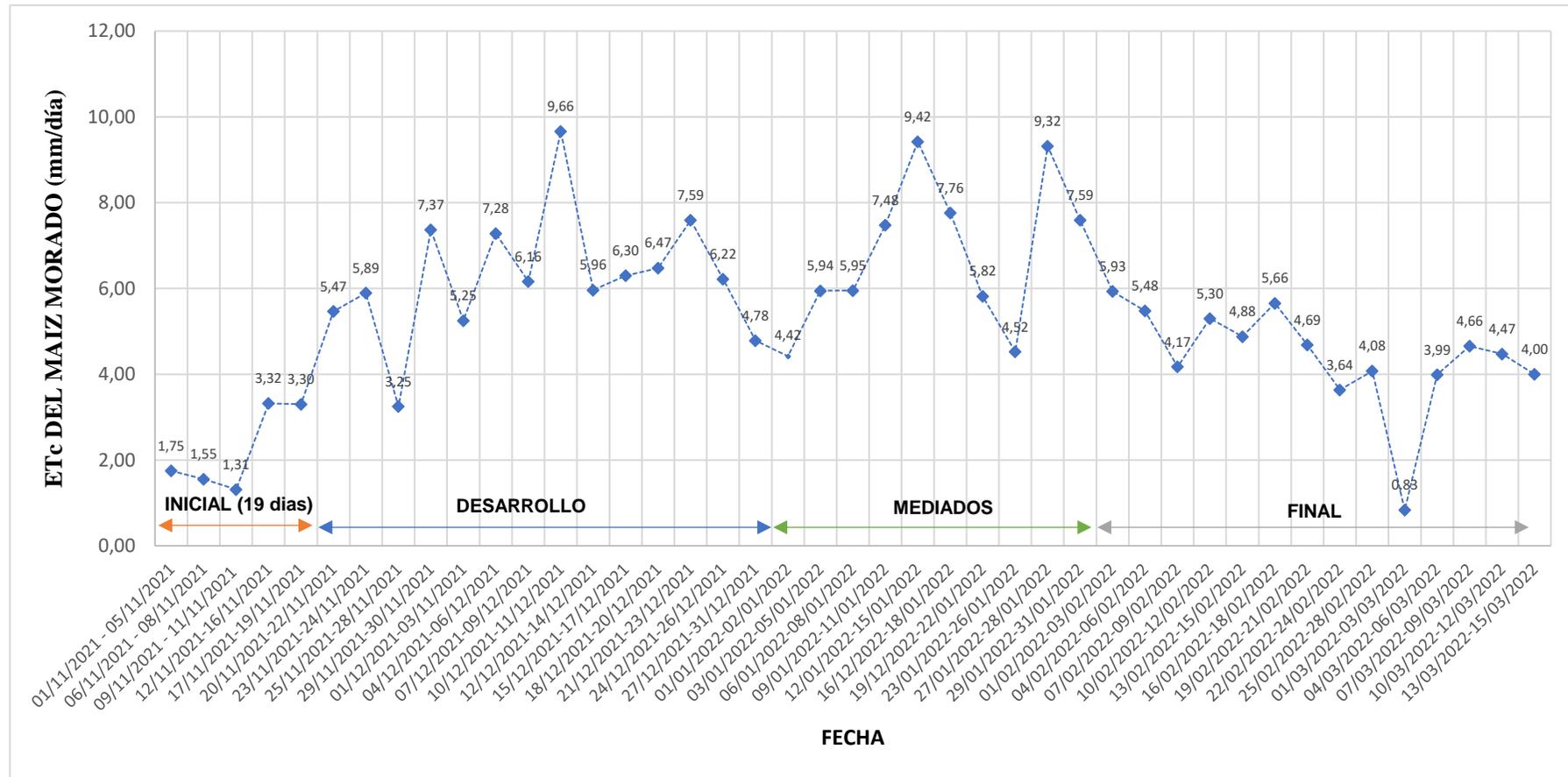
**Figura 6**

*Fluctuación de la evapotranspiración de Cultivo del maíz morado para las etapas de crecimiento.*



**Figura 7**

*Fluctuación de la evapotranspiración del maíz morado diarias para las etapas de crecimiento.*



#### 4.1.2 Evapotranspiración de referencia

- Evapotranspiración de Referencia mediante lisímetro de drenaje

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), se determinó mediante el método del lisímetro volumétrico de drenaje usando el cultivo de ray Grass nui ver Datos de registrados de campo del lisímetro N° 04. El Lisímetro de ray Grass el desarrolló no presento ningún inconveniente fitosanitario en todo el tiempo que duró la investigación, se mantuvo siempre a humedad constante y recortándolo quincenalmente para mantener una altura similar entre 12 a 15 cm. Los resultados se calcularon mensualmente en milímetros (mm/etapa de crecimiento) es así que la etapa inicial se determinó en 63.46 mm, desarrollo 222.70 mm, mediados 162.92 y final con 180.63 mm.

**Tabla 7**

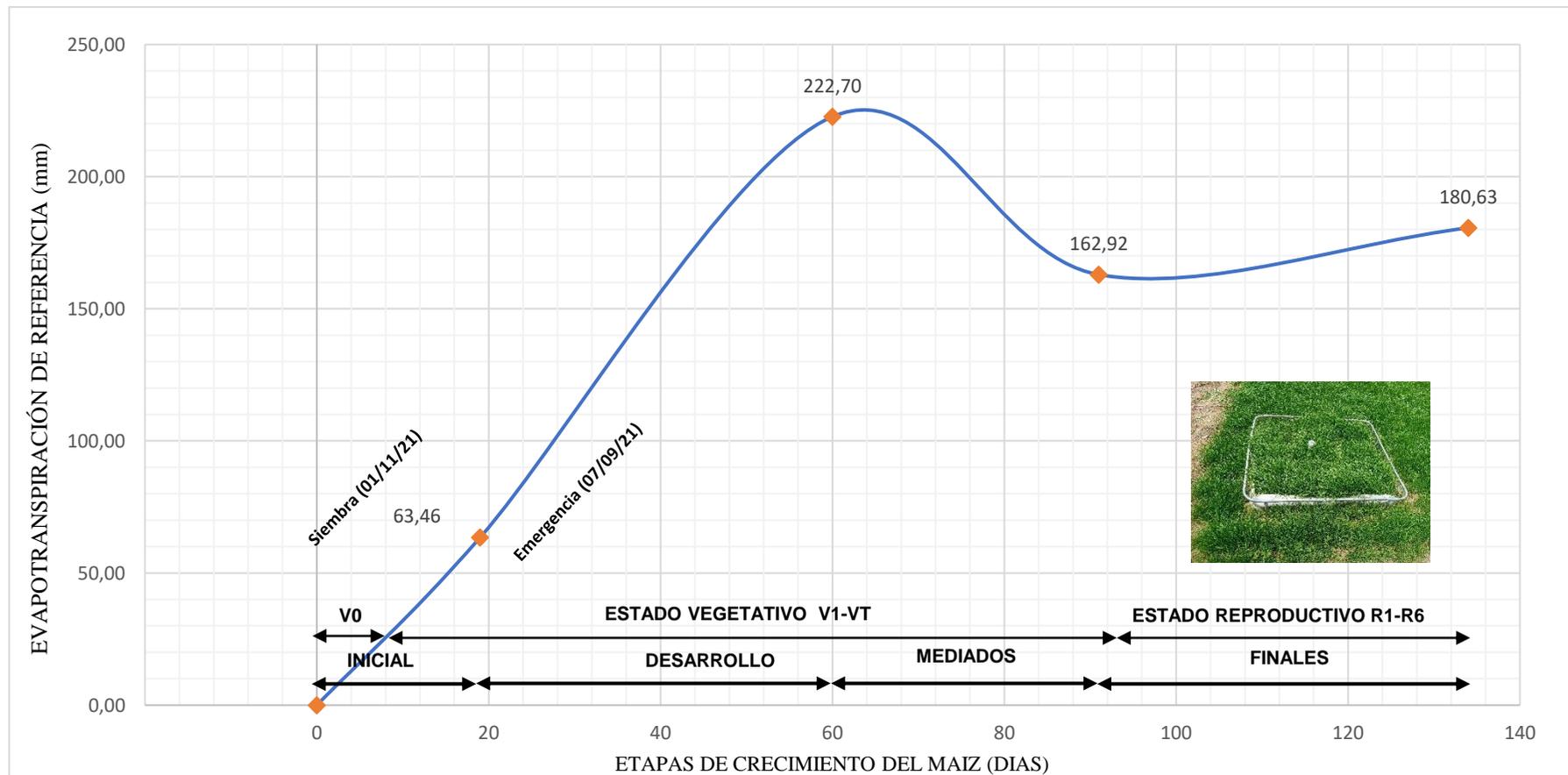
*Registro del de la Evapotranspiración del cultivo de referencia según las etapas de crecimiento del maíz morado*

| <b>Etapas de crecimiento</b> | <b>Fecha</b> | <b>Días</b> | <b>L4-ET<sub>o</sub> promedio (mm)</b> |
|------------------------------|--------------|-------------|--|
| <b>Inicial</b>               | 01/11/2021   | 19          | 63.46                                  |
|                              | 19/11/2021   |             |  |
| <b>Desarrollo</b>            | 20/11/2021   | 60          | 222.70                                 |
|                              | 31/12/2021   |             |  |
| <b>Mediados</b>              | 01/01/2022   | 31          | 162.92                                 |
|                              | 31/01/2022   |             |  |
| <b>Final</b>                 | 01/02/2022   | 43          | 180.63                                 |
|                              | 15/03/2022   |             |  |

*Nota.* Se presenta en este cuadro las etapas de crecimiento para el maíz morado respecto a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), durante todo el estado desarrollo vegetativo haciendo un total de 134 días.

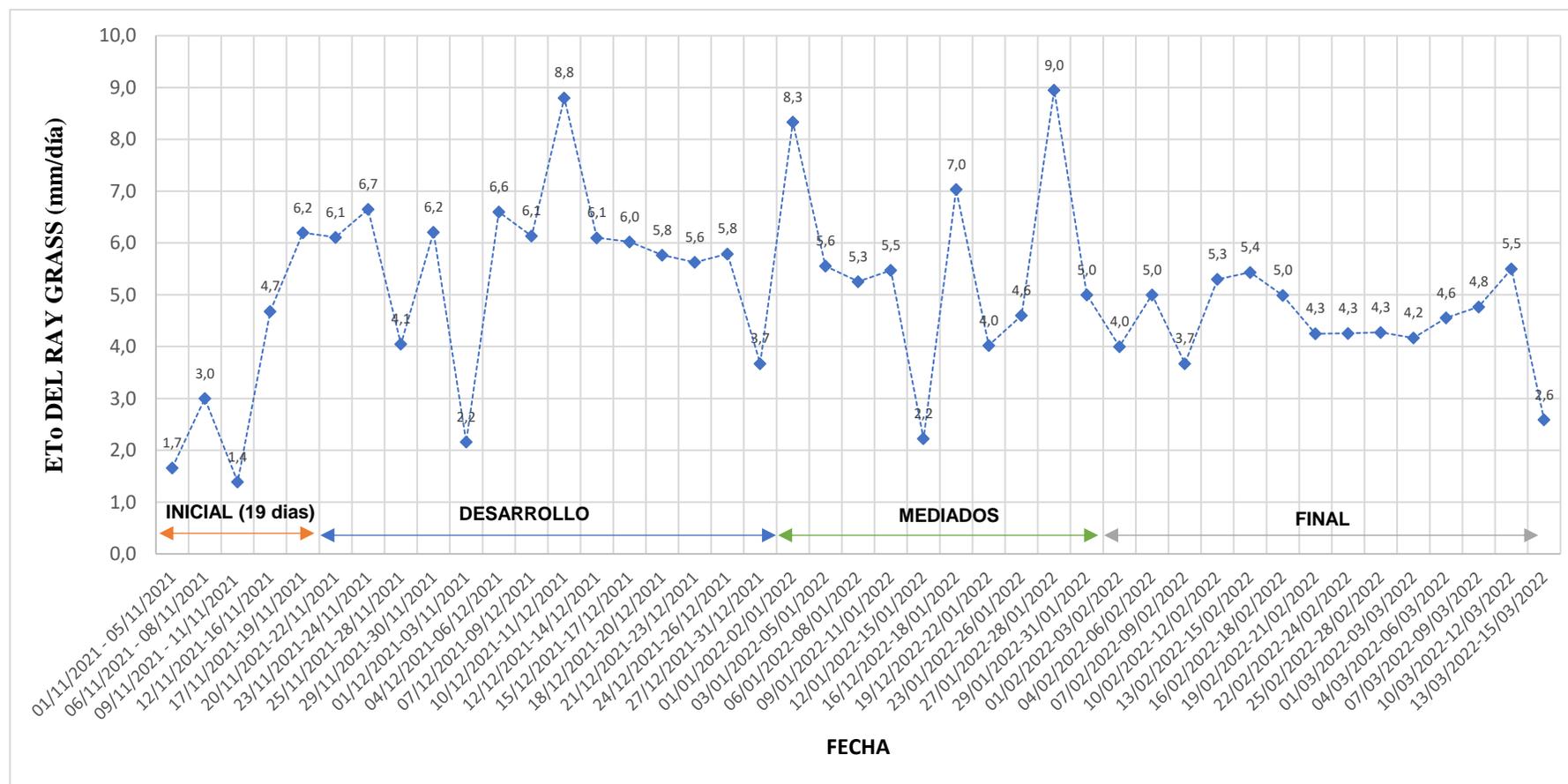
**Figura 8**

*Evapotranspiración de referencia (ray grass) durante las etapas de crecimiento del maíz morado*



**Figura 9**

*Fluctuación de la evapotranspiración de Referencia para las etapas de crecimiento del Maíz morado (mm/día).*



- Evapotranspiración de referencia mediante fórmulas empíricas

Se emplearon 07 métodos empíricos para estimar la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), por cada método durante los meses que duro el período vegetativo del cultivo del maíz morado, se optó por calcular la ET<sub>o</sub> para cada mes en mm/mes; donde se emplearon información meteorológica.

- Período de 10 Años (2012 – 2021)

Los resultandos promedios de Evapotranspiración de referencia son las siguientes: la ecuación de Turc con 6.68 mm/día, Thornthwaite con 9.38 mm/día, Hargreaves radiación con 10.47 mm/día, Hargreaves Temperatura con 5.71 mm/día. Radiación con 5.99 mm/día y Jensen – Haise con 8.59 mm/día y Blaney – Criddle con 7.11 mm/día. Para los meses de noviembre a marzo del 2021 al 2022 Turc 6.58 mm/día, Thornthwaite 11.67 mm/día, Hargreaves radiación 11.39 mm/día, Hargreaves Temperatura 5.69 mm/día, Radiación 6.61 mm/día y Jensen – Haise 9.91 mm/día y Blaney – Criddle con 7.93 mm/día. Siendo el método Hargreaves Temperatura con 5.69 mm/día de evapotranspiración.

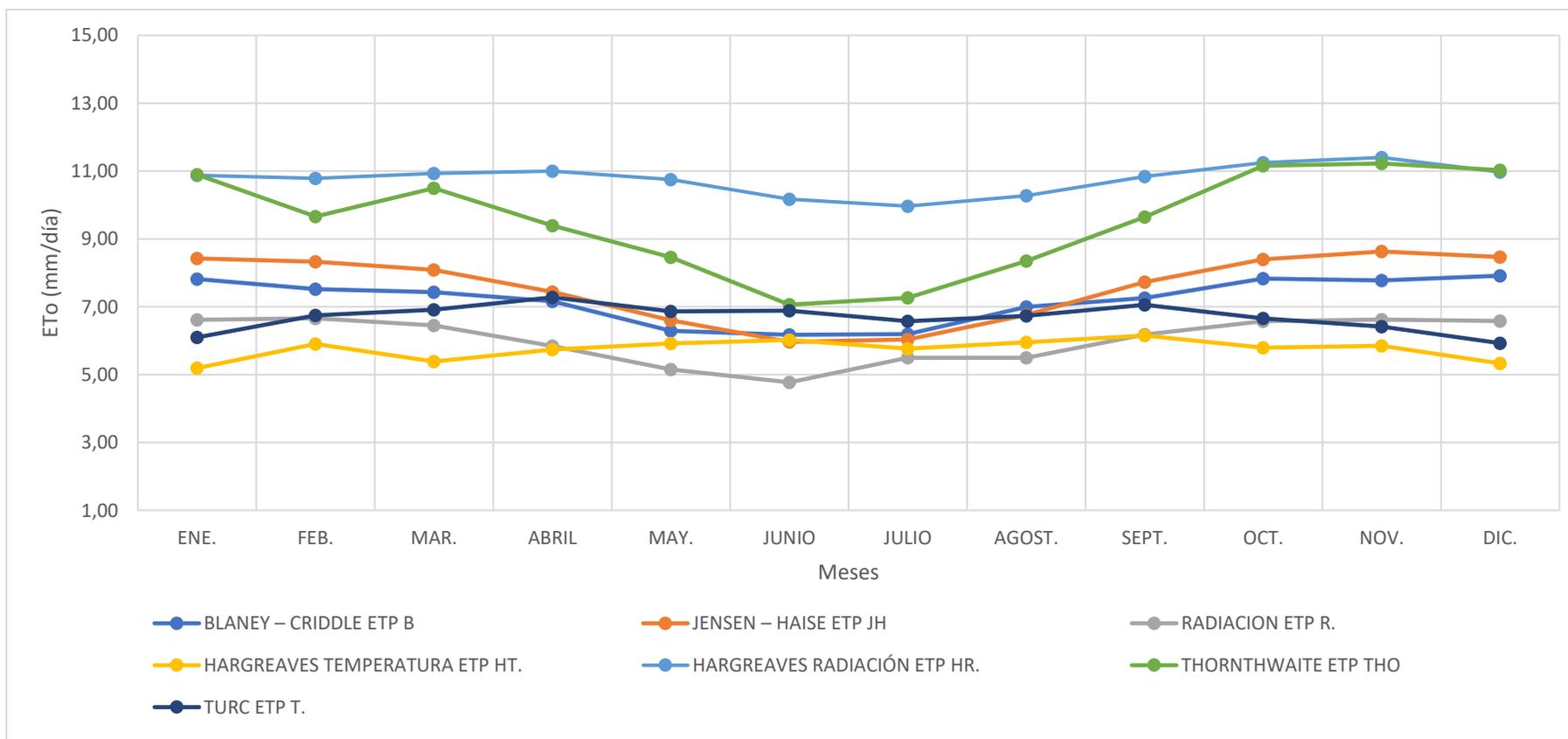
**Tabla 8**

*Resultado de la evapotranspiración de referencia para el periodo de 2012-2021*

| <b>FÓRMULAS</b>   | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SEPT</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> | <b>PROM</b> |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>BLANEY –<br/>CRIDDLE ETo B</b>   | 7.87       | 7.64       | 7.39       | 7.05       | 6.1        | 5.98       | 5.87       | 6.78       | 7.11        | 7.81       | 7.77       | 7.96       | 7.11        |
| <b>JENSEN – HAISE<br/>ETo JH</b>  | 9.77       | 9.76       | 9.23       | 8.38       | 7.32       | 6.62       | 6.54       | 7.50       | 8.66        | 9.60       | 9.87       | 9.79       | 8.59        |
| <b>RADIACIÓN ETo R.<br/>HARGREAVES<br/>TEMPERATURA<br/>ETo HT.<br/>HARGREAVES<br/>RADIACIÓN ETo<br/>HR.</b> | 6.62       | 6.66       | 6.45       | 5.84       | 5.16       | 4.77       | 5.50       | 5.50       | 6.18        | 6.57       | 6.62       | 6.58       | 5.99        |
| <b>THORNTHWAITE<br/>ETo THO</b>   | 11.05      | 11.16      | 10.81      | 10.65      | 10.07      | 9.47       | 8.86       | 9.58       | 10.36       | 11.20      | 11.39      | 11.10      | 10.47       |
| <b>TURC ETo T.</b>  | 11.31      | 10.30      | 10.49      | 9.10       | 7.81       | 6.49       | 6.23       | 7.67       | 9.18        | 11.24      | 11.35      | 11.38      | 9.38        |
|   | 6.10       | 6.74       | 6.92       | 7.28       | 6.87       | 6.88       | 6.57       | 6.73       | 7.06        | 6.66       | 6.42       | 5.93       | 6.68        |

**Figura 10**

*Resultado de la evapotranspiración de referencia empleando fórmulas (mm/día) para un período de diez años (2012– 2021)*



*Nota.* Elaboración propia.



- Evapotranspiración de referencia mediante el lisímetro y fórmulas empíricas
  - a. Período de Estudio (noviembre 2021 a marzo 2022).

Se llegó a estimar la evapotranspiración de referencia a través de las fórmulas empíricas resultando ser el de mayor valor para la ecuación de Hargreaves Radiación con 11.13 mm/día, Thornthwaite con 11.03 mm/día, Jensen – Haise con 9.70 mm/día, Blaney – Criddle con 7.74 mm/día, Turc con 6.43 mm/día, Radiación con 5.59 mm/día, Hargreaves Temperatura con 5.60 mm/día y Lisímetro 4.68 mm/día.

**Tabla 9**

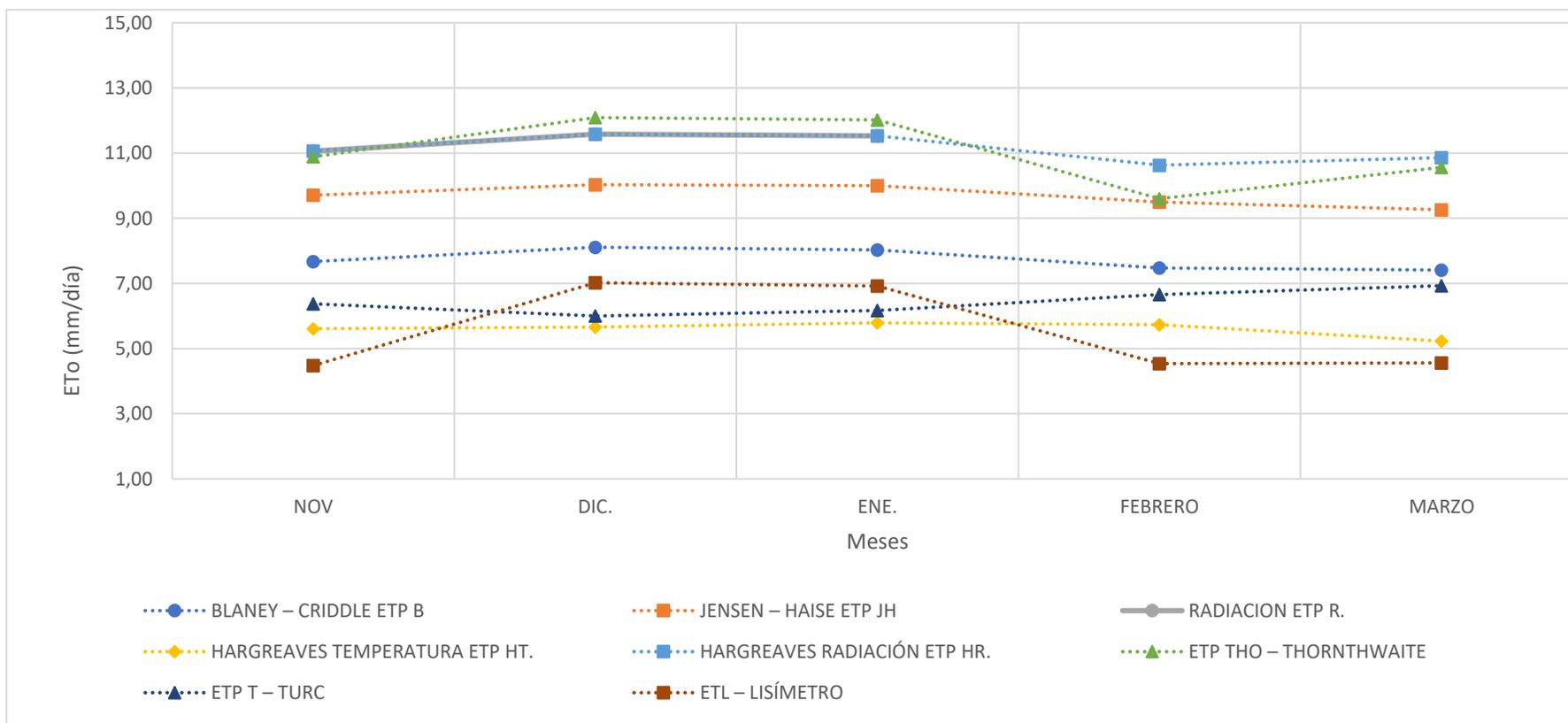
*Evapotranspiración estimada a través de fórmulas empíricas y lisímetro (noviembre 2021 – marzo 2022)*

| FÓRMULAS                               | NOV         | DIC.        | ENE.        | FEB.        | MAR.        | Prom.       |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>ETo L– Lisímetro</b>                | <b>3.97</b> | <b>5.43</b> | <b>5.26</b> | <b>4.20</b> | <b>4.56</b> | <b>4.68</b> |
| <b>ETo HT – Hargreaves Temperatura</b> | 5.61        | 5.66        | 5.79        | 5.73        | 5.23        | 5.60        |
| <b>ETo HR – Hargreaves radiación</b>   | 11.06       | 11.58       | 11.53       | 10.63       | 10.86       | 11.13       |
| <b>ETo R –Radiación</b>                | 6.62        | 6.59        | 6.61        | 6.66        | 6.45        | 6.59        |
| <b>ETo T – Turc</b>                    | 6.37        | 6.00        | 6.17        | 6.66        | 6.93        | 6.43        |
| <b>ETo B – Blaney - criddle</b>        | 7.67        | 8.11        | 8.03        | 7.47        | 7.41        | 7.74        |
| <b>ETo – Jensen - Haise</b>            | 9.71        | 10.03       | 10.00       | 9.50        | 9.26        | 9.70        |
| <b>ETo THO – Thornthwaite</b>          | 10.89       | 12.09       | 12.02       | 9.60        | 10.56       | 11.03       |

*Nota.* En la tabla se registra los resultados obtenidos del procesamiento de las fórmulas empíricas y el método directo; donde el método de Hargreaves Temperatura y Turc se asemejan al método directo del lisímetro durante los meses de noviembre del 2021 hasta marzo del 2022.

**Figura 11**

*Evapotranspiración de referencia mediante fórmulas empíricas y método del lisímetro para el periodo 2021-2022*



Nota. Elaboración propia.

**Tabla 10**

*Datos meteorológicos para el período en estudio (noviembre 2021 – marzo 2022)*

| <b>DATOS</b>  | <b>NOV.</b> | <b>DIC.</b> | <b>ENE.</b> | <b>FEB.</b> | <b>MAR.</b> |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Humedad relativa media</b>                       |             |             |             |             |             |
| <b>Mensual (%)</b>                                  | 68.12       | 66.40       | 64.79       | 70.16       | 70.00       |
| <b>Total, horas de sol (horas y Decimas de sol)</b> | 298.8       | 305.35      | 306.90      | 279.72      | 293.1       |
| <b>Horas de insolación (Hrs./día) (n)</b>           | 9.96        | 9.85        | 9.90        | 9.99        | 9.77        |
| <b>Duración horas insolación (n)</b>                | 12.39       | 12.51       | 12.46       | 12.29       | 12.05       |
| <b>N/N</b>  | 0.80        | 0.79        | 0.80        | 0.81        | 0.81        |
| <b>Precipitación total mensual (mm)</b>             | 53.72       | 94.38       | 49.01       | 59.10       | 87.71       |
| <b>Temp. Media mensual (°c)</b>                     | 21.09       | 21.72       | 21.66       | 20.54       | 20.84       |
| <b>Temperatura (°f)</b>                             | 69.96       | 71.10       | 70.99       | 68.97       | 69.51       |
| <b>Mf</b>   | 2.47        | 2.58        | 2.57        | 2.27        | 2.36        |
| <b>Ch</b>   | 0.996       | 0.954       | 0.932       | 0.919       | 0.924       |
| <b>Ce</b>   | 1.03838     | 1.03838     | 1.03838     | 1.03838     | 1.03838     |
| <b>Radiación extraterrestre Ra (mm/día)</b>         | 15.90       | 15.95       | 16.00       | 15.95       | 15.45       |
| <b>Radiación solar Rs (mm/día)</b>                  | 4.69        | 4.23        | 4.28        | 3.98        | 4.12        |
| <b>Velocidad de viento (m/s)</b>                    | 4.60        | 4.60        | 4.30        | 4.30        | 3.90        |

*Nota.* En la tabla se registra los principales datos meteorológicas usadas para estimar la evapotranspiración de referencial (ET<sub>o</sub>) mediante fórmulas empíricas propuestas en este trabajo de investigación. Los datos provienen de la estación Meteorológica de Cayhuayna y material bibliográfico donde las principales instituciones dedicada al campo de la meteorología plasman sus investigaciones para ser utilizadas.

- b. Cálculos del error relativo y error absolutos de la evapotranspiración de referencia

Estadísticamente se realizó los cálculos de la prueba del error absoluto y relativo para las diferentes fórmulas empíricas en comparación con el método directo del lisímetro, se observa que las ecuaciones de Hargreaves Radiación, Jensen Haise y Thornthwaite presentan en promedio valores más altos de error relativo con 140.51, 109.76 y 137.16 % respectivamente, mientras que Blaney y Radiación presentan en promedio los valores más bajos del grupo con 67.10 y 42.79 % respectivamente, dejando a Hargreaves con Temperatura y Turc con valores bajos 21.39 y 38.56 % respectivamente para el error relativo.

Las desviaciones estándar miden la variabilidad de los datos de una población o muestra, se observa también que las ecuaciones de Hargreaves con Radiación, Jensen - Haise y Thornthwaite tienen las desviaciones estándar más altas de 26.49, 25.66 y 21.08; las ecuaciones de Blaney Criddle y Radiación tiene las desviaciones medias con 18.32 y 19.88 y dejamos al grupo de la ecuación de Hargreaves Temperatura y Turc, con las desviaciones intermedias de 16.49 y 14.23 respectivamente.

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media de su grupo internamente. Cuanto mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. Para nuestro caso diremos que las ecuaciones Hargreaves con Temperatura es la que presentan menor error relativo en promedio y en comparación con todo el grupo de las siete ecuaciones, así mismo la ecuación de Hargreaves Temperatura presenta menor variabilidad.

Observamos que las ecuaciones de Hargreaves Radiación, Jensen Haise y Thornthwaite tiende a diferir en comparación de las demás ecuaciones que sobrestiman ligeramente. Por lo tanto, las ecuaciones estadísticamente que mejor se ajustan a la evapotranspiración de referencia obtenidos por el método del lisímetro para la zona; son las ecuaciones de Hargreaves con Temperatura (16.49%) ya que son las que más y mejor se ajustan a la curva de la evapotranspiración de referencia obtenida experimentalmente y son las que menor error relativo presentan.

**Tabla 11**

*Error absoluto de la evapotranspiración de referencia del lisímetro respecto a las fórmulas empíricas A*

| MESES           | ETo (mm/día) |               |                |                  |                |                  |                |              |
|-----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|--------------|
|                 | (rye grass)  | Blaney mm/día | Error absoluto | Radiación mm/día | Error absoluto | Hargr. Radiación | Error absoluto | Hargr. Temp. |
| NOVIEMBRE       | 3.97         | 7.67          | 3.7            | 6.62             | 2.7            | 11.06            | 7.1            | 5.61         |
| DICIEMBRE       | 5.43         | 8.11          | 2.7            | 6.58             | 1.2            | 11.58            | 6.2            | 5.66         |
| ENERO           | 5.26         | 8.03          | 2.8            | 6.62             | 1.4            | 11.53            | 6.3            | 5.79         |
| FEBRERO         | 4.2          | 7.47          | 3.3            | 6.66             | 2.5            | 10.63            | 6.4            | 5.73         |
| MARZO           | 4.56         | 7.41          | 2.8            | 6.45             | 1.9            | 10.86            | 6.3            | 5.23         |
| <b>Promedio</b> | <b>4.89</b>  | <b>7.93</b>   | <b>3.05</b>    | <b>6.61</b>      | <b>1.90</b>    | <b>11.39</b>     | <b>6.45</b>    | <b>5.69</b>  |

**Tabla 12**

*Error absoluto de la evapotranspiración de referencia del lisímetro respecto a las fórmulas empíricas B.*

| MESES           | ETo (mm/día) |                |             |                |              |                |                     |                |
|-----------------|--------------|----------------|-------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|----------------|
|                 | (rye grass)  | Error absoluto | Turc mm/día | Error absoluto | Jensen Haise | Error absoluto | Thornthwaite mm/día | Error absoluto |
| NOVIEMBRE       | 3.97         | 4.0            | 6.17        | 6.2            | 9.71         | 9.7            | 10.89               | 10.9           |
| DICIEMBRE       | 5.43         | 5.4            | 6.65        | 6.7            | 10.03        | 10.0           | 12.09               | 12.1           |
| ENERO           | 5.26         | 5.3            | 6.93        | 6.9            | 10.00        | 10.0           | 12.02               | 12.0           |
| FEBRERO         | 4.2          | 4.2            | 6.37        | 6.4            | 9.58         | 9.6            | 9.6                 | 9.6            |
| MARZO           | 4.56         | 4.6            | 6.00        | 6.0            | 9.18         | 9.2            | 10.562893           | 10.6           |
| <b>Promedio</b> | <b>4.89</b>  | <b>4.68</b>    | <b>6.58</b> | <b>6.42</b>    | <b>9.91</b>  | <b>9.70</b>    | <b>11.67</b>        | <b>11.03</b>   |

**Tabla 13**

*Error relativo de la evapotranspiración de referencia del lisímetro respecto a las fórmulas empíricas.*

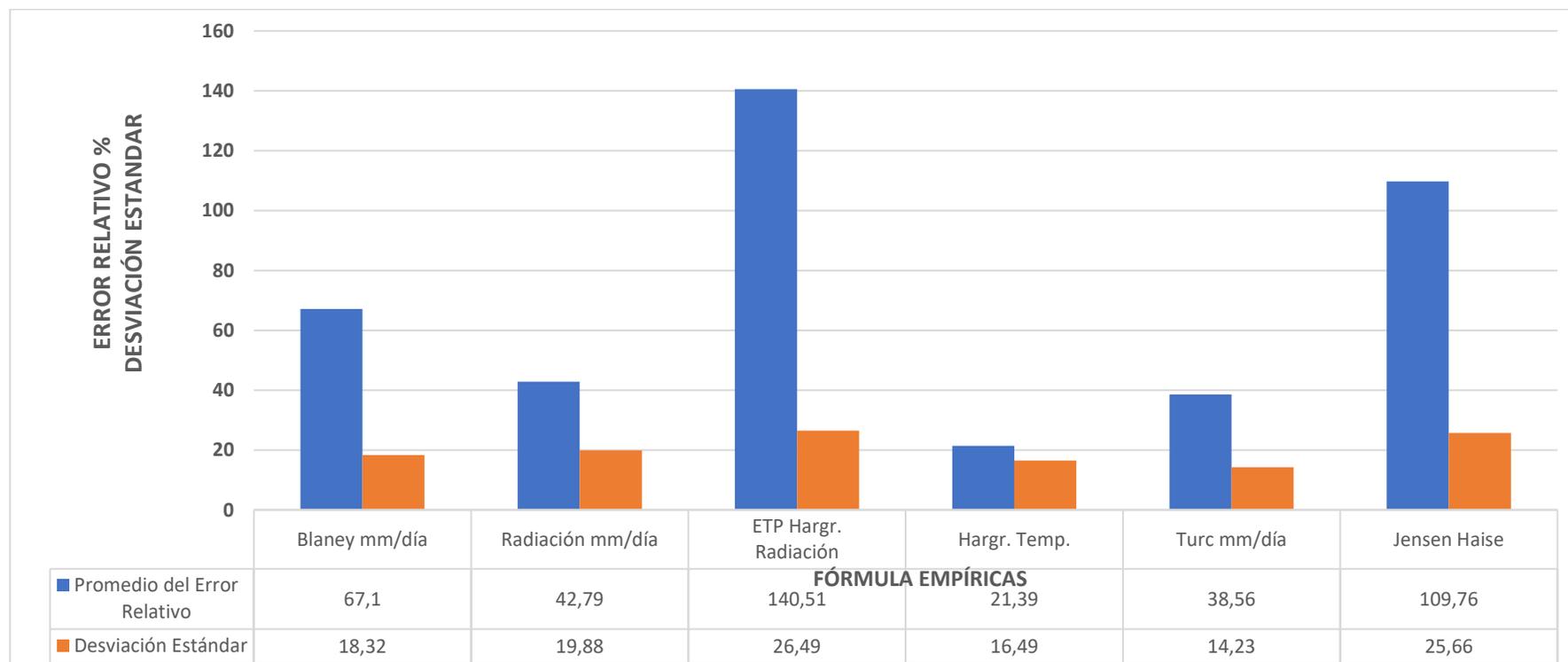
| MESES                          | ET <sub>o</sub><br>(rye<br>grass)<br>mm/día | ET <sub>o</sub><br>Blaney<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Radiación<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Hargr.<br>Radiación<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Hargr.<br>Temp.<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Turc<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Jensen<br>Haise<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% | ET <sub>o</sub><br>Thornthwaite<br>mm/día | ERROR<br>RELATIVO<br>% |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|--|------------------------|--|------------------------|--|------------------------|-----------------------------------|------------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| <b>NOVIEMBRE</b>               | 3.97  | 7.67                                | 93.2                   | 6.62                                   | 66.8                   | 11.06  | 178.7                  | 5.61   | 41.3                   | 6.17                              | 55.5                   | 9.71   | 144.6                  | 10.89                                     | 174.4                  |
| <b>DICIEMBRE</b>               | 5.43  | 8.11                                | 49.3                   | 6.58                                   | 21.3                   | 11.58  | 113.3                  | 5.66   | 4.3                    | 6.65                              | 22.5                   | 10.03  | 84.7                   | 12.09                                     | 122.7                  |
| <b>ENERO</b>                   | 5.26  | 8.03                                | 52.6                   | 6.62                                   | 25.8                   | 11.53  | 119.3                  | 5.79   | 10.1                   | 6.93                              | 31.7                   | 10.00  | 90.2                   | 12.02                                     | 128.5                  |
| <b>FEBRERO</b>                 | 4.20  | 7.47                                | 77.9                   | 6.66                                   | 58.6                   | 10.63  | 153.0                  | 5.73   | 36.5                   | 6.37                              | 51.6                   | 9.58   | 128.0                  | 9.6                                       | 128.6                  |
| <b>MARZO</b>                   | 4.56  | 7.41                                | 62.5                   | 6.45                                   | 41.5                   | 10.86  | 138.3                  | 5.23   | 14.8                   | 6.00                              | 31.5                   | 9.18   | 101.3                  | 10.56                                     | 131.6                  |
| <b>Promedio</b>                | 4.89  | 7.93                                | 67.10                  | 6.61                                   | 42.79                  | 11.39  | 140.51                 | 5.69   | 21.39                  | 6.58                              | 38.56                  | 9.91   | 109.76                 | 11.67                                     | 137.16                 |
| <b>Desviación<br/>Estándar</b> | 1.34  |                                     | 18.32                  |  | 19.88                  |  | 26.49                  |  | 16.49                  |                                   | 14.23                  |  | 25.66                  |   | 21.08                  |

*Nota.* En la tabla se representa los valores estadísticos de la desviación estándar de los principales métodos indirectos y directo



**Figura 12**

*Distribución de la de la desviación estándar de la evapotranspiración de referencia estimada por diferentes métodos*



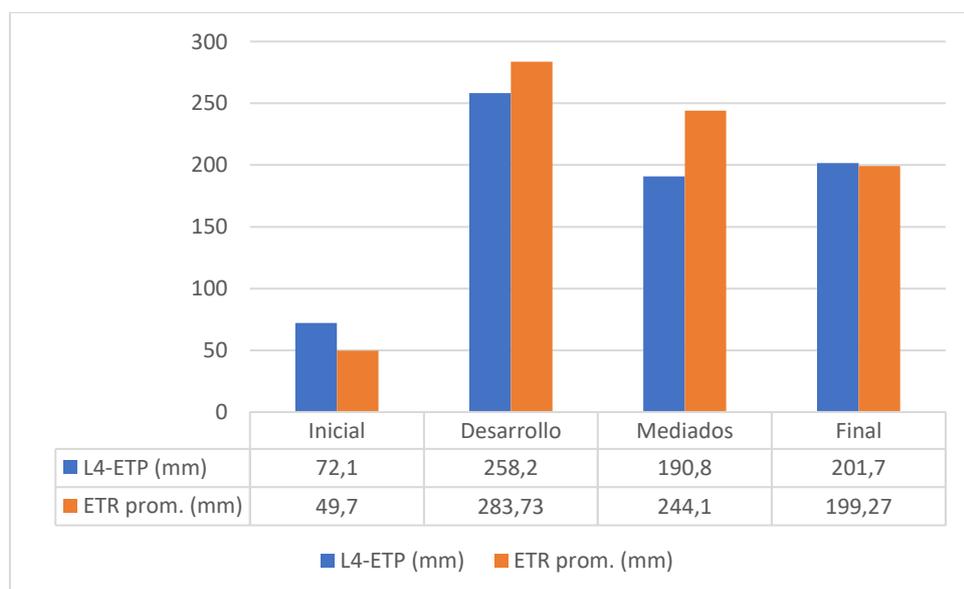
*Nota.* La grafica representa el promedio alcanzado de cada método empleado para estimar la evapotranspiración referencia junto a la desviación estándar.

#### 4.1.3 Coeficiente de cultivo (Kc) del maíz morado

El coeficiente de cultivo (Kc) del maíz morado se estimó por la relación que existe entre  $ET_c/ET_o$ , siendo estas según las etapas de crecimiento: inicial de 0.69, en el desarrollo es 1.10, mediados es 1.28 y final de 0.99 y el periodo en días para cada etapa fue: Inicial de 19 días; desarrollo 41 días, mediados 31 días y Final 43 días haciendo un total de 134 días del periodo de crecimiento (**Ver Tabla 14** Registro del coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc) por cada etapa de crecimiento)

**Figura 13**

*Evapotranspiración del cultivo de maíz morado vs evapotranspiración de referencia durante las etapas de crecimiento*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo de maíz morado y cultivo de referencia en las etapas de crecimiento.

**Tabla 14**

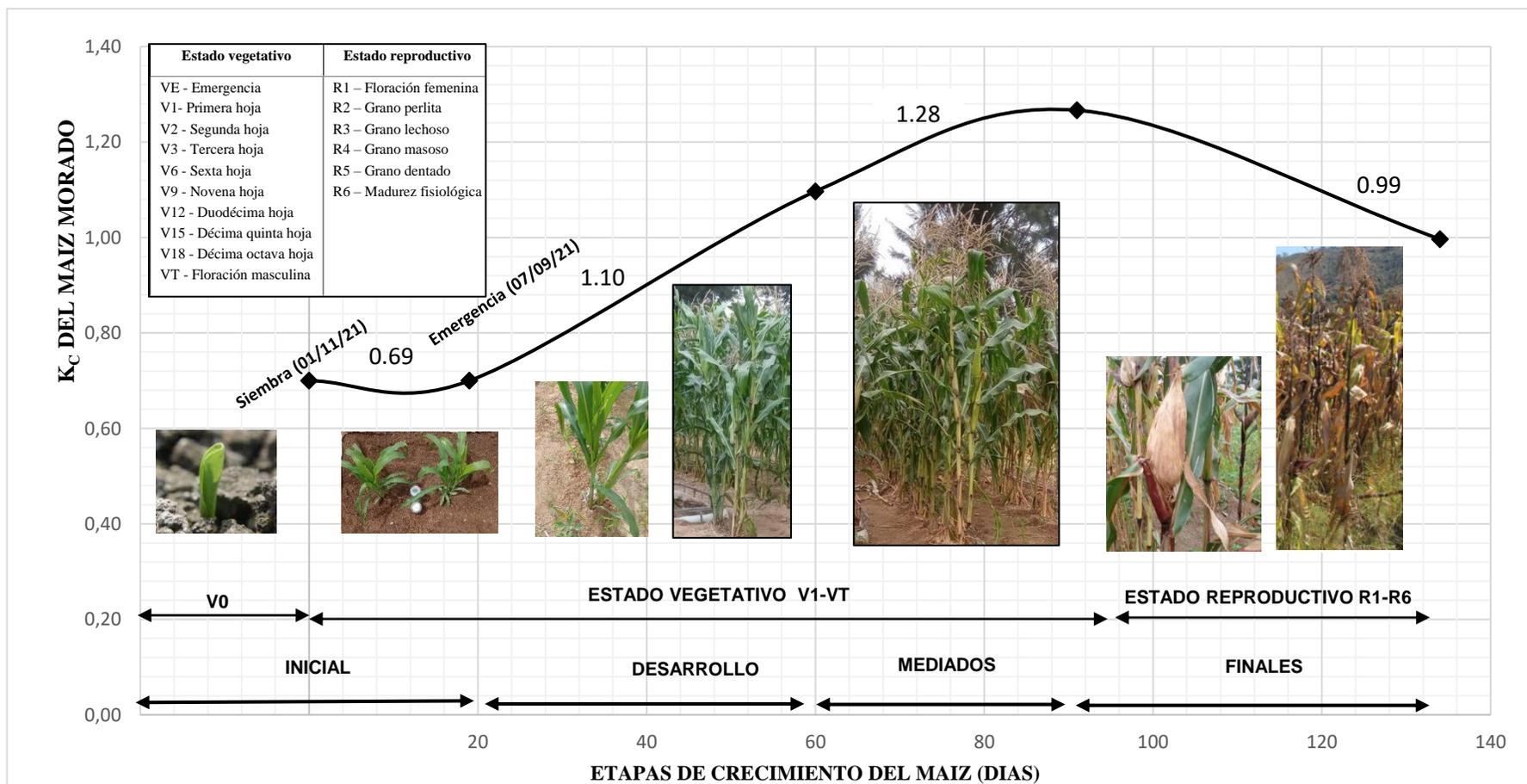
*Registro del coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc) por cada etapa de crecimiento*

| <b>Etapas de crecimiento</b> | <b>Fecha</b> | <b>Días</b> | <b>ETc promedio (mm/día)</b> | <b>ETo promedio (mm/día)</b> | <b>KC promedio</b> |
|------------------------------|--------------|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>Inicial</b>               | 01/11/2021   | 19          | 43.86                        | 63.46                        | 0.69               |
|                              | 19/11/2021   |             |                              |                              |                    |
| <b>Desarrollo</b>            | 20/11/2021   | 60          | 247.41                       | 222.70                       | 1.10               |
|                              | 31/12/2021   |             |                              |                              |                    |
| <b>Mediados</b>              | 01/01/2022   | 31          | 210.71                       | 162.92                       | 1.28               |
|                              | 31/01/2022   |             |                              |                              |                    |
| <b>Final</b>                 | 01/02/2022   | 43          | 178.47                       | 180.63                       | 0.99               |
|                              | 15/03/2022   |             |                              |                              |                    |

*Nota.* Se presenta en este cuadro las etapas de crecimiento para el maíz morado durante todo el estado desarrollo vegetativo haciendo un total de 134 días. Donde la etapa de crecimiento inicial alcanza el kc de 0.69, desarrollo 1.10, mediados 1.28 y final 0.99.

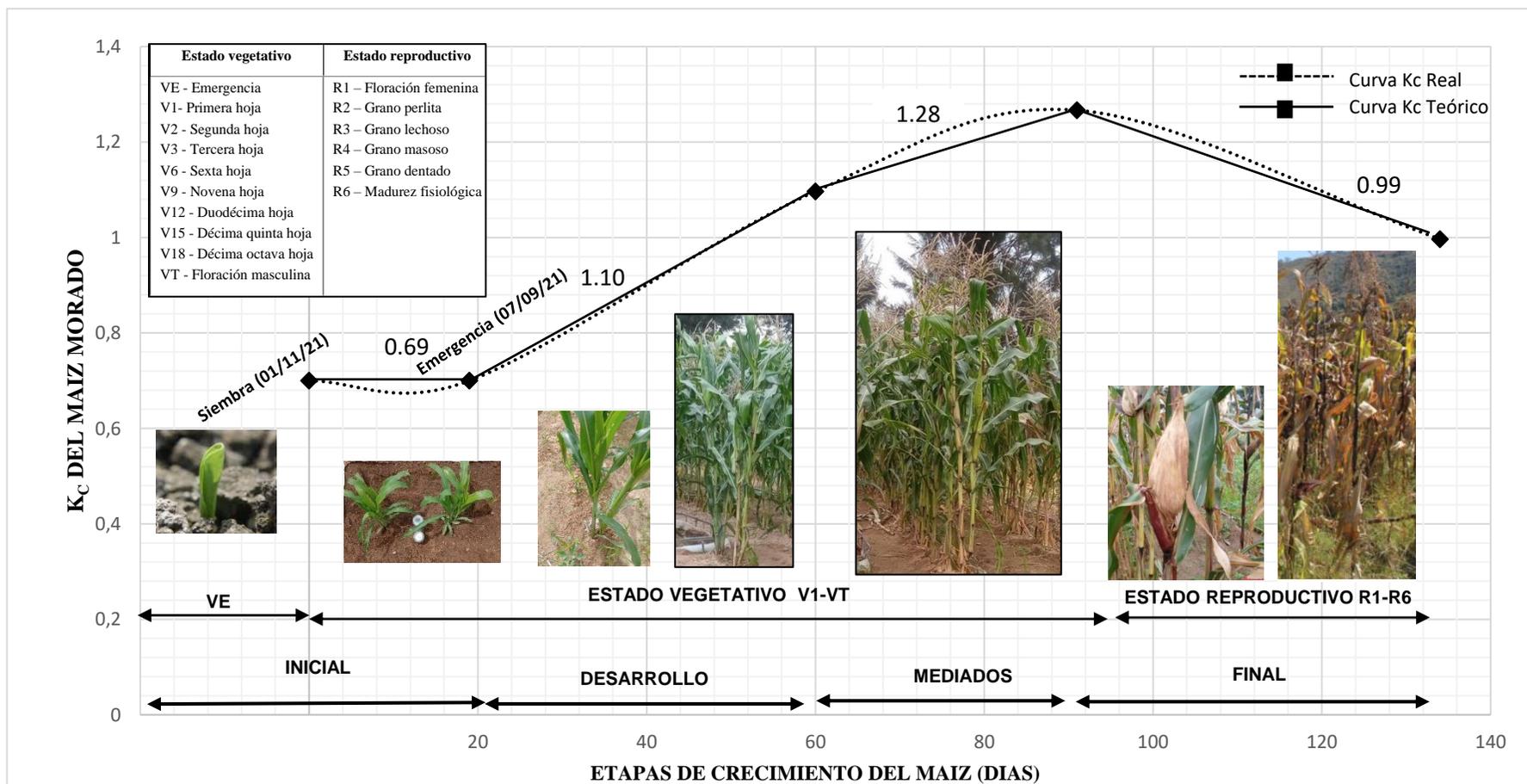
**Figura 14**

*Curva del coeficiente de cultivo del maíz morado*



**Figura 15**

*Curva del coeficiente de cultivo del maíz morado bajo las condiciones edafoclimáticas de Cayhuayna*



## 4.2 Prueba de hipótesis

4.2.1 Usar los lisímetros volumétricos artesanales será un método adecuado para estimar la evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.

La hipótesis planteada se confirma al utilizar los lisímetros volumétricos artesanales como método adecuado para estimar la evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc) en la localidad de Cayhuayna, Huánuco. Estos lisímetros han permitido registrar la evapotranspiración del cultivo en las cuatro etapas de crecimiento propuestas por la FAO.

4.2.2 Usar los lisímetros volumétricos artesanales y las fórmulas empíricas serán métodos adecuados para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo), en la localidad de Cayhuayna – Huánuco.

Se acepta la hipótesis de que el uso de los lisímetros volumétricos artesanales y las fórmulas empíricas es un método adecuado para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) en la misma localidad. A través de estos lisímetros, se logró estimar la evapotranspiración de referencia durante las cuatro etapas de crecimiento del cultivo de maíz morado.

4.2.3 Usar los lisímetros volumétricos artesanales será un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc), en las diferentes etapas de crecimiento.

Se confirma la hipótesis de que los lisímetros volumétricos artesanales son un método adecuado para estimar el coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc) en las diferentes etapas de crecimiento. Estos lisímetros, contruidos exitosamente

utilizando contenedores, han permitido registrar los valores necesarios para determinar el coeficiente de cultivo del maíz morado, considerando las condiciones edafoclimáticas específicas de Cayhuayna.

### 4.3 Discusión

#### 4.3.1 Evapotranspiración del cultivo de maíz morado

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo de maíz morado en las diferentes etapas de crecimiento fueron los siguientes: en la etapa inicial se registró un valor de 43.86 mm; en la fase de desarrollo se obtuvo 247.4 mm; en la etapa intermedia se alcanzó 210.71 mm y, finalmente, en la etapa final se observó un valor de 178.47 mm. Estos resultados difieren de los obtenidos en los estudios realizados por Yanangómez (2018) y Oñate (2016). El primero obtuvo 40.5 mm en la fase inicial, 81.6 mm en la fase de desarrollo, 122.4 mm en la fase intermedia y 118.8 mm en la fase final. Es probable que estas diferencias se deban a las características de las zonas húmedas donde se llevó a cabo la investigación. Por otro lado, Oñate realizó su estudio en la localidad de Cevallos, Ecuador, utilizando maíz amiláceo de variedad blanca harinosa criollo. En su investigación, se encontraron valores de 35.94 mm en la etapa inicial, 169.34 mm en la etapa de desarrollo, 114.41 mm en la etapa intermedia y 198.28 mm en la etapa final, con un total de 431.65 mm durante todo el ciclo de crecimiento. Estas diferencias se deben a las características fisiológicas del cultivo de maíz amiláceo y a las condiciones específicas de la localidad de estudio en Ecuador.

#### 4.3.2 Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), medida mediante el método del lisímetro durante las etapas de crecimiento, fue la siguiente: en la etapa inicial se registraron 63.46 mm, en la etapa de desarrollo 222.70 mm, en la etapa intermedia 162.92 mm y en la etapa final 180.63 mm. Además, se observaron promedios diarios de 3.97 mm/día en noviembre, 5.43 mm/día en diciembre, 5.26 mm/día en

enero, 4.20 mm/día en febrero y 4.56 mm/día en marzo. Al comparar estos resultados con los de Tarazona Santos (2017), quien utilizó el método de Turc para estimar la evapotranspiración de referencia en el mismo periodo de tiempo, se obtuvieron los siguientes valores: noviembre 196.50 mm, diciembre 192.82 mm, enero 199.95 mm, febrero 189.56 mm y marzo 185.69 mm. En cuanto a la ETo (mm/día) promedio diario, se obtuvo 4.48 mm/día en noviembre, 6.32 mm/día en diciembre, 6.15 mm/día en enero, 4.54 mm/día en febrero y 4.56 mm/día en marzo. Al comparar estos valores con los de Tarazona Santos (2017), quien reportó 3.7 mm/día en mayo, 4.9 mm/día en junio, 6.9 mm/día en julio, 6.1 mm/día en agosto, 5.9 mm/día en setiembre, 5.9 mm/día en octubre y 8.9 mm/día en noviembre, se observan diferencias debido a que se llevaron a cabo en diferentes ubicaciones: la primera en Huánuco y la segunda en la ciudad de Huaraz, las cuales presentan diferentes condiciones climáticas.

Durante un periodo de 10 años, se calcularon diversos valores para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) utilizando 10 fórmulas empíricas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la fórmula de Turc arrojó un valor de 6.68 mm/día, Thornthwaite obtuvo 9.38 mm/día, Hargreaves radiación registró 10.47 mm/día, Hargreaves Temperatura alcanzó 5.71 mm/día, Radiación dio como resultado 5.99 mm/día, Jensen-Haise obtuvo 8.59 mm/día y Blaney-Criddle arrojó 7.11 mm/día. Estas estimaciones se basaron en datos meteorológicos.

Al comparar estos valores con las fórmulas empíricas utilizadas por Tarazona Santos (2017), se encontraron las siguientes diferencias: para la ecuación de Turc se obtuvo 5.83 mm/día, para Thornthwaite 5.75 mm/día, Hargreaves radiación 4.78 mm/día, Hargreaves Temperatura 4.77 mm/día, Radiación 4.14

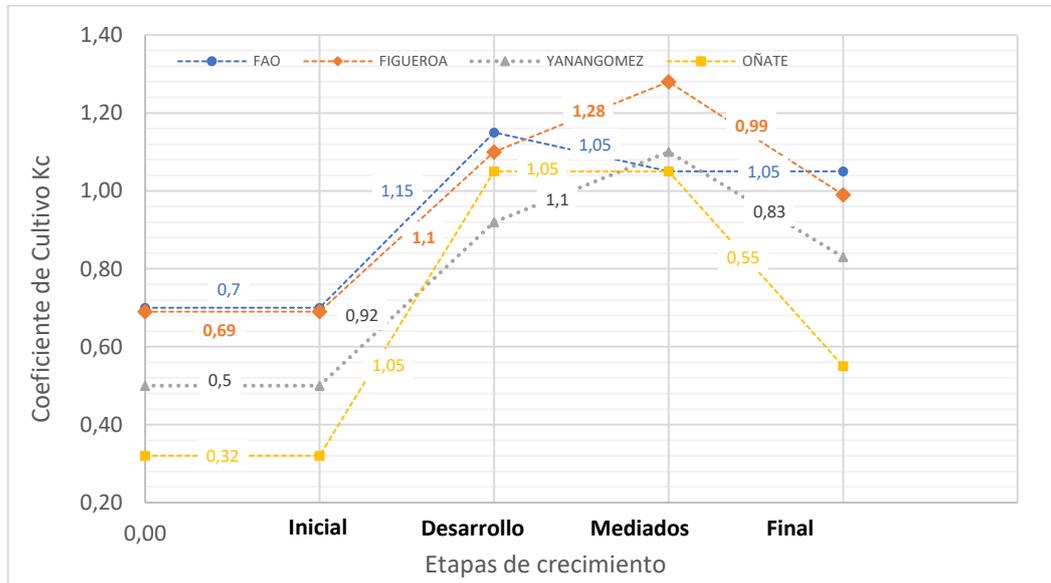
mm/día, Jensen-Haise 3.34 mm/día y Blaney-Criddle 2.13 mm/día. Estas diferencias se deben a que la estación meteorológica se encuentra ubicada en Huaraz, lo que implica condiciones meteorológicas diferentes a las de la ciudad de Huánuco.

#### 4.3.3 Estimar el coeficiente del cultivo de maíz morado

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del maíz morado en las condiciones de Cayhuayna durante las etapas de crecimiento fue el siguiente: inicial 0.69, desarrollo 1.10, intermedia 1.28 y final 0.99. Estos valores difieren de los reportados por Allen et al. (2006), Yanangómez Agila (2018) y Oñate (2016). El primer autor informa un  $K_c$  de 0.70 en la etapa inicial, 1.15 en la etapa de desarrollo, 1.05 en la etapa intermedia y 1.50 en la etapa final. El segundo autor menciona un  $K_c$  de 0.5 en la etapa inicial, 0.92 en la etapa de desarrollo, 1.10 en la etapa intermedia y 0.83 en la etapa final. Por su parte, la tercera autora indica que el  $K_c$  en la etapa de crecimiento es de 0.32 en la etapa inicial, 1.05 en la etapa de desarrollo, 1.05 en la etapa intermedia y 0.55 en la etapa final. Estas diferencias se deben a que las investigaciones se llevaron a cabo en lugares diferentes, con variedades de maíz amiláceo y condiciones edafoclimáticas distintas a las de la localidad de Cayhuayna. El primer estudio de la FAO se realizó para climas áridos, específicamente en la Universidad del Estado de Utah, mientras que los dos últimos se llevaron a cabo en Ecuador.

**Figura 16**

Comparación del coeficiente de cultivo (Kc) de investigaciones en maíz



*Nota.* En el siguiente gráfico se comparan los diferentes resultados de los coeficientes de cultivo en relación a este trabajo de investigación. Se observa que la FAO, Yanangomez, Oñate y el trabajo realizado por Figueroa difieren en la constitución de la curva de coeficiente de cultivo del maíz morado en las diferentes etapas de crecimiento.

## Conclusiones

### 1) Evapotranspiración del cultivo del maíz morado (ETc)

Los resultados obtenidos para las diferentes etapas de crecimiento fueron los siguientes: en la etapa inicial se registró una evapotranspiración de 43.86 mm, en la etapa de desarrollo se obtuvo una evapotranspiración de 247.41 mm, en la etapa intermedia se alcanzó una evapotranspiración de 210.71 mm y, finalmente, en la etapa final se observó una evapotranspiración de 178.47 mm.

### 2) Evapotranspiración de referencia (ETo)

- Los resultados obtenidos para la etapa de desarrollo fueron los siguientes: en la etapa inicial se registró una evapotranspiración de 63.46 mm, durante la etapa de desarrollo se obtuvo una evapotranspiración de 222.70 mm, en la etapa intermedia se alcanzó una evapotranspiración de 162.92 mm y, finalmente, en la etapa final se observó una evapotranspiración de 180.63 mm.
- Los resultados obtenidos fueron los siguientes: utilizando el método Turc se obtuvo una ETo de 6.68 mm/día, con la fórmula de Thornthwaite se obtuvo una ETo de 9.38 mm/día, utilizando la fórmula Hargreaves radiación se obtuvo una ETo de 10.47 mm/día, con la fórmula Hargreaves Temperatura se obtuvo una ETo de 5.71 mm/día, utilizando la fórmula de Radiación se obtuvo una ETo de 5.99 mm/día, con la fórmula de Jensen - Haise se obtuvo una ETo de 8.59 mm/día y utilizando la fórmula de Blaney - Criddle se obtuvo una ETo de 7.11 mm/día.

- Para los meses de noviembre a marzo del periodo 2021-2022, se realizaron estimaciones de ETo utilizando las mismas fórmulas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: con el método Turc se obtuvo una ETo de 6.58 mm/día, utilizando la fórmula de Thornthwaite se obtuvo una ETo de 11.67 mm/día, con la fórmula Hargreaves radiación se obtuvo una ETo de 11.39 mm/día, utilizando la fórmula Hargreaves Temperatura se obtuvo una ETo de 5.69 mm/día, con la fórmula de Radiación se obtuvo una ETo de 6.61 mm/día, utilizando la fórmula de Jensen - Haise se obtuvo una ETo de 9.91 mm/día y con la fórmula de Blaney - Criddle se obtuvo una ETo de 7.93 mm/día. Se observa que el método de Hargreaves Temperatura, con una ETo de 5.69 mm/día, presenta el menor error relativo del 16.49% en comparación con el ray grass.

### 3) Coeficiente de cultivo del maíz morado

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: en la etapa inicial, se registró un valor de 0.69; en la etapa de desarrollo, el valor fue de 1.10; en la etapa intermedia, se obtuvo un valor de 1.28; y en la etapa final, se registró un valor de 0.99.

## Recomendaciones

- 1) Realizar investigaciones en diferentes zonas del país para contribuir con nuevos conocimientos sobre el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), evapotranspiración de referencia y evapotranspiración del cultivo, con el fin de mejorar la planificación del riego.
- 2) Realizar estudios comparativos entre el lisímetro de drenaje y el lisímetro de pesada, considerando las mismas condiciones edafoclimáticas.
- 3) Elaborar estudios sobre el riego en cultivos de maíz morado, utilizando el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en las etapas de crecimiento: 0.69 en la etapa inicial, 1.10 en la etapa de desarrollo, 1.28 en la etapa intermedia y 0.99 en la etapa final, en las zonas productoras de maíz morado de la región Huánuco.
- 4) Realizar investigaciones para determinar la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) utilizando fórmulas empíricas propuestas por otros investigadores y compararlas con el método directo.
- 5) Utilizar el método empírico de Hargreaves temperatura y Turc para estimar la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), ya que estadísticamente presentan un menor error relativo en comparación con el método del lisímetro.

## Referencias bibliográficas

- Allen, G. R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (1a ed.)*. Roma, Italia: Fiatpanis.
- Angulo, S., Bautista, A., Manzano, Juan y Pascual-Seva, Nuria. (2015). *Evaluación de modelos agroclimáticos de cálculo de evapotranspiración para jardinería* [Tesis de título profesional, Universidad Politécnica de Valencia]. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/98676>
- Armando. (2021). *El Maíz morado y sus productos derivados en el Perú: un legado nutracéutico para el mundo*. Lima, Perú: Programa Innóvate Perú.
- BIOPAT. (2016). *Maíz morado [versión Adobe Editions]*. Recuperado de <https://indecopi.gob.pe/web/invenciones-y-nuevas-tecnologias/boletin-biopat-peru>
- Bochetti Vladillo, M. (2010). *Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillan* [Tesis de título profesional, Universidad Católica de la Santísima Concepción]. Recuperado de <http://web2.ucsc.cl/~civil/investigacion/memorias/mbochetti.pdf>
- Castañeda, J. (2016). *Caracterización de la evapotranspiración en los cultivos alrededor del observatorio de Huancayo usando la técnica Eddy Covariance*. *Revista de Agricultura y Recursos Naturales*, 30(2), 50-60. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/961>

- Clemente, A., García, C., y Álvarez, J. (2015). *Guía para el cálculo de la evapotranspiración mediante imágenes de satélite*. Valencia, España: CENTA.
- Dicovski Riobóo, L. M. (2005). *Análisis de Regresión Múltiple*. Lima, Perú: Editorial Universidad Nacional de Ingeniería.
- Doorembos, J., y Pruitt, W. (1976). *Necesidades de Agua de los Cultivos*. Roma, Italia: FAO.
- Esmeral Yargas, Y. (2011). *Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7475/820021.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuster, E. (1974). *Botánica*. Buenos Aires: Kapelusz.
- Gamboa, P. A. (1980). *La fertilización del maíz*. Berna, Suiza: Iipp.
- Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto básico de hidrología*. Managua, Nicaragua: Editronic. S.A.
- García, J. (1997). *Medición de la evapotranspiración en lisímetros: manual de técnicas de campo para la investigación aplicada* (1a ed.). Santiago, Chile: INIA.
- Gong, L., Xu, C.-Y., Chen, D., Halldin, S., Chen, Y. D. (2006). Sensitivity of the Penman–Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Revista de Agricultura y Recursos*

- Naturales*, 40(2), 3-12. Recuperado de  
<http://rcg.gvc.gu.se/dc/PUBs/gongetal06.pdf>
- Gostincar, P. (1997). *Fenología y producción de cereales de invierno* (1a ed.).  
Barcelona, España: Idea Booki.
- Guilen Sanchez, L., y et all. (2019). *Maíz morado [versión Adobe Digital Editions]*. Recuperado de  
[http://graderiperu.com/assets/maizmorado\\_es.pdf](http://graderiperu.com/assets/maizmorado_es.pdf)
- Hanway, J. (1966). *How a corn plant develops*. Iowa, Estados Unidos: Iowa State  
University.
- Huerta, G. (2018). Estimación parcial de la evapotranspiración del maíz (*Zea  
mays L.*) mediante el algoritmo SEBAL en el callejón de Huaylas. *Revista  
de Agricultura y Recursos Naturales*, 32(3), 60-70. Recuperado de  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3319>
- Instituto de Investigación Agraria de Chile. (2019). *Como utilizar e interpretar un  
tensiómetro [versión Adobe Digital Editions]*. Recuperado de  
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/04/como-utilizar-e-interpretar-un-tensiometro/>
- Irrrometer Company. (2020). *Fundamentos de la humedad del suelo [versión  
Adobe Digital Editions]*. Recuperado de  
<https://www.irrometer.com/defaultsp.htm>
- Jungenheimer, W. R. (1988). *Varietades Mejoradas, métodos de cultivo y  
producción de semillas*. Ciudad de México, México: Limusa.

- Khan, L., Gil, J., y Acosta, R. (1998). *Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial*. Maturín, Venezuela: Biagro.
- Lazo Perez, C. J. (2006). *Tecnología para el Riego*. Lima, Perú: CONCYTEC.
- Manrique Chávez, A. (1997). *El maíz en el Perú*. Lima, Perú: CONCYTEC.
- Martin, E. C. (2017). *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego*. Arizona, Estados Unidos: Cooperative Extension.
- Montoro, A., y et all. (2012). *Evaluación de métodos de ajuste de la vapotranspiración del maíz en programas de asesoramiento de riegos [versión Adobe Digital Editions]*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/261552235\\_Evaluacion\\_de\\_metodos\\_de\\_ajuste\\_de\\_la\\_evapotranspiracion\\_del\\_maiz\\_Zea\\_mays\\_en\\_programas\\_de\\_asesoramiento\\_de\\_riegos](https://www.researchgate.net/publication/261552235_Evaluacion_de_metodos_de_ajuste_de_la_evapotranspiracion_del_maiz_Zea_mays_en_programas_de_asesoramiento_de_riegos)
- Olalla Mañas, A., García Paredes, J. D., y López Palop, R. (2005). Influencia de los parámetros climatológicos en los procesos de evaporación. *Revista de Climatología Aplicada*, 35(2), 1-10. Recuperado de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/105/1/Tesis%20MAP%20Eliud%20Abdiel%20Garcia%20Solis%20Mar%2008%202016.pdf>
- Oñate, J. (2016). Cultivo de maíz amiláceo blanco en el Cantón de Ecuador. *Revista de Agricultura Tropical*, 42(3), 40-50. Resumen recuperado de [https://www.cytcd.org/sites/default/files/art\\_ecuador.pdf](https://www.cytcd.org/sites/default/files/art_ecuador.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

(2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos*. Roma, Italia: Fiatpanis.

Pacheco, A., y Alonzo, V. (1995). *Técnicas de investigación en suelos y aguas (1a ed.)*. Ciudad de México, México: Pueblo y Educación.

Robles, S. (1975). *Producción de granos y forrajes*. Ciudad de México, México: A.G.T.

Rojas Peña, J. (2015). Evapotranspiración del cultivo de quinua y su relación con la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). *Revista de Agricultura Sostenible*, 22(2), 1-10. Recuperado de <file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeLaDemandaHidricaDelCultivoDeQuinoaQ-6232144.pdf>

Sevilla, R. y Valdez, A. 1985. *Estudio de factibilidad del cultivo de maíz morado*: Fondo de Promoción y Exportación (1a ed.). Lima, Perú: FOPEX.

Tarazona Santos, Y. N. (2017). *Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Recuperado de [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1938/T033\\_42275682\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1938/T033_42275682_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Teran, G. (2008). *Comportamiento de tres híbridos de maíz duro (Zea mays L.) con cuatro niveles de fertilización en la parroquia La Concepción cantón Mira* [Tesis de título profesional, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/266>

- Tuñón Colom, J. (2000). *Determinación Experimental del Balance Hídrico del Suelo y Evaluación de la Contaminación Asociada a las Prácticas Agrícolas [Tesis de doctorado, Universidad de Granada]*. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10405/tunyon.pdf?seque>
- Vásquez Villanueva, A. (1988). *Principios básicos del riego*. Lima, Perú: ONERN.
- Vásquez, V., Vásquez, R., y Vilchez, O. (1992). *El riego principios básicos*. Lima, Perú: ONERN.
- Yanangómez Agila, L. V. (2018). *Estudio sobre el cultivo de maíz morado* *Revista de Agricultura Sostenible*, 25(2), 59-70. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21176>

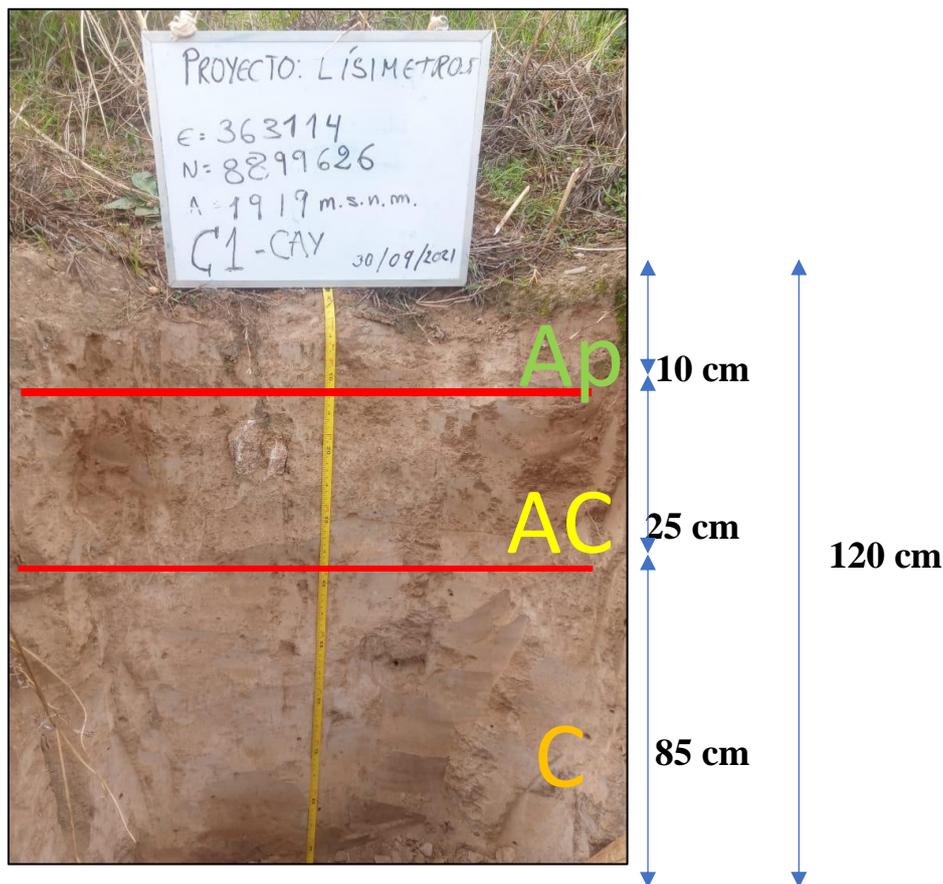
## Anexos

### Anexo A. Caracterización de los estratos del suelo

En la calicata C1-CAY, con dimensiones de 1.00 x 1.0 m x 1.20 m de profundidad, se llevó a cabo la descripción de los horizontes mediante observación in situ. En el estudio, se encontraron tres diferencias significativas, siendo suficientes para analizar el crecimiento del sistema radicular del ray grass y el maíz morado.

#### Figura 17

*Calicata C1-CAY de la investigación*



*Nota.* La textura de los horizontes fue: Ap = Franco arenosa, AC = Franco arenosa, C= Franco arenosa; para el color según Munsell: Ap = 10YR 6/3, AC = 10YR 6/3 y C= 10YR 6/3; la estructura: Ap = Gs-mf1, AC = Gs-mf1 y C= Gs-mf2; consistencia: Ap= suelto, AC= suelto y C= suelto.

Descripción de los horizontes es la siguiente

Horizonte Ap: Este horizonte presenta capas de materia orgánica depositadas en la superficie o cerca de ella. Ha sufrido una fuerte lixiviación, perdiendo arcilla, óxidos de hierro y aluminio hidratados, y acumulando concentraciones más altas de cuarzo y otros minerales de tamaño de arena o limo resistentes a la corrosión. Además, puede presentar perturbaciones debido al arado, pastoreo u otros factores que han causado una interrupción en su formación.

Horizonte AC: Es un horizonte de transición que se encuentra entre los horizontes A y C. Tiene características de ambos horizontes, pero no está dominado por ninguno de ellos. Se sitúa en una posición intermedia entre el A y el C.

Horizonte C: Este horizonte es mineral y no contiene formaciones rocosas. Puede tener características similares al material que se cree que formó los horizontes A y B. Es un horizonte poco alterado debido a su gran profundidad, por lo que las fuerzas pedogenéticas actúan de forma más agresiva cuando se expone. Carece de las características diagnósticas de los horizontes A o B, pero incluye material que ha sido meteorizado debido a estar fuera de la zona principal de actividad biológica. Puede presentar cementación reversible por acumulación de carbonatos de calcio y magnesio, desarrollo de fragilidad y alta densidad aparente, condiciones para el acristalamiento y cementación o endurecimiento y acumulación de diversas sustancias, excepto silicatos y hierro. Es importante tener en cuenta que el horizonte C puede no ser el material base en sí mismo, sino que puede parecerlo.

En cuanto a la estructura de los horizontes, se describen de la siguiente manera:

Horizonte Ap: Gs-mf1. Esto indica que el suelo presenta una estructura de grano

simple (Gs), con granos de arena sueltos y sin una agregación significativa. Además, se clasifica como masivo (M), lo que significa que no presenta agregación de partículas primarias o compactación del material del suelo. La designación "1" indica que es la forma más avanzada de esta estructura.

Horizonte C: Gs-mf2. En este caso, también se trata de un suelo con una estructura de grano simple (Gs), con granos de arena sueltos y sin una agregación significativa. Al igual que en el horizonte Ap, se clasifica como masivo (M), sin agregación de partículas primarias o compactación del material del suelo. La designación "2" indica que es una forma de crecimiento medio, con una prevalencia de textura arenosa.

Es importante tener en cuenta que estas descripciones se basan en la información proporcionada y pueden variar según el contexto específico del estudio o la clasificación del suelo.

## Anexo B: Cálculos de la lámina de riego del suelo

Se realizaron cálculos gravimétricos de humedad del suelo para determinar la humedad y el descenso tolerable de humedad en el cultivo de maíz morado (n=50%) y el cultivo de referencia ray grass (n=40%).

### Metodología

Se acondicionaron los 02 lisímetros con sus respectivos tensiómetros. Para el riego inicial, se saturó de agua el suelo, aplicando una lámina total de 87.12 litros para la profundidad correspondiente. Luego, se tomó una muestra y se registró la tensión del suelo, la cual se llevó inmediatamente al laboratorio. Este procedimiento se realizó en 8 evaluaciones desde el 14/10/2021 al 16/10/2021.

### Datos:

Capacidad de Campo (%CC) = 16% para un suelo franco arenoso.

Punto de Marchitez Permanente (%PMP) = 8% para un suelo franco arenoso

Densidad Aparente (Da) = 1.65 g/cm<sup>3</sup>

Profundidad radicular. 55 cm.

Densidad Real (Dr) = 2.50 g/cm<sup>3</sup>

#### 1. Lámina de riego para saturar el suelo franco arenoso

Los lisímetros tuvieron una superficie de 1.20 m<sup>2</sup> y presentaron un perfil con 3 horizontes, la lámina para saturarlos se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$H_{sat} = \frac{(E - P_w * D_a)}{100} * prof \quad (22)$$

#### **Ecuación 22.** Humedad de saturación

$$E = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) * 100 \quad (23)$$

**Ecuación 23.** Espacio poroso.

**Donde:**

Hsat.: lamina de saturación (cm).

E: Porosidad (%).

Pw: Humedad actual del suelo (%).

Da: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

Dr: Densidad real (g/cm<sup>3</sup>).

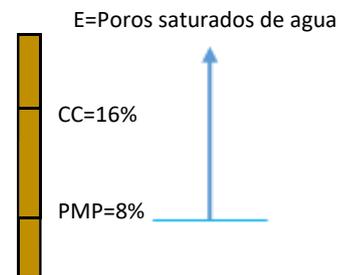
Prof.: Profundidad del suelo que se quiere saturar (cm).

**Cálculo:**

$$E = \left(1 - \frac{1.65}{2.50}\right) * 100 = 34\%$$

$$H_{sat} = \left(\frac{34 - 8 \times 1.65}{100}\right) * 55 \text{ cm} = 11.44 \text{ cm}$$

$$H_{sat} (\text{vol.}) = 10 * 11.44 * 1.2 = 137.28 \text{ litros}$$



2. Lamina de riego inicial

$$ADT = \left(\frac{16\% - 8\%}{100\%}\right) * \frac{1.65g}{cm^3} * 55cm = 7.26 \text{ cm}$$

$$ADT (\text{Vol}) = 10 * 7.26 * 1.2 = 87.12 \text{ Litros}$$

3. Lámina de riego durante la evaluación de la ETo y ETc

Cada lectura del tensiómetro siguió a cada riego del lisímetro, anotando la disminución permisible de la humedad del suelo ( $n = 0.50$  para maíz morado) a valores entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo. Para que el suelo aguante la capacidad del campo, se controla con un tensiómetro instalado al efecto, en este caso, cuando la marca de tensión es de 27 centibares.

#### 4. Lectura del tensiómetro para los riegos

La tensión del descenso tolerable de humedad del suelo según la FAO (2006) es

( $p = 50\%$ ) para el maíz morado y rye grass nui, ( $p=40\%$ ) es la siguiente:

##### Maíz morado

$$P_w = CC\% - p \times (CC\% - PMP\%)$$

**Ecuación 24.** Descenso tolerable de humedad.

$$P_w = 16\% - 0.50 \times (16\% - 8\%)$$

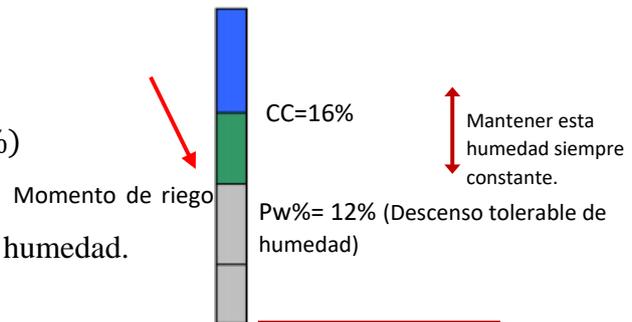
$$P_w = 12\% \text{ descenso tolerable para el maíz morado.} \quad PMP=8\%$$

##### Ray Grass

$$P_w = 16\% - 0.40 \times (16\% - 8\%) \text{ ray grass}$$

$$P_w = 12.8\% \text{ descenso tolerable.}$$

Para un descenso de humedad del suelo de  $p = 40\%$ , el suelo tensiómetros de 30 cm marcan una tensión de 27 centibares para el maíz morado. Por lo tanto, el riego se realizó cada vez que los tensiómetros marcaban 27 cb en el tensiómetro y para el ray grass el tensiómetro de 15 cm el riego se realizó cuando esta marcaba 25 cb.



## Figura 18

### *Calibración de los tensiómetros en el laboratorio de suelos*



En el laboratorio de suelos de la UNHEVAL, se procedió a calibrar los tensiómetros usando agua destilada para humedecer la capsula porosa de porcelana y preparar la solución anti algas mediante el uso de una pipeta, matraz y piseta.

## Figura 19

### *Acondicionando los tensiómetros en los lisímetros*



En el grafico muestra la saturación del suelo con agua de acuerdo a los cálculos realizados para las profundidades de 30 cm y 15 cm tanto para el maíz morado y ray Grass nui. Luego de realizar esta actividad se procedió a instalar los lisímetros

a profundidades de 15 y 30 cm para realizar la extracción de las muestras y poder llevarlas al laboratorio para realizar las evaluaciones correspondientes.

### Figura 20

*Pesando la muestra y llevando a la estufa para medir la humedad gravimétrica del suelo)*



Posteriormente, se usó una estufa, balanza granataria, desecador y guantes. Donde se procedió a obtener el peso del suelo húmedo (gr) y el peso del suelo seco (gr).

La estufa a la temperatura de 105° por un periodo de 24 horas.

Se utilizó la Ecuación para determinar las humedades gravimétricas del suelo a la profundidad de 15 y 30 cm.

$$\theta (\%) = \frac{\text{PSH (gr)} - \text{PSS(gr)}}{\text{PSS(gr)}} * 100 \quad (25)$$

**Ecuación 25:** Contenido de Humedad Gravimétrico

**Donde:**

$\theta$  (%): Contenido de Humedad Gravimétrico del Suelo.

PSH (gr): Peso del Suelo Húmedo.

PSS (gr): Peso del Suelo Seco.

Cada vez que se toma una muestra de suelo para determinar su contenido de humedad gravimétrica, también se registra simultáneamente la lectura de tensión en centibares utilizando los tensiómetros de 15 cm y 30 cm. Estos datos son importantes para evaluar los cambios en la retención de humedad del suelo. El proceso consiste en determinar parámetros que miden la correlación entre la variable de contenido de humedad (%) y el estrés (cb) que ha experimentado el suelo desde el último riego. Esto permite analizar cómo el suelo retiene y libera la humedad, y entender el impacto del riego en el contenido de humedad del suelo.

**Tabla 15**

*Cálculo de humedades gravimétricas edáfica a profundidades de 30 cm*

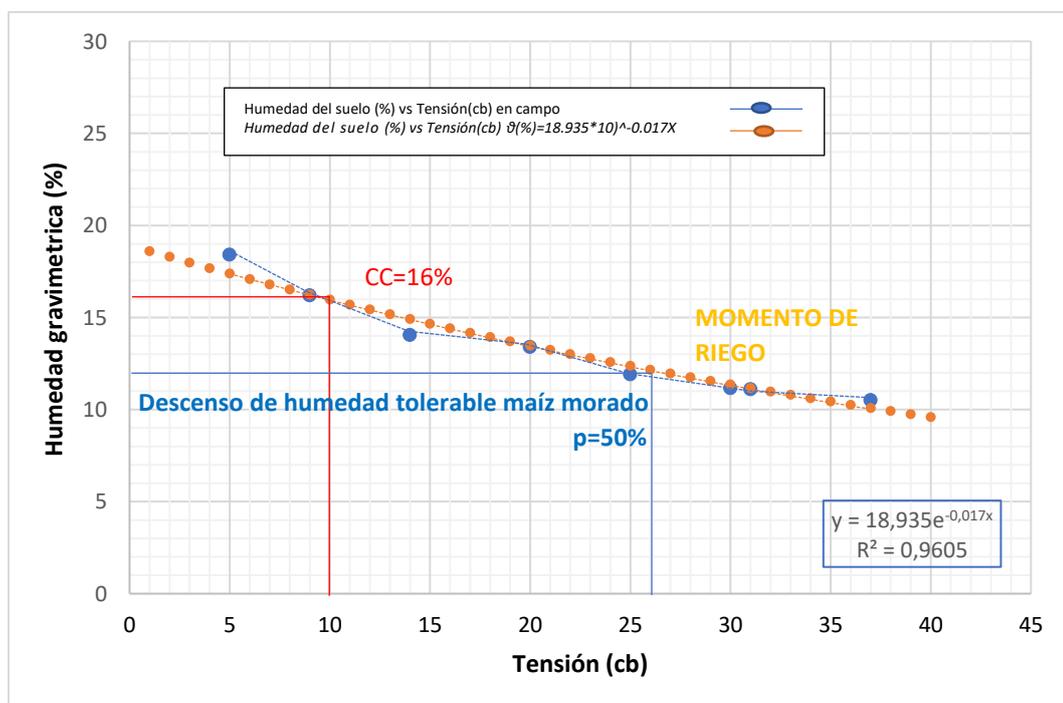
| Fecha/Hora            | Tensión<br>(cb) | Suelo<br>Húmedo<br>(gr) | Suelo<br>Seco (gr) | Humedades<br>del suelo (%) |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| 12/10/2021 - 7:00 am  | 0.00            |                         | Saturación         |                            |
| 12/10/2021 - 12:00 pm | 5               | 47.5                    | 42.0               | 18.42                      |
| 12/09/2021 - 6:00 pm  | 9               | 38.9                    | 35.3               | 16.21                      |
| 13/10/2021 - 7:00 am  | 30              | 23.3                    | 22.0               | 11.17                      |
| 13/10/2021 - 12:00 pm | 14              | 35.0                    | 32.4               | 14.05                      |
| 13/10/2021 - 6:00 pm  | 20              | 25.1                    | 23.8               | 13.41                      |
| 13/10/2021 - 7:00 am  | 25              | 35.2                    | 32.9               | 11.91                      |
| 14/10/2021 - 12:00 pm | 37              | 38.4                    | 36.0               | 10.52                      |

*Nota.* Muestra el cálculo de las humedades gravimétricas del suelo a una profundidad de 30 cm en diferentes fechas y horas. Estos datos serán utilizados para los lisímetros que contendrán las plantas de maíz morado de la variedad Negra Tomasa.

En la **Figura 21**, se muestra la evolución del contenido de agua en un suelo franco arenoso a medida que aumenta la succión. Cuando el suelo alcanza su capacidad de campo (CC = 16%), el tensiómetro colocado a una profundidad de 30 cm indica una tensión de 10.00 cb, con un contenido de humedad en el suelo del 15.97%. Según la FAO, el descenso tolerable de humedad para el maíz morado, con un punto de marchitez del 50% ( $p = 50\%$ ), se encuentra en la intersección de 27 cb. Esto indica el momento adecuado para realizar el riego sin que el cultivo experimente estrés hídrico. Se establece un límite máximo permitido de utilización del 50% del agua disponible total para el riego de los lisímetros de maíz morado. Estos datos son indispensables para realizar las estimaciones de la ETo (evapotranspiración de referencia) y la ETc (evapotranspiración del cultivo).

**Figura 21**

*Curva de retención de la humedad del suelo a profundidad de 30 cm de los lisímetros para el maíz morado*



**Tabla 16**

*Cálculo de humedades gravimétricas edáfica a profundidades de 30 cm*

| Tensión<br>cb | Humedad Gravi.<br>(%) | Tensión<br>cb | Humedad Grav. (%) | Tensión<br>cb | Humedad Gravi.<br>(%) |
|---------------|-----------------------|---------------|-------------------|---------------|-----------------------|
| 1             | 18.62                 | 11            | 15.71             | 21            | 13.25                 |
| 2             | 18.3                  | 12            | 15.44             | 22            | 13.03                 |
| 3             | 17.99                 | 13            | 15.18             | 23            | 12.81                 |
| 4             | 17.69                 | 14            | 14.92             | 24            | 12.59                 |
| 5             | 17.39                 | 15            | 14.67             | 25            | 12.38                 |
| 6             | 17.1                  | 16            | 14.43             | 26            | 12.17                 |
| 7             | 16.81                 | 17            | 14.18             | 27            | 11.97 p=50%           |
| 8             | 16.53                 | 18            | 13.94             | 28            | 11.76                 |
| 9             | 16.25                 | 19            | 13.71             | 29            | 11.57                 |
| 10            | 15.97 %CC             | 20            | 13.48             | 30            | 11.37                 |

*Nota.* La tabla muestra los valores de humedad gravimétrica del suelo a una profundidad de 30 cm correspondientes a diferentes tensiones en centibares (cb). Además, se indica que a una tensión de 27 cb, la humedad gravimétrica alcanza el valor de 11.97% (p=50%), que es el límite máximo permitido para el riego sin que el cultivo experimente estrés hídrico. También se menciona que el valor de 15.97% corresponde a la capacidad de campo (CC) del suelo.

**Tabla 17**

*Humedades gravimétricas edáfica a profundidades de 15 cm*

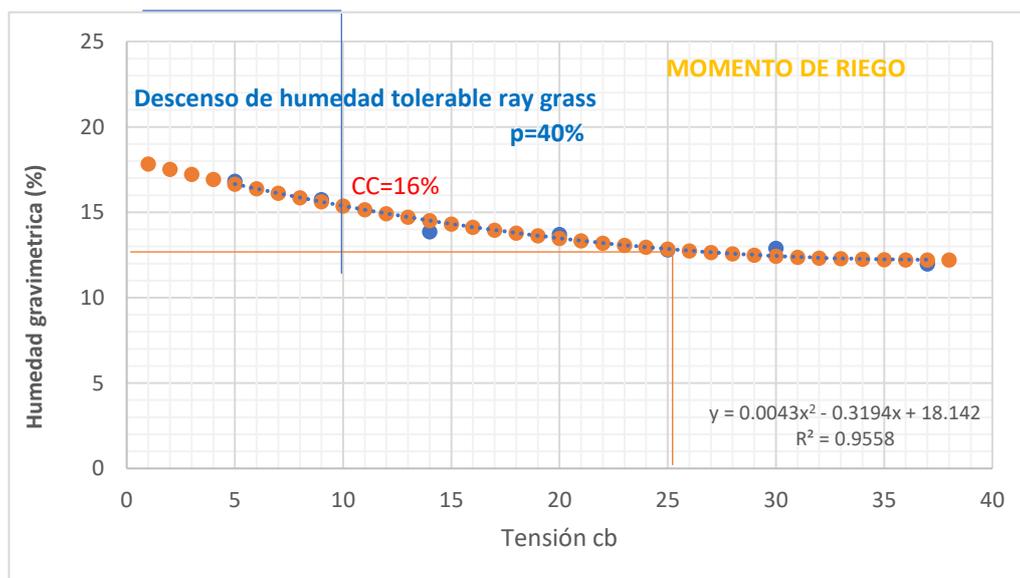
| Fecha - Hora          | Tensiones | Peso Suelo      | Peso Suelo | Humedades     |
|-----------------------|-----------|-----------------|------------|---------------|
|                       | (cb)      | Húmedo (gr)     | Seco (gr)  | del suelo (%) |
| 12/10/2021 - 7:00 am  | 0         | -----Suelo----- |            |               |
| 12/10/2021 - 12:00 pm | 5         | 47.0            | 39.89      | 16.82         |
| 12/09/2021 - 6:00 pm  | 9         | 37.7            | 32.56      | 15.74         |
| 13/10/2021 - 7:00 am  | 30        | 22.5            | 19.56      | 12.89         |
| 13/10/2021 - 12:00 pm | 14        | 33.8            | 29.66      | 13.86         |
| 13/10/2021 - 6:00 pm  | 20        | 26.2            | 23.02      | 13.7          |
| 13/10/2021 - 7:00 am  | 25        | 40.8            | 36.2       | 12.8          |
| 14/10/2021 - 12:00 pm | 37        | 38.1            | 34         | 11.98         |

*Nota.* En la siguiente tabla indica el día y las horas que se realizó el muestreo para determinar la humedad gravimétrica del suelo a una profundidad de 15 cm esta será usada para los lisímetros que acogerán a las plantas de ray grass nui. El suelo húmedo esta expresado en gramos tan igual que el suelo seco en la estufa.

En la Figura 18, Se muestra que cuando el suelo alcanza la capacidad de campo (CC = 16%), el tensiómetro a una profundidad de 15 cm registra una tensión de 10.00 cb y un contenido de humedad en el suelo del 15.38%. Se determina que para el maíz morado con una humedad permisible ( $p = 40\%$ ), se intersecta con un valor de 25 cb, lo cual indica que se debe realizar el riego sin que el cultivo llegue al estrés hídrico. De esta manera, se establece un límite máximo permitido del 40% del agua disponible total para realizar el riego en el lisímetro de ray grass. Estos datos serán indispensables para realizar las estimaciones de la ETo y Kc.

**Figura 22**

Fluctuación de la humedad gravimétrica edáfica a profundidades de 15 cm del lisímetro para el ray grass.



**Tabla 18**

Cálculo de humedades gravimétricas edáfica a profundidades de 15 cm

| Tensión cb | Humedad de suelo | Tensión cb | Humedad de suelo | Tensión cb | Humedad de suelo   |
|------------|------------------|------------|------------------|------------|--------------------|
| 1          | 17.82            | 11         | 15.15            | 21         | 13.33              |
| 2          | 17.52            | 12         | 14.93            | 22         | 13.19              |
| 3          | 17.22            | 13         | 14.71            | 23         | 13.07              |
| 4          | 16.93            | 14         | 14.51            | 24         | 12.95              |
| 5          | 16.65            | 15         | 14.32            | <b>25</b>  | <b>12.84 p=40%</b> |
| 6          | 16.38            | 16         | 14.13            | 26         | 12.74              |
| 7          | 16.11            | 17         | 13.95            | 27         | 12.65              |
| 8          | 15.86            | 18         | 13.78            | 28         | 12.57              |
| 9          | 15.61            | 19         | 13.62            | 29         | 12.49              |
| <b>10</b>  | <b>15.38 CC</b>  | 20         | 13.47            | 30         | 12.43              |

## Anexo B. Conducción de la investigación y registro de datos

### Figura 23

#### *Labores de preparación del terreno y siembra del rai Grass*



*Nota.* En la primera fotografía, se muestra la siembra al boleto en el lisímetro número 4, realizada el 16 de octubre de 2021 con la variedad de ray Grass llamada Nui. Esta técnica consiste en esparcir las semillas de manera uniforme sobre el área de siembra sin seguir un patrón específico. En la segunda imagen, se observa el proceso de surcado para la siembra del cultivo de maíz morado.

### Figura 24

#### *Siembra del cultivo de maíz morado en los lisímetros L1, L2 y L3*



*Nota.* En la primera imagen, se muestra la incorporación de materia orgánica en los lisímetros, lo cual es fundamental para mejorar la estructura y fertilidad del suelo.

**Figura 25**

*Sistema de drenaje instalado en la investigación*



*Nota.* En la primera imagen se muestra el sistema de drenaje de uno de los lisímetros, el cual incluye una llave de paso con su respectivo grifo, así como un colector de 5 litros. En la segunda imagen, se está llevando a cabo la evaluación de los contenedores para verificar si hay presencia de agua drenada.

**Figura 26**

*Instalación de tensiómetros y riegos según las necesidades hídricas*



*Nota.* En las imágenes, se muestra la instalación y uso de un tensiómetro para medir la humedad del suelo y controlar el riego. En la primera imagen se ve la instalación del tensiómetro previamente calibrado, mientras que en la segunda imagen se muestra el proceso de riego utilizando una regadera.

## Figura 27

*Evaluaciones periódicas de la tensión y riegos en los lisímetros del cultivo de maíz morado*



*Nota.* En las imágenes se registra la información del tensiómetro en el lisímetro número 3 con maíz morado, permitiendo monitorear la humedad del suelo y tomar decisiones de riego informadas.

## Figura 28

*Lisímetro del maíz morado a los 15 días después de la emergencia con su deshiero y lisímetro del ray grass con el corte respectivo*



*Nota.* En la imagen primera se aprecia el lisímetro con el maíz morado donde se efectuó el primer cultivo en la segunda imagen se aprecia el corte del ray grass a 15 cm.

## Figura 29

*Segundo cultivo o aporque del cultivo de maíz morado de la investigación*



*Nota.* En la primera imagen se muestra el comienzo del aporque en el cultivo de maíz morado, llevado a cabo 45 días después de la emergencia de las plantas. En la segunda imagen, se aprecia el aporque completo, que consiste en la acumulación de suelo alrededor de la base de las plantas de maíz morado.

## Figura 30

*Riego a los 45 días después de la emergencia en el maíz morado y ray Grass*



*Nota.* Se realizaron riegos frecuentes de acuerdo a las lecturas indicadas por los tensiómetros. Se tuvo especial cuidado en mantener la tensión del suelo en 27 cb y evitar el exceso de riego que pudiera causar pérdida de agua y afectar los registros realizados en los lisímetros.

### Figura 31

*Determinando las medidas de altura de plantas, diámetro y contando las hojas para determinar el desarrollo vegetativo*



*Nota.* Se realizaron diversas evaluaciones que incluyeron medidas de diámetro, número de hojas y otros parámetros.

### Figura 32

*Medida de la altura de plantas y efecto de abonamiento*



*Nota.* Las medidas para determinar el desarrollo vegetativo se realizaron con una cinta métrica desde la base de la planta hasta la hoja bandera del maíz.

### Figura 33

*Panoja miento del maíz morado a los 72 días después de la siembra*



*Nota.* Se llevaron a cabo medidas para determinar el desarrollo vegetativo utilizando una cinta métrica, desde la base de la planta hasta la hoja bandera del maíz.

### Figura 34

*Vista de la Investigación a los 80 días dds*



*Nota.* En la primera imagen se muestra el lisímetro número 4 con el cultivo de ray grass, una variedad de pasto. En la segunda imagen, se observan los lisímetros que contienen plantas de maíz morado, tomada 80 días después de la siembra.

## Figura 35

### *Vista de la investigación y el riego realizado*



*Nota.* En la primera imagen se muestra el cartel de la investigación que proporciona información sobre el trabajo de investigación en curso. Este cartel tiene como objetivo informar sobre los estudios y los resultados obtenidos hasta el momento. En la segunda imagen, se observa el proceso de riego del cultivo de maíz en los lisímetros.

## Figura 36

### *Evaluaciones realizadas a mediados de temporada y final de temporada*



*Nota.* En las imágenes, se puede observar que el maíz morado se encuentra en la etapa de mediados de temporada.

**Figura 37**

*Etapa final de temporada con la cosecha de las mazorcas de maíz morado*



*Nota.* En la primera imagen se observa el proceso de maduración de la mazorca de maíz, donde algunas hojas y brácteas comienzan a secarse. Esto indica que la planta está llegando a su etapa de cosecha. En la segunda imagen, se aprecia que más del 50% de las plantas están secas, lo que indica que es el momento adecuado para realizar la cosecha del cultivo de maíz.

**Tabla 19**

*Datos de registrados de campo del lisímetro N° 01 de maíz morado*

| PERÍODO                | Precipitación (mm) | L.A mm | L.P. mm | N° Días | ETc mm/día | ETc mm/día Ponderada | ETc mm/Etapa | ETc mm/día | COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) |
|------------------------|--------------------|--------|---------|---------|------------|----------------------|--------------|------------|-----------------------------|
| 01/11/2021-05/11/2021  | 42.9               | 4.1    | 38.3    | 5       | 1.7        | 8.7                  |              |            |                             |
| 06/11/2021-08/11/2021  | 0                  | 7.9    | 1       | 3       | 2.3        | 6.9                  |              |            |                             |
| 09/11/2021- 11/11/2021 | 0                  | 4.0    | 0.3     | 3       | 1.2        | 3.7                  |              |            |                             |
| 12/11/2021-16/11/2021  | 33.5               | 0.0    | 18.3    | 5       | 3.0        | 15.2                 |              |            |                             |
| 17/11/2021-19/11/2021  | 4.5                | 6.0    | 0.4     | 3       | 3.4        | 10.1                 | 44.60        | 2.35       | 0.70                        |
| 20/11/2021-22/11/2021  | 5.1                | 5.8    | 0       | 2       | 5.5        | 10.9                 |              |            |                             |
| 23/11/2021-24/11/2021  | 5.9                | 5.8    | 0       | 2       | 5.9        | 11.7                 |              |            |                             |
| 25/11/2021-28/11/2021  | 25.9               | 0.0    | 12.9    | 4       | 3.3        | 13.0                 |              |            |                             |
| 29/11/2021-30/11/2021  | 8.9                | 5.8    | 0       | 2       | 7.4        | 14.7                 |              |            |                             |
| 01/12/2021-03/11/2021  | 4                  | 11.8   | 0       | 3       | 5.3        | 15.8                 |              |            |                             |
| 04/12/2021-06/12/2021  | 13.3               | 8.5    | 0       | 3       | 7.3        | 21.8                 |              |            |                             |
| 07/12/2021-09/12/2021  | 5.9                | 12.6   | 0       | 3       | 6.2        | 18.5                 |              |            |                             |
| 10/12/2021-11/12/2021  | 7.6                | 11.8   | 0       | 2       | 9.7        | 19.4                 |              |            |                             |
| 12/12/2021-14/12/2021  | 5.8                | 12.1   | 0       | 3       | 6.0        | 17.9                 |              |            |                             |
| 15/12/2021-17/12/2021  | 1.4                | 17.5   | 0       | 3       | 6.3        | 18.9                 |              |            |                             |
| 18/12/2021-20/12/2021  | 2.3                | 17.5   | 0       | 3       | 6.6        | 19.8                 |              |            |                             |
| 21/12/2021-23/12/2021  | 1.8                | 20.9   | 0       | 3       | 7.6        | 22.7                 |              |            |                             |
| 24/12/2021-26/12/2021  | 0.7                | 20.8   | 0       | 3       | 7.2        | 21.5                 |              |            |                             |
| 27/12/2021-31/12/2021  | 5.7                | 16.7   | 0       | 5       | 4.5        | 22.4                 | 249.11       | 6.08       | 1.12                        |
| 01/01/2022-02/01/2022  | 0                  | 20.7   | 8.3     | 2       | 6.2        | 12.4                 |              |            |                             |
| 03/01/2022-05/01/2022  | 0                  | 20.8   | 0       | 3       | 6.9        | 20.8                 |              |            |                             |
| 06/01/2022-08/01/2022  | 0.1                | 20.8   | 0       | 3       | 7.0        | 20.9                 |              |            |                             |
| 09/01/2022-11/01/2022  | 2.6                | 21.0   | 0       | 3       | 7.9        | 23.6                 |              |            |                             |
| 12/01/2022-15/01/2022  | 17.1               | 20.8   | 0       | 4       | 9.5        | 37.9                 |              |            |                             |
| 16/12/2022-18/01/2022  | 5.4                | 17.5   | 0       | 3       | 7.6        | 22.9                 |              |            |                             |
| 19/12/2022-22/01/2022  | 3.6                | 20.8   | 0       | 4       | 6.1        | 24.4                 |              |            |                             |
| 23/01/2022-26/01/2022  | 8.4                | 0.0    | 0       | 4       | 2.1        | 8.4                  |              |            |                             |
| 27/01/2022-28/01/2022  | 5.4                | 17.5   | 6       | 2       | 8.5        | 16.9                 |              |            |                             |
| 29/01/2022-31/01/2022  | 11                 | 17.5   | 7.1     | 3       | 7.1        | 21.4                 | 209.70       | 6.76       | 1.29                        |
| 01/02/2022-03/02/2022  | 0.1                | 17.6   | 0       | 3       | 5.9        | 17.7                 |              |            |                             |
| 04/02/2022-06/02/2022  | 17.6               | 0.0    | 1       | 3       | 5.5        | 16.6                 |              |            |                             |
| 07/02/2022-09/02/2022  | 0.1                | 12.5   | 0       | 3       | 4.2        | 12.6                 |              |            |                             |
| 10/02/2022-12/02/2022  | 15.9               | 0.0    | 0       | 3       | 5.3        | 15.9                 |              |            |                             |
| 13/02/2022-15/02/2022  | 11.3               | 5.0    | 0       | 3       | 5.4        | 16.3                 |              |            |                             |
| 16/02/2022-18/02/2022  | 8.3                | 8.3    | 0       | 3       | 5.5        | 16.6                 |              |            |                             |
| 19/02/2022-21/02/2022  | 4                  | 10.1   | 1       | 3       | 4.4        | 13.1                 |              |            |                             |
| 22/02/2022-24/02/2022  | 2.6                | 11.9   | 3.5     | 3       | 3.7        | 11.0                 |              |            |                             |
| 25/02/2022-28/02/2022  | 22.7               | 0.0    | 5.6     | 4       | 4.3        | 17.1                 |              |            |                             |
| 01/03/2022-03/03/2022  | 2.5                | 0.0    | 0       | 3       | 0.8        | 2.5                  |              |            |                             |
| 04/03/2022-06/03/2022  | 1.5                | 10.2   | 0       | 3       | 3.9        | 11.7                 |              |            |                             |
| 07/03/2022-09/03/2022  | 16.5               | 0.0    | 2.3     | 3       | 4.7        | 14.2                 |              |            |                             |
| 10/03/2022-12/03/2022  | 18.5               | 0.0    | 5.9     | 3       | 4.2        | 12.6                 |              |            |                             |
| 13/03/2022-15/03/2022  | 1.1                | 0.0    | 0       | 3       | 0.4        | 1.1                  | 178.98       | 4.16       | 0.99                        |

**Tabla 16**

*Datos de registrados de campo del lisímetro N° 02 de maíz morado*

| PERIODO               | Precipitación (mm) | L.A mm | L.P. mm | N° Días | ETc mm/día | ETc mm/día Ponderad | ETc mm/etapa | ETc mm/día | COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) |
|-----------------------|--------------------|--------|---------|---------|------------|---------------------|--------------|------------|-----------------------------|
| 01/11/2021-05/11/2021 | 42.9               | 4.2    | 38.3    | 5       | 1.8        | 8.8                 |              |            |                             |
| 06/11/2021-08/11/2021 | 0                  | 3.8    | 0       | 3       | 1.3        | 3.8                 |              |            |                             |
| 09/11/2021-11/11/2021 | 0                  | 4.2    | 0.2     | 3       | 1.3        | 4.0                 |              |            |                             |
| 12/11/2021-16/11/2021 | 33.5               | 0.0    | 16.2    | 5       | 3.5        | 17.3                |              |            |                             |
| 17/11/2021-19/11/2021 | 4.5                | 5.9    | 1.3     | 3       | 3.0        | 9.1                 | 42.90        | 2.26       | 0.68                        |
| 20/11/2021-22/11/2021 | 5.1                | 5.8    | 0       | 2       | 5.5        | 10.9                |              |            |                             |
| 23/11/2021-24/11/2021 | 5.9                | 6.0    | 0       | 2       | 6.0        | 11.9                |              |            |                             |
| 25/11/2021-28/11/2021 | 25.9               | 0.0    | 12.9    | 4       | 3.3        | 13.0                |              |            |                             |
| 29/11/2021-30/11/2021 | 8.9                | 5.8    | 0       | 2       | 7.4        | 14.7                |              |            |                             |
| 01/12/2021-03/11/2021 | 4                  | 11.8   | 0       | 3       | 5.3        | 15.8                |              |            |                             |
| 04/12/2021-06/12/2021 | 13.3               | 8.5    | 0       | 3       | 7.3        | 21.8                |              |            |                             |
| 07/12/2021-09/12/2021 | 5.9                | 12.6   | 0       | 3       | 6.2        | 18.5                |              |            |                             |
| 10/12/2021-11/12/2021 | 7.6                | 11.5   | 0       | 2       | 9.6        | 19.1                |              |            |                             |
| 12/12/2021-14/12/2021 | 5.8                | 12.1   | 0       | 3       | 6.0        | 17.9                |              |            |                             |
| 15/12/2021-17/12/2021 | 1.4                | 17.5   | 0       | 3       | 6.3        | 18.9                |              |            |                             |
| 18/12/2021-20/12/2021 | 2.3                | 16.2   | 0       | 3       | 6.2        | 18.5                |              |            |                             |
| 21/12/2021-23/12/2021 | 1.8                | 20.9   | 0       | 3       | 7.6        | 22.7                |              |            |                             |
| 24/12/2021-26/12/2021 | 0.7                | 15.3   | 0       | 3       | 5.3        | 16.0                |              |            |                             |
| 27/12/2021-31/12/2021 | 5.7                | 16.7   | 0       | 5       | 4.5        | 22.4                | 242.11       | 5.91       | 1.09                        |
| 01/01/2022-02/01/2022 | 0                  | 12.6   | 9.7     | 2       | 1.4        | 2.9                 |              |            |                             |
| 03/01/2022-05/01/2022 | 0                  | 11.8   | 0       | 3       | 3.9        | 11.8                |              |            |                             |
| 06/01/2022-08/01/2022 | 0.1                | 11.6   | 0       | 3       | 3.9        | 11.7                |              |            |                             |
| 09/01/2022-11/01/2022 | 2.6                | 17.5   | 0       | 3       | 6.7        | 20.1                |              |            |                             |
| 12/01/2022-15/01/2022 | 17.1               | 20.1   | 0       | 4       | 9.3        | 37.2                |              |            |                             |
| 16/12/2022-18/01/2022 | 5.4                | 18.7   | 0       | 3       | 8.0        | 24.1                |              |            |                             |
| 19/12/2022-22/01/2022 | 3.6                | 20.4   | 0       | 4       | 6.0        | 24.0                |              |            |                             |
| 23/01/2022-26/01/2022 | 8.4                | 20.5   | 0       | 4       | 7.2        | 28.9                |              |            |                             |
| 27/01/2022-28/01/2022 | 5.4                | 20.4   | 4.9     | 2       | 10.5       | 20.9                |              |            |                             |
| 29/01/2022-31/01/2022 | 11                 | 20.8   | 6.2     | 3       | 8.5        | 25.6                | 207.23       | 6.68       | 1.27                        |
| 01/02/2022-03/02/2022 | 0.1                | 17.6   | 0       | 3       | 5.9        | 17.7                |              |            |                             |
| 04/02/2022-06/02/2022 | 17.6               | 0.0    | 1       | 3       | 5.5        | 16.6                |              |            |                             |
| 07/02/2022-09/02/2022 | 0.1                | 12.1   | 0       | 3       | 4.1        | 12.2                |              |            |                             |
| 10/02/2022-12/02/2022 | 15.9               | 0.0    | 0       | 3       | 5.3        | 15.9                |              |            |                             |
| 13/02/2022-15/02/2022 | 11.3               | 5.0    | 0       | 3       | 5.4        | 16.3                |              |            |                             |
| 16/02/2022-18/02/2022 | 8.3                | 8.3    | 0       | 3       | 5.5        | 16.6                |              |            |                             |
| 19/02/2022-21/02/2022 | 4                  | 10.1   | 1       | 3       | 4.4        | 13.1                |              |            |                             |
| 22/02/2022-24/02/2022 | 2.6                | 11.9   | 3.5     | 3       | 3.7        | 11.0                |              |            |                             |
| 25/02/2022-28/02/2022 | 22.7               | 0.0    | 6.3     | 4       | 4.1        | 16.4                |              |            |                             |
| 01/03/2022-03/03/2022 | 2.5                | 0.0    | 0       | 3       | 0.8        | 2.5                 |              |            |                             |
| 04/03/2022-06/03/2022 | 1.5                | 10.2   | 0       | 3       | 3.9        | 11.7                |              |            |                             |
| 07/03/2022-09/03/2022 | 16.5               | 0.0    | 2.3     | 3       | 4.7        | 14.2                |              |            |                             |
| 10/03/2022-12/03/2022 | 18.5               | 0.0    | 6       | 3       | 4.2        | 12.5                |              |            |                             |
| 13/03/2022-15/03/2022 | 1.1                | 0.0    | 0       | 3       | 0.4        | 1.1                 | 177.78       | 4.13       | 0.98                        |

**Tabla 20**

*Datos de registrados de campo del lisímetro N° 03 de maíz morado*

| PERIODO               | PP<br>mm.<br>acum<br>ulada | L.A<br>mm | L.P.<br>mm | N°<br>Días | ETc<br>mm/día | ETc<br>mm/día<br>Pondera<br>da | ETc<br>mm/etapa | ETc<br>mm/día | COEFICIEN<br>TE DE<br>CULTIVO<br>(KC) | PROMED<br>IO DE KC |
|-----------------------|----------------------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------------------------------|--------------------|
| 01/11/2021-05/11/2021 | 42.9                       | 4.2       | 38.3       | 5          | 1.8           | 8.8                            |                 |               |                                       |                    |
| 06/11/2021-08/11/2021 | 0                          | 3.3       | 0          | 3          | 1.1           | 3.3                            |                 |               |                                       |                    |
| 09/11/2021-11/11/2021 | 0                          | 4.2       | 0          | 3          | 1.4           | 4.2                            |                 |               |                                       |                    |
| 12/11/2021-16/11/2021 | 33.5                       | 0.0       | 16.2       | 5          | 3.5           | 17.3                           |                 |               |                                       |                    |
| 17/11/2021-19/11/2021 | 4.5                        | 6.0       | 0          | 3          | 3.5           | 10.5                           | 44.07           | 2.32          | 0.69                                  | 0.69               |
| 20/11/2021-22/11/2021 | 5.1                        | 5.8       | 0          | 2          | 5.5           | 10.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 23/11/2021-24/11/2021 | 5.9                        | 5.8       | 0          | 2          | 5.9           | 11.7                           |                 |               |                                       |                    |
| 25/11/2021-28/11/2021 | 25.9                       | 0.0       | 12.9       | 4          | 3.3           | 13.0                           |                 |               |                                       |                    |
| 29/11/2021-30/11/2021 | 8.9                        | 5.8       | 0          | 2          | 7.4           | 14.7                           |                 |               |                                       |                    |
| 01/12/2021-03/11/2021 | 4                          | 11.8      | 0          | 3          | 5.3           | 15.8                           |                 |               |                                       |                    |
| 04/12/2021-06/12/2021 | 13.3                       | 8.5       | 0          | 3          | 7.3           | 21.8                           |                 |               |                                       |                    |
| 07/12/2021-09/12/2021 | 5.9                        | 12.6      | 0          | 3          | 6.2           | 18.5                           |                 |               |                                       |                    |
| 10/12/2021-11/12/2021 | 7.6                        | 11.8      | 0          | 2          | 9.7           | 19.4                           |                 |               |                                       |                    |
| 12/12/2021-14/12/2021 | 5.8                        | 12.1      | 0          | 3          | 6.0           | 17.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 15/12/2021-17/12/2021 | 1.4                        | 17.5      | 0          | 3          | 6.3           | 18.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 18/12/2021-20/12/2021 | 2.3                        | 17.7      | 0          | 3          | 6.7           | 20.0                           |                 |               |                                       |                    |
| 21/12/2021-23/12/2021 | 1.8                        | 21.1      | 0          | 3          | 7.6           | 22.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 24/12/2021-26/12/2021 | 0.7                        | 17.8      | 0          | 3          | 6.2           | 18.5                           |                 |               |                                       |                    |
| 27/12/2021-31/12/2021 | 5.7                        | 21.3      | 0          | 5          | 5.4           | 27.0                           | 251.03          | 6.12          | 1.13                                  | 1.11               |
| 01/01/2022-02/01/2022 | 0                          | 20.7      | 9.4        | 2          | 5.6           | 11.3                           |                 |               |                                       |                    |
| 03/01/2022-05/01/2022 | 0                          | 20.8      | 0          | 3          | 6.9           | 20.8                           |                 |               |                                       |                    |
| 06/01/2022-08/01/2022 | 0.1                        | 20.8      | 0          | 3          | 7.0           | 20.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 09/01/2022-11/01/2022 | 2.6                        | 21.0      | 0          | 3          | 7.9           | 23.6                           |                 |               |                                       |                    |
| 12/01/2022-15/01/2022 | 17.1                       | 20.8      | 0          | 4          | 9.5           | 37.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 16/12/2022-18/01/2022 | 5.4                        | 17.5      | 0          | 3          | 7.6           | 22.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 19/12/2022-22/01/2022 | 3.6                        | 17.8      | 0          | 4          | 5.3           | 21.4                           |                 |               |                                       |                    |
| 23/01/2022-26/01/2022 | 8.4                        | 8.6       | 0          | 4          | 4.2           | 17.0                           |                 |               |                                       |                    |
| 27/01/2022-28/01/2022 | 5.4                        | 17.5      | 4.8        | 2          | 9.1           | 18.1                           |                 |               |                                       |                    |
| 29/01/2022-31/01/2022 | 11                         | 16.6      | 6.3        | 3          | 7.1           | 21.3                           | 215.18          | 6.94          | 1.32                                  | 1.28               |
| 01/02/2022-03/02/2022 | 0.1                        | 17.9      | 0          | 3          | 6.0           | 18.0                           |                 |               |                                       |                    |
| 04/02/2022-06/02/2022 | 17.6                       | 0.0       | 1.5        | 3          | 5.4           | 16.1                           |                 |               |                                       |                    |
| 07/02/2022-09/02/2022 | 0.1                        | 12.7      | 0          | 3          | 4.3           | 12.8                           |                 |               |                                       |                    |
| 10/02/2022-12/02/2022 | 15.9                       | 0.0       | 0          | 3          | 5.3           | 15.9                           |                 |               |                                       |                    |
| 13/02/2022-15/02/2022 | 11.3                       | 0.0       | 0          | 3          | 3.8           | 11.3                           |                 |               |                                       |                    |
| 16/02/2022-18/02/2022 | 8.3                        | 9.3       | 0          | 3          | 5.9           | 17.6                           |                 |               |                                       |                    |
| 19/02/2022-21/02/2022 | 4                          | 13.0      | 1          | 3          | 5.3           | 16.0                           |                 |               |                                       |                    |
| 22/02/2022-24/02/2022 | 2.6                        | 11.6      | 3.5        | 3          | 3.6           | 10.7                           |                 |               |                                       |                    |
| 25/02/2022-28/02/2022 | 22.7                       | 0.0       | 7.3        | 4          | 3.9           | 15.4                           |                 |               |                                       |                    |
| 01/03/2022-03/03/2022 | 2.5                        | 0.0       | 0          | 3          | 0.8           | 2.5                            |                 |               |                                       |                    |
| 04/03/2022-06/03/2022 | 1.5                        | 11.1      | 0          | 3          | 4.2           | 12.6                           |                 |               |                                       |                    |
| 07/03/2022-09/03/2022 | 16.5                       | 0.0       | 3          | 3          | 4.5           | 13.5                           |                 |               |                                       |                    |
| 10/03/2022-12/03/2022 | 18.5                       | 1.7       | 5          | 3          | 5.1           | 15.2                           |                 |               |                                       |                    |
| 13/03/2022-15/03/2022 | 1.1                        | 0.0       | 0          | 3          | 0.4           | 1.1                            | 178.65          | 4.15          | 0.99                                  | 0.99               |

**Tabla 21**

*Datos de registrados de campo del lisímetro N° 04 de ray grass*

| PERIODO                 | Precipitación (mm) | L.A mm | L.P. mm | N° Días | ETo mm/día | ETo mm/día Ponderada | ETo mm/etapa | ETo mm/día |
|-------------------------|--------------------|--------|---------|---------|------------|----------------------|--------------|------------|
| 01/11/2021 - 05/11/2021 | 42.9               | 0.0    | 34.6    | 5       | 1.7        | 8.3                  |              |            |
| 06/11/2021 - 08/11/2021 | 0                  | 9.0    | 0       | 3       | 3.0        | 9.0                  |              |            |
| 09/11/2021 - 11/11/2021 | 0                  | 4.2    | 0       | 3       | 1.4        | 4.2                  | 63.46        | 3.34       |
| 12/11/2021-16/11/2021   | 33.5               | 12.5   | 22.6    | 5       | 4.7        | 23.4                 |              |            |
| 17/11/2021-19/11/2021   | 4.5                | 17.6   | 3.5     | 3       | 6.2        | 18.6                 |              |            |
| 20/11/2021-22/11/2021   | 5.1                | 11.9   | 4.8     | 2       | 6.1        | 12.2                 |              |            |
| 23/11/2021-24/11/2021   | 5.9                | 12.5   | 5.1     | 2       | 6.7        | 13.3                 |              |            |
| 25/11/2021-28/11/2021   | 25.9               | 8.5    | 18.2    | 4       | 4.1        | 16.2                 |              |            |
| 29/11/2021-30/11/2021   | 8.9                | 8.4    | 4.9     | 2       | 6.2        | 12.4                 |              |            |
| 01/12/2021-03/11/2021   | 4                  | 12.6   | 10.1    | 3       | 2.2        | 6.5                  |              |            |
| 04/12/2021-06/12/2021   | 13.3               | 12.5   | 6       | 3       | 6.6        | 19.8                 |              |            |
| 07/12/2021-09/12/2021   | 5.9                | 12.5   | 0       | 3       | 6.1        | 18.4                 |              |            |
| 10/12/2021-11/12/2021   | 7.6                | 10.0   | 0       | 2       | 8.8        | 17.6                 |              |            |
| 12/12/2021-14/12/2021   | 5.8                | 12.5   | 0       | 3       | 6.1        | 18.3                 |              |            |
| 15/12/2021-17/12/2021   | 1.4                | 16.7   | 0       | 3       | 6.0        | 18.1                 |              |            |
| 18/12/2021-20/12/2021   | 2.3                | 15.0   | 0       | 3       | 5.8        | 17.3                 |              |            |
| 21/12/2021-23/12/2021   | 1.8                | 15.1   | 0       | 3       | 5.6        | 16.9                 |              |            |
| 24/12/2021-26/12/2021   | 0.7                | 16.7   | 0       | 3       | 5.8        | 17.4                 |              |            |
| 27/12/2021-31/12/2021   | 5.7                | 12.7   | 0       | 5       | 3.7        | 18.4                 | 222.70       | 5.43       |
| 01/01/2022-02/01/2022   | 0                  | 16.7   | 0       | 2       | 8.3        | 16.7                 |              |            |
| 03/01/2022-05/01/2022   | 0                  | 16.7   | 0       | 3       | 5.6        | 16.7                 |              |            |
| 06/01/2022-08/01/2022   | 0.1                | 16.7   | 1       | 3       | 5.3        | 15.8                 |              |            |
| 09/01/2022-11/01/2022   | 2.6                | 14.7   | 0.85    | 3       | 5.5        | 16.4                 |              |            |
| 12/01/2022-15/01/2022   | 17.1               | 0.0    | 8.2     | 4       | 2.2        | 8.9                  |              |            |
| 16/12/2022-18/01/2022   | 5.4                | 15.7   | 0       | 3       | 7.0        | 21.1                 |              |            |
| 19/12/2022-22/01/2022   | 3.6                | 12.5   | 0       | 4       | 4.0        | 16.1                 |              |            |
| 23/01/2022-26/01/2022   | 8.4                | 10.0   | 0       | 4       | 4.6        | 18.4                 |              |            |
| 27/01/2022-28/01/2022   | 5.4                | 12.5   | 0       | 2       | 9.0        | 17.9                 |              |            |
| 29/01/2022-31/01/2022   | 11                 | 9.0    | 5       | 3       | 5.0        | 15.0                 | 162.92       | 5.26       |
| 01/02/2022-03/02/2022   | 0.1                | 0.0    | 0       | 3       | 4.0        | 0.1                  |              |            |
| 04/02/2022-06/02/2022   | 17.6               | 0.0    | 2.6     | 3       | 5.0        | 15.0                 |              |            |
| 07/02/2022-09/02/2022   | 0.1                | 11.9   | 1       | 3       | 3.7        | 11.0                 |              |            |
| 10/02/2022-12/02/2022   | 15.9               | 0.0    | 0       | 3       | 5.3        | 15.9                 |              |            |
| 13/02/2022-15/02/2022   | 11.3               | 5.0    | 0       | 3       | 5.4        | 16.3                 |              |            |
| 16/02/2022-18/02/2022   | 8.3                | 6.7    | 0       | 3       | 5.0        | 15.0                 |              |            |
| 19/02/2022-21/02/2022   | 4                  | 8.8    | 0       | 3       | 4.3        | 12.8                 |              |            |
| 22/02/2022-24/02/2022   | 2.6                | 10.2   | 0       | 3       | 4.3        | 12.8                 |              |            |
| 25/02/2022-28/02/2022   | 22.7               | 0.0    | 5.6     | 4       | 4.3        | 17.1                 |              |            |
| 01/03/2022-03/03/2022   | 2.5                | 10.0   | 0       | 3       | 4.2        | 12.5                 |              |            |
| 04/03/2022-06/03/2022   | 1.5                | 12.2   | 0       | 3       | 4.6        | 13.7                 |              |            |
| 07/03/2022-09/03/2022   | 16.5               | 0.0    | 2.2     | 3       | 4.8        | 14.3                 |              |            |
| 10/03/2022-12/03/2022   | 18.5               | 0.0    | 2       | 3       | 5.5        | 16.5                 |              |            |
| 13/03/2022-15/03/2022   | 1.1                | 6.7    | 0       | 3       | 2.6        | 7.8                  | 180.63       | 4.20       |

**Anexo C.** Registro de la información para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), mediante métodos empíricos.

**Tabla 22**

*Constantes a y b para estimar la evapotranspiración referencia en función de la hr, n/n en diferentes meses y velocidad de viento*

**n/N: 0.3 – 0.6**

| Humedad<br>Relativa HR<br>(%) | VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg) |       |        |       |        |       |
|-------------------------------|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                               | 0 a 2                              |       | 2 a 5  |       | > 5    |       |
|                               | A                                  | B     | A      | B     | A      | B     |
| < 20                          | -1.900                             | 1.266 | -1.800 | 1.433 | -1.850 | 1.616 |
| 20 - 50                       | -1.700                             | 1.100 | -1.600 | 1.200 | -1.750 | 1.350 |
| > 50                          | -1.700                             | 0.900 | -1.530 | 0.933 | -1.866 | 1.066 |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper 1977 (ROMA).

**n/N: 0.6 – 0.8**

| Humedad<br>Relativa HR<br>(%) | VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg) |       |        |       |        |       |
|-------------------------------|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                               | 0 a 2                              |       | 2 a 5  |       | > 5    |       |
|                               | A                                  | B     | A      | B     | A      | B     |
| < 20                          | -2.000                             | 1.433 | -1.900 | 1.633 | -1.800 | 1.866 |
| 20 - 50                       | -2.200                             | 1.333 | -2.000 | 1.433 | -1.900 | 1.566 |
| > 50                          | -1.733                             | 1.033 | -1.700 | 1.100 | -1.566 | 1.166 |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper 1977 (ROMA). **n/N: > 0.8**

| Humedad<br>Relativa HR<br>(%) | VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg) |       |        |       |        |       |
|-------------------------------|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                               | 0 a 2                              |       | 2 a 5  |       | > 5    |       |
|                               | A                                  | B     | A      | B     | A      | B     |
| < 20                          | -2.350                             | 1.650 | -2.150 | 1.850 | -1.950 | 2.05  |
| 20 - 50                       | -2.050                             | 1.450 | -1.925 | 1.575 | -1.875 | 1.725 |
| > 50                          | -1.600                             | 1.100 | -1.900 | 1.275 | -1.800 | 1.350 |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper 1977 (ROMA).

**Tabla 23**

*Porcentaje diario medio (p) de horas anuales a diferentes latitudes*

| LATITUD NORTE | Enero  | Febrero | Marzo  | Abril   | Mayo      | Junio     | Julio  | Agosto  | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---------------|--------|---------|--------|---------|-----------|-----------|--------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| LATITUD SUR   | Julio  | Agosto  | Sept.  | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero  | Febrero | Marzo      | Abril   | Mayo      | Junio     |
| <b>60</b>     | 0.1500 | 0.2000  | 0.2600 | 0.3200  | 0.3800    | 0.4100    | 0.4100 | 0.3400  | 0.2800     | 0.2200  | 0.1700    | 0.1300    |
| <b>58</b>     | 0.1600 | 0.2100  | 0.2600 | 0.3200  | 0.3700    | 0.4000    | 0.4000 | 0.3400  | 0.2800     | 0.2300  | 0.1800    | 0.1500    |
| <b>56</b>     | 0.1700 | 0.2100  | 0.2600 | 0.3200  | 0.3600    | 0.3900    | 0.3900 | 0.3300  | 0.2800     | 0.2300  | 0.1800    | 0.1600    |
| <b>54</b>     | 0.1800 | 0.2200  | 0.2600 | 0.3100  | 0.3600    | 0.3800    | 0.3800 | 0.3300  | 0.2800     | 0.2300  | 0.1900    | 0.1700    |
| <b>52</b>     | 0.1900 | 0.2200  | 0.2700 | 0.3100  | 0.3500    | 0.3700    | 0.3700 | 0.3300  | 0.2800     | 0.2400  | 0.2000    | 0.1700    |
| <b>50</b>     | 0.1900 | 0.2300  | 0.2700 | 0.3100  | 0.3400    | 0.3600    | 0.3600 | 0.3200  | 0.2800     | 0.2400  | 0.2000    | 0.1800    |
| <b>48</b>     | 0.2000 | 0.2300  | 0.2700 | 0.3100  | 0.3400    | 0.3600    | 0.3600 | 0.3200  | 0.2800     | 0.2400  | 0.2100    | 0.1900    |
| <b>46</b>     | 0.2000 | 0.2300  | 0.2700 | 0.3000  | 0.3400    | 0.3500    | 0.3500 | 0.3200  | 0.2800     | 0.2400  | 0.2100    | 0.2000    |
| <b>44</b>     | 0.2100 | 0.2400  | 0.2700 | 0.3000  | 0.3300    | 0.3500    | 0.3500 | 0.3100  | 0.2800     | 0.2500  | 0.2200    | 0.2000    |
| <b>42</b>     | 0.2100 | 0.2400  | 0.2700 | 0.3000  | 0.3300    | 0.3400    | 0.3400 | 0.3100  | 0.2800     | 0.2500  | 0.2200    | 0.2100    |
| <b>40</b>     | 0.2200 | 0.2400  | 0.2700 | 0.3000  | 0.3200    | 0.3400    | 0.3400 | 0.3100  | 0.2800     | 0.2500  | 0.2200    | 0.2100    |
| <b>35</b>     | 0.2300 | 0.2500  | 0.2700 | 0.2900  | 0.3100    | 0.3200    | 0.3200 | 0.3000  | 0.2800     | 0.2500  | 0.2300    | 0.2200    |
| <b>30</b>     | 0.2400 | 0.2500  | 0.2700 | 0.2900  | 0.3100    | 0.3200    | 0.3200 | 0.3000  | 0.2800     | 0.2600  | 0.2400    | 0.2300    |
| <b>25</b>     | 0.2400 | 0.2600  | 0.2700 | 0.2900  | 0.3000    | 0.3100    | 0.3100 | 0.2900  | 0.2800     | 0.2600  | 0.2500    | 0.2400    |
| <b>20</b>     | 0.2500 | 0.2600  | 0.2700 | 0.2800  | 0.2900    | 0.3000    | 0.3000 | 0.2900  | 0.2800     | 0.2600  | 0.2500    | 0.2500    |
| <b>15</b>     | 0.2600 | 0.2600  | 0.2700 | 0.2800  | 0.2900    | 0.2900    | 0.2900 | 0.2800  | 0.2800     | 0.2700  | 0.2600    | 0.2500    |
| <b>10</b>     | 0.2600 | 0.2700  | 0.2700 | 0.2800  | 0.2800    | 0.2900    | 0.2900 | 0.2800  | 0.2800     | 0.2700  | 0.2600    | 0.2600    |
| <b>5</b>      | 0.2700 | 0.2700  | 0.2700 | 0.2800  | 0.2800    | 0.2800    | 0.2800 | 0.2800  | 0.2800     | 0.2700  | 0.2700    | 0.2700    |
| <b>0</b>      | 0.2700 | 0.2700  | 0.2700 | 0.2700  | 0.2700    | 0.2700    | 0.2700 | 0.2700  | 0.2700     | 0.2700  | 0.2700    | 0.2700    |

*Nota.* Fuente FAO Irrigation and drainage paper 1977 (ROMA).



**Tabla 24***Porcentaje diario medio (p) de horas anuales a diferentes latitudes*

| <b>LAT. NORTE</b> | <b>Ene.</b> | <b>Feb.</b>  | <b>Mar.</b>  | <b>Abr.</b> | <b>Mayo</b> | <b>Jun.</b> | <b>Jul.</b> | <b>Agos.</b> | <b>Sept.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> |
|-------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>LAT. SUR</b>   | <b>Jul.</b> | <b>Agos.</b> | <b>Sept.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> | <b>Ene.</b> | <b>Feb.</b>  | <b>Mar.</b>  | <b>Abr.</b> | <b>Mayo</b> | <b>Jun.</b> |
| <b>50</b>         | 8.50        | 10.10        | 11.80        | 13.80       | 15.40       | 16.30       | 15.90       | 14.50        | 12.70        | 10.80       | 9.10        | 8.10        |
| <b>48</b>         | 8.80        | 10.20        | 11.80        | 13.60       | 15.20       | 16.00       | 15.60       | 14.30        | 12.60        | 10.90       | 9.30        | 8.30        |
| <b>46</b>         | 9.10        | 10.40        | 11.90        | 13.50       | 14.90       | 15.70       | 15.40       | 14.20        | 12.60        | 10.90       | 9.50        | 8.70        |
| <b>44</b>         | 9.30        | 10.50        | 11.90        | 13.40       | 14.70       | 15.40       | 15.20       | 14.00        | 12.60        | 11.00       | 9.70        | 8.90        |
| <b>42</b>         | 9.40        | 10.60        | 11.90        | 13.40       | 14.60       | 15.20       | 14.90       | 13.90        | 12.90        | 11.10       | 9.80        | 9.10        |
| <b>40</b>         | 9.60        | 10.70        | 11.90        | 13.30       | 14.40       | 15.00       | 14.70       | 13.70        | 12.50        | 11.20       | 10.00       | 9.30        |
| <b>35</b>         | 10.10       | 11.00        | 11.90        | 13.10       | 14.00       | 14.50       | 14.30       | 13.50        | 12.40        | 11.30       | 10.30       | 9.80        |
| <b>30</b>         | 10.40       | 11.10        | 12.00        | 12.90       | 13.60       | 14.00       | 13.90       | 13.20        | 12.40        | 11.50       | 10.60       | 10.20       |
| <b>25</b>         | 10.70       | 11.30        | 12.00        | 12.70       | 13.30       | 13.70       | 13.50       | 13.00        | 12.30        | 11.60       | 10.90       | 10.60       |
| <b>20</b>         | 11.00       | 11.50        | 12.00        | 12.60       | 13.10       | 13.30       | 13.20       | 12.80        | 12.30        | 11.70       | 11.20       | 10.90       |
| <b>15</b>         | 11.30       | 11.60        | 12.00        | 12.50       | 12.80       | 13.00       | 12.90       | 21.60        | 12.20        | 11.80       | 11.40       | 11.20       |
| <b>10</b>         | 11.60       | 11.80        | 12.00        | 12.30       | 12.60       | 12.70       | 12.60       | 12.40        | 12.10        | 11.80       | 11.60       | 11.50       |
| <b>5</b>          | 11.80       | 11.90        | 12.00        | 12.20       | 12.30       | 12.40       | 12.30       | 12.30        | 12.10        | 12.00       | 11.90       | 11.80       |
| <b>0</b>          | 12.10       | 12.10        | 12.10        | 12.10       | 12.10       | 12.10       | 12.10       | 12.10        | 12.10        | 12.10       | 12.10       | 12.10       |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper.

**Tabla 25**

*Valores del factor de ponderación (w) para los efectos de la radiación sobre ETo a diferentes temperaturas y altitudes.*

| ALTITUD<br>(m) | TEMPERATURA (°C) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | 2                | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    |
| <b>0</b>       | 0.430            | 0.460 | 0.490 | 0.520 | 0.550 | 0.580 | 0.610 | 0.640 | 0.660 | 0.680 | 0.710 | 0.730 | 0.750 | 0.770 | 0.780 | 0.800 | 0.820 | 0.830 | 0.840 | 0.850 |
| <b>500</b>     | 0.450            | 0.480 | 0.510 | 0.540 | 0.570 | 0.600 | 0.620 | 0.650 | 0.670 | 0.700 | 0.720 | 0.740 | 0.760 | 0.780 | 0.790 | 0.810 | 0.820 | 0.840 | 0.850 | 0.860 |
| <b>1000</b>    | 0.460            | 0.490 | 0.520 | 0.550 | 0.580 | 0.610 | 0.640 | 0.660 | 0.690 | 0.710 | 0.730 | 0.750 | 0.770 | 0.790 | 0.800 | 0.820 | 0.830 | 0.850 | 0.860 | 0.870 |
| <b>2000</b>    | 0.490            | 0.520 | 0.550 | 0.580 | 0.610 | 0.640 | 0.660 | 0.690 | 0.710 | 0.730 | 0.750 | 0.770 | 0.790 | 0.810 | 0.820 | 0.840 | 0.850 | 0.860 | 0.870 | 0.880 |
| <b>3000</b>    | 0.520            | 0.550 | 0.580 | 0.610 | 0.640 | 0.660 | 0.690 | 0.710 | 0.730 | 0.750 | 0.770 | 0.790 | 0.810 | 0.820 | 0.840 | 0.850 | 0.860 | 0.880 | 0.880 | 0.890 |
| <b>4000</b>    | 0.550            | 0.580 | 0.610 | 0.640 | 0.660 | 0.690 | 0.710 | 0.730 | 0.760 | 0.780 | 0.790 | 0.810 | 0.830 | 0.840 | 0.850 | 0.860 | 0.880 | 0.890 | 0.900 | 0.900 |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper.



**Tabla 26**

*Constantes A y B para estimar la evapotranspiración Referencia en función de la HR y la velocidad del viento*

| INTERVALO DE HR (%).          | CATEGORÍA DE VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO DIURNO (m/s) |        |         |        |         |        |         |        |
|-------------------------------|--|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                               | > 8 m/s  |        | 05-Ago  |        | 02-May  |        | 0 – 2   |        |
|                               | a  | b      | a       | b      | A       | b      | a       | B      |
| <b>ALTO &gt; 70</b>           | -0.4860  | 0.9700 | -0.4100 | 0.9230 | -0.4030 | 0.8760 | -0.3500 | 0.8290 |
| <b>ALTO - MEDIO 55 - 77%</b>  | -0.4100  | 1.0860 | -0.3000 | 1.2040 | -0.3060 | 0.9620 | -0.4800 | 0.9120 |
| <b>BAJO - MEDIO 55 - 40 %</b> | -0.1200  | 1.1920 | -0.1800 | 1.1120 | -0.2800 | 1.0480 | -0.5400 | 1.0040 |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper.

**Tabla 27***Factor de evapotranspiración referencia (Mf) En mm/día*

| LATITUD<br>SUR | MESES |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|----------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
|                | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| <b>1</b>       | 2.79  | 2.12    | 2.35  | 2.20  | 2.14 | 1.99  | 2.09  | 2.22   | 2.26       | 2.36    | 2.23      | 2.27      |
| <b>2</b>       | 2.37  | 2.14    | 2.36  | 2.18  | 2.11 | 1.96  | 2.05  | 2.19   | 2.25       | 2.37    | 2.26      | 2.30      |
| <b>3</b>       | 2.35  | 2.15    | 2.36  | 1.17  | 2.08 | 1.92  | 2.03  | 2.17   | 2.25       | 2.39    | 2.29      | 2.34      |
| <b>4</b>       | 2.31  | 2.17    | 2.36  | 2.15  | 2.05 | 1.89  | 2.00  | 2.15   | 2.24       | 2.40    | 2.32      | 2.37      |
| <b>5</b>       | 2.42  | 2.19    | 2.36  | 2.13  | 2.02 | 1.85  | 1.96  | 2.13   | 2.23       | 2.41    | 2.35      | 2.41      |
| <b>6</b>       | 2.45  | 2.05    | 2.36  | 2.12  | 1.98 | 1.82  | 1.98  | 2.10   | 2.23       | 2.42    | 2.37      | 2.44      |
| <b>7</b>       | 2.48  | 2.22    | 2.36  | 2.10  | 1.96 | 1.79  | 1.89  | 2.08   | 2.22       | 2.23    | 2.40      | 2.48      |
| <b>8</b>       | 2.51  | 2.24    | 2.36  | 2.08  | 1.93 | 1.75  | 1.86  | 2.05   | 2.21       | 2.44    | 2.42      | 2.51      |
| <b>9</b>       | 2.54  | 2.25    | 2.36  | 2.06  | 1.90 | 1.72  | 1.82  | 2.03   | 2.20       | 2.45    | 2.45      | 2.54      |
| <b>10</b>      | 2.57  | 2.27    | 2.36  | 2.04  | 1.86 | 1.68  | 1.79  | 2.00   | 2.19       | 2.46    | 2.47      | 2.58      |
| <b>11</b>      | 2.60  | 2.28    | 2.35  | 2.02  | 1.83 | 1.64  | 1.75  | 1.98   | 2.18       | 2.47    | 2.50      | 2.61      |
| <b>12</b>      | 2.63  | 2.29    | 2.35  | 2.00  | 1.80 | 1.61  | 1.72  | 1.95   | 2.17       | 2.48    | 2.52      | 2.64      |
| <b>13</b>      | 2.65  | 2.91    | 2.35  | 1.98  | 1.77 | 1.57  | 1.68  | 1.92   | 2.16       | 2.46    | 2.54      | 2.68      |
| <b>14</b>      | 2.68  | 2.32    | 2.34  | 1.96  | 1.73 | 1.54  | 1.65  | 1.90   | 2.14       | 2.49    | 2.57      | 2.71      |
| <b>15</b>      | 2.71  | 2.33    | 2.33  | 2.94  | 1.70 | 1.50  | 1.61  | 1.87   | 2.13       | 2.50    | 2.59      | 2.74      |
| <b>16</b>      | 2.73  | 2.34    | 2.32  | 1.91  | 1.67 | 1.46  | 1.58  | 1.84   | 2.12       | 2.50    | 2.61      | 2.77      |
| <b>17</b>      | 2.76  | 2.35    | 2.32  | 1.89  | 1.63 | 1.43  | 1.54  | 1.81   | 2.10       | 2.50    | 2.63      | 2.77      |
| <b>18</b>      | 2.79  | 2.36    | 2.31  | 1.87  | 2.59 | 1.39  | 1.50  | 1.78   | 2.07       | 2.51    | 2.65      | 2.83      |
| <b>19</b>      | 2.81  | 2.36    | 2.30  | 1.84  | 1.56 | 1.35  | 1.47  | 1.75   | 2.07       | 2.51    | 2.67      | 2.86      |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper.

**Tabla 28**

*Factor de radiación extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación en mm/día*

| LAT. | HEMISFERIO SUR |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|------|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
|      | ENERO          | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 40   | 17.90          | 15.70   | 12.50 | 9.20  | 6.60  | 5.30  | 5.90  | 7.90   | 11.00      | 14.20   | 16.90     | 18.30     |
| 38   | 17.90          | 15.80   | 12.80 | 9.60  | 7.10  | 5.80  | 6.30  | 8.30   | 11.40      | 14.40   | 17.00     | 18.30     |
| 36   | 17.90          | 16.00   | 13.20 | 10.10 | 7.50  | 6.30  | 6.80  | 8.60   | 11.70      | 14.60   | 17.00     | 18.20     |
| 34   | 17.80          | 16.10   | 13.50 | 10.50 | 8.00  | 6.80  | 7.20  | 9.20   | 12.00      | 14.90   | 17.10     | 18.20     |
| 32   | 17.80          | 16.20   | 13.80 | 10.90 | 8.50  | 7.30  | 7.70  | 9.60   | 12.40      | 15.10   | 17.20     | 18.10     |
| 30   | 17.80          | 16.40   | 14.00 | 11.30 | 8.90  | 7.80  | 8.10  | 10.10  | 12.70      | 15.30   | 17.30     | 18.10     |
| 28   | 17.70          | 16.40   | 14.30 | 11.60 | 9.30  | 8.20  | 8.60  | 10.40  | 13.00      | 15.40   | 17.20     | 17.90     |
| 26   | 17.60          | 16.40   | 14.40 | 12.00 | 9.70  | 8.70  | 9.10  | 10.90  | 13.20      | 15.50   | 17.20     | 17.80     |
| 24   | 17.50          | 16.50   | 14.60 | 12.30 | 10.20 | 9.10  | 9.50  | 11.20  | 13.40      | 15.60   | 17.10     | 17.70     |
| 22   | 17.40          | 16.50   | 14.80 | 12.60 | 10.60 | 9.60  | 10.00 | 11.60  | 13.70      | 15.70   | 17.00     | 17.50     |
| 20   | 17.30          | 16.50   | 15.00 | 13.00 | 11.00 | 10.00 | 10.40 | 12.00  | 13.90      | 15.80   | 17.00     | 17.40     |
| 18   | 17.10          | 16.50   | 15.10 | 13.20 | 11.40 | 10.40 | 10.80 | 12.30  | 14.10      | 15.80   | 16.80     | 17.10     |
| 16   | 16.90          | 16.40   | 15.20 | 13.50 | 11.70 | 10.80 | 11.20 | 12.60  | 14.30      | 15.80   | 16.70     | 16.80     |
| 14   | 15.70          | 16.40   | 15.30 | 13.70 | 12.10 | 11.20 | 11.60 | 12.90  | 14.50      | 15.80   | 16.50     | 16.60     |
| 12   | 16.60          | 16.30   | 15.40 | 14.00 | 12.50 | 11.60 | 12.00 | 13.20  | 14.70      | 15.80   | 16.40     | 16.50     |
| 10   | 16.40          | 16.30   | 15.50 | 14.20 | 12.80 | 12.00 | 12.40 | 13.50  | 14.80      | 15.90   | 16.20     | 16.20     |
| 8    | 16.10          | 16.10   | 15.50 | 14.40 | 13.10 | 12.40 | 12.70 | 13.70  | 14.90      | 15.80   | 16.00     | 16.00     |
| 6    | 15.80          | 16.00   | 15.60 | 14.70 | 13.40 | 12.80 | 13.10 | 14.00  | 15.00      | 15.70   | 15.80     | 15.70     |
| 4    | 15.50          | 15.80   | 15.60 | 14.90 | 13.80 | 13.20 | 13.40 | 14.30  | 15.10      | 15.60   | 15.50     | 15.40     |
| 2    | 15.30          | 15.70   | 15.70 | 15.10 | 14.10 | 13.50 | 13.70 | 14.50  | 15.20      | 15.50   | 15.30     | 15.10     |
| 0    | 15.00          | 15.50   | 15.70 | 15.30 | 14.40 | 13.90 | 14.10 | 14.80  | 15.30      | 15.40   | 15.10     | 14.80     |

*Nota.* Fuente FAO irrigation and drainage paper.



**Figura 38**

*Precipitación total (mm/mes)*

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ**

**DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION Y DATOS**

ESTACION : HUANOUC / 000456 / DZ-10  
 PARAMETRO : PRECIPITACION (mm)

LAT = 9°57' S  
 LONG = 76°14'54" W  
 ALT = 1919 msnnm

DEPTO : HUANOUC  
 PROV : HUANOUC  
 DIST : AMARILIS

| AÑO  | ENE.  | FEB. | MAR.  | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SET. | OCT. | NOV.  | DIC.  |
|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 2012 | 78.6  | 55.7 | 30.1  | 75.9 | 13.7 | 3.8  | 7.8  | 3.4  | 4.9  | 75.0 | 94.5  | 154.7 |
| 2013 | 36.2  | 90.0 | 92.0  | 33.6 | 5.7  | 10.7 | 12.5 | 22.1 | 6.6  | 37.8 | 71.3  | 78.1  |
| 2014 | 72.0  | 94.0 | 76.0  | 43.1 | 29.2 | 6.6  | 2.9  | 0.7  | 28.9 | 49.7 | 32.1  | 84.9  |
| 2015 | 75.6  | 48.9 | 82.3  | 59.0 | 37.8 | 2.8  | 3.9  | 2.3  | 3.1  | 22.7 | 71.4  | 35.3  |
| 2016 | S/D   | S/D  | 87.8  | 11.6 | 0.2  | S/D  | 0.2  | 1.1  | 1.7  | 34.3 | 37.5  | 70.2  |
| 2017 | 72.1  | 70.9 | 77.5  | 22.8 | 17.6 | 0.0  | 4.8  | 5.6  | 15.7 | 32.3 | 42.9  | 125.6 |
| 2018 | 81.5  | 82.9 | 81.7  | 56.6 | 3.4  | 11.5 | 2.2  | 5.2  | 18.1 | 93.1 | 47.6  | 51.9  |
| 2019 | 115.5 | 54.2 | 127.9 | 20.2 | 8.9  | 12.0 | 1.1  | 4.4  | 12.2 | 66.4 | 18.5  | 122.2 |
| 2020 | 40.9  | 39.0 | 120.6 | 5.6  | 0.0  | 0.0  | 5.9  | 0.6  | 4.6  | 23.6 | 15.3  | 59.3  |
| 2021 | 74.8  | 88.2 | 58.5  | 33.7 | 16.1 | 3.2  | 3.9  | 1.6  | 29.7 | 30.4 | 118.8 | 39.9  |

**INFORMACION PREPARADA PARA: ALFA CONSTRUCTORA Y CONSULTORA S.C.S.U.**  
 LIMA, 13 de Mayo del 2022

Nota. Fuente SENAMHI.

**Figura 39**

*Temperatura media mensual (°C)*

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ**

**DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION Y DATOS**

ESTACION : HUANOUC / 000456 / DZ-10  
 PARAMETRO : TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

LAT = 9°57' S  
 LONG = 76°14'54" W  
 ALT = 1919 msnnm

DEPTO : HUANOUC  
 PROV : HUANOUC  
 DIST : AMARILIS

| AÑO  | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SET. | OCT. | NOV. | DIC. |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2012 | 20.7 | 19.8 | 20.6 | 20.3 | 20.5 | 19.8 | 19.3 | 20.0 | 20.2 | 21.2 | 21.0 | 19.9 |
| 2013 | 23.3 | 20.2 | 20.3 | 20.9 | 20.6 | 19.9 | 19.1 | 20.1 | 20.9 | 21.4 | 20.8 | 21.1 |
| 2014 | 20.1 | 20.4 | 20.4 | 21.2 | 21.0 | 20.5 | 21.0 | 19.7 | 20.7 | 20.4 | 21.3 | 21.1 |
| 2015 | 20.8 | 20.3 | 20.9 | 20.3 | 20.2 | 20.2 | 19.9 | 20.7 | 21.8 | 21.7 | 21.9 | 21.2 |
| 2016 | S/D  | S/D  | 22.0 | 22.3 | 21.2 | 20.1 | 20.0 | 20.7 | 20.5 | 20.9 | 22.1 | 21.1 |
| 2017 | 19.9 | 20.9 | 20.7 | 21.1 | 21.6 | 19.5 | 19.7 | 20.6 | 21.3 | 21.7 | 21.5 | 20.9 |
| 2018 | 20.1 | 21.0 | 20.7 | 20.2 | 20.7 | 18.8 | 19.0 | 19.6 | 20.7 | 20.9 | 21.5 | 21.0 |
| 2019 | 20.7 | 21.2 | 20.9 | 21.4 | 20.9 | 20.1 | 19.6 | 19.1 | 20.5 | 21.3 | 21.3 | 20.4 |
| 2020 | 21.4 | 21.6 | 21.9 | 21.0 | 19.6 | 20.3 | 19.9 | 20.1 | 20.7 | 21.5 | 22.5 | 21.3 |
| 2021 | 20.7 | 21.3 | 20.8 | 21.4 | 20.7 | 20.6 | 19.5 | 20.4 | 20.8 | 22.1 | 21.1 | 21.7 |

**INFORMACION PREPARADA PARA: ALFA CONSTRUCTORA Y CONSULTORA S.C.S.U.**  
 LIMA, 13 de Mayo del 2022

Nota. Fuente SENAMHI.



**Figura 40**

*Humedad relativa (%)*

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ**

**DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION Y DATOS**

ESTACION : HUANUCO / 004450 / DZ-10  
 PARAMETRO : HUMEDAD RELATIVA (%)

LAT. : 9°57' S  
 LONG. : 76°14'54" W  
 ALT. : 1919 msnm

DPTO. : HUANUCO  
 PROV. : HUANUCO  
 DIST. : AMARILIS

| AÑO  | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO.  | SET. | OCT. | NOV. | DIC. |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 2017 |      |      |      |      |      | 60.8 | 59.7 | 60.9  | 60.9 | 61.9 | 65.6 | 68.1 |
| 2018 | 70.4 | 69.1 | 67.7 | 69.0 | 64.3 | 63.5 | 63.3 | 62.2  | 58.8 | 71.2 | 69.1 | 66.8 |
| 2019 | 71.3 | 69.1 | 71.8 | 68.2 | 65.4 | 62.6 | 62.8 | 59.6  | 63.1 | 62.7 | 67.2 | 75.8 |
| 2020 | 71.7 | 69.8 | 65.0 | 60.7 | 53.0 | 56.1 | 60.7 | 57.73 | 61.2 | 61.3 | 60.4 | 66.1 |
| 2021 | 68.5 | 66.7 | 68.9 | 67.3 | 62.6 | 62.2 | 60.0 | 57.5  | 61.4 | 63.3 | 66.1 | 66.3 |

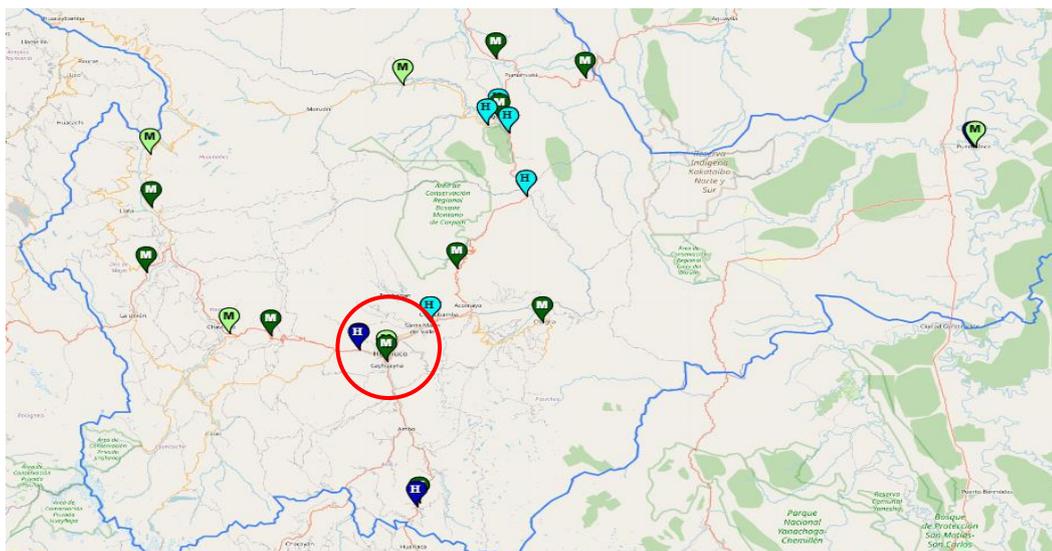
INFORMACION PREPARADA PARA ALPA CONSTRUCTORA Y CONSULTORA S.C.A.L.  
 LIMA, 13 de Marzo del 2022

N° PRES / SOLIC. PROC: 20211100000110211000009 N° IMPRESION: 24295

Nota. Fuente SENAMHI.

**Figura 41**

*Ubicación de la estación meteorológica Huánuco*



Nota. La estación Huánuco, está ubicada en el distrito de Amarilis y provincia de

Huánuco del tipo convencional de latitud 9°57'7.24" S y longitud: 76°14'54.8"

W a una altitud de 1919 msnm. Ver en la siguiente página web del SENAMHI:

[https:// www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=huanuco&p=estaciones](https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=huanuco&p=estaciones)

**Figura 42**

*Datos meteorológicos diarios del mes de noviembre del 2021*

| Estación : HUANUCO        |                  |                        |                      |                        |
|---------------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Departamento : HUANUCO    |                  | Provincia : HUANUCO    |                      | Distrito : AMARILIS    |
| Latitud : 9°57'7.24"      |                  | Longitud : 76°14'54.8" |                      | Altitud : 1919 msnm    |
| Tipo : CP - Meteorológica |                  | Código : 109003        |                      |                        |
| AÑO / MES / DÍA           | TEMPERATURA (°C) |                        | HUMEDAD RELATIVA (%) | PRECIPITACIÓN (mm/día) |
|                           | MAX              | MIN                    |                      | TOTAL                  |
| 01/11/2021                | 29.1             | 15.8                   | 64.5                 | 0                      |
| 02/11/2021                | 30.5             | 13.7                   | 61.2                 | 32.9                   |
| 03/11/2021                | 27.8             | 14.3                   | 71.9                 | 5.5                    |
| 04/11/2021                | 29.9             | 13.5                   | 60.2                 | 4.5                    |
| 05/11/2021                | 25.5             | 16.1                   | 66.1                 | 0                      |
| 06/11/2021                | 26.8             | 17                     | 64.8                 | T                      |
| 07/11/2021                | 29.2             | 16.8                   | 58.8                 | 0                      |
| 08/11/2021                | 28.9             | 18                     | 59.4                 | 0                      |
| 09/11/2021                | 24.2             | 17.6                   | 67.3                 | T                      |
| 10/11/2021                | 28.4             | 14.5                   | 65.4                 | 0                      |
| 11/11/2021                | 24.7             | 16.6                   | 65.3                 | T                      |
| 12/11/2021                | 26.8             | 16.3                   | 67.1                 | 14.4                   |
| 13/11/2021                | 27.5             | 14.5                   | 62.4                 | 15.6                   |
| 14/11/2021                | 25.3             | 15.2                   | 69.1                 | 1.2                    |
| 15/11/2021                | 29               | 16.6                   | 59.7                 | 2.3                    |
| 16/11/2021                | 24.3             | 16.2                   | 71.5                 | T                      |
| 17/11/2021                | 27               | 16                     | 71.3                 | 0.6                    |
| 18/11/2021                | 22               | 14.5                   | 78.6                 | 0                      |
| 19/11/2021                | 29               | 15.1                   | 60.9                 | 3.9                    |
| 20/11/2021                | 24               | 15.9                   | 80.7                 | -884.1                 |
| 21/11/2021                | 25.3             | 15.5                   | 63.4                 | 0                      |
| 22/11/2021                | 27.4             | 15.8                   | 61                   | 1.2                    |
| 23/11/2021                | 25               | 16.8                   | 72.5                 | 0.4                    |
| 24/11/2021                | 19.7             | 16.5                   | 88.7                 | 5.5                    |
| 25/11/2021                | 28.3             | 14.7                   | 66.6                 | 11.3                   |
| 26/11/2021                | 26.1             | 16                     | 77.9                 | 5.7                    |
| 27/11/2021                | 27               | 15.3                   | 65.2                 | 0                      |
| 28/11/2021                | 23.8             | 15.8                   | 73.9                 | 8.9                    |
| 29/11/2021                | 26.3             | 15                     | 74.1                 | 4.7                    |
| 30/11/2021                | 25.3             | 15.5                   | 74.1                 | 0.2                    |

*Nota.* Fuente SENAMHI.

**Figura 43**

*Datos meteorológicos diarios del mes de diciembre del 2021*

| Estación : HUANUCO        |                  |                        |                      |                        |
|---------------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Departamento : HUANUCO    |                  | Provincia : HUANUCO    |                      | Distrito : AMARILIS    |
| Latitud : 9°57'7.24"      |                  | Longitud : 76°14'54.8" |                      | Altitud : 1919 msnm    |
| Tipo : CP - Meteorológica |                  | Código : 109003        |                      |                        |
| AÑO / MES / DÍA           | TEMPERATURA (°C) |                        | HUMEDAD RELATIVA (%) | PRECIPITACIÓN (mm/día) |
|                           | MAX              | MIN                    |                      | TOTAL                  |
| 01/12/2021                | 23.3             | 15.6                   | 77.7                 | 5.2                    |
| 02/12/2021                | 22.8             | 14.9                   | 88.3                 | 7                      |
| 03/12/2021                | 26.5             | 15.5                   | 71                   | -887.9                 |
| 04/12/2021                | 29.1             | 16.5                   | 69.4                 | 1.1                    |
| 05/12/2021                | 23.8             | 16.7                   | 79.7                 | 5.1                    |
| 06/12/2021                | 23.7             | 16.3                   | 71.5                 | 0.2                    |
| 07/12/2021                | 27.5             | 15.5                   | 61.9                 | 0.6                    |
| 08/12/2021                | 29.1             | 16.7                   | 58.3                 | T                      |
| 09/12/2021                | 28.4             | 18                     | 58.3                 | 1.8                    |
| 10/12/2021                | 26               | 17.4                   | 63.3                 | 0                      |
| 11/12/2021                | 28.4             | 17.1                   | 62.6                 | 0.2                    |
| 12/12/2021                | 28.5             | 17.2                   | 70.3                 | 5.8                    |
| 13/12/2021                | 29.7             | 16.8                   | 64                   | 0                      |
| 14/12/2021                | 26.9             | 17                     | 66.3                 | 0                      |
| 15/12/2021                | 30.2             | 17.5                   | 58.7                 | 0                      |
| 16/12/2021                | 28               | 17.8                   | 62.6                 | 1                      |
| 17/12/2021                | 25.4             | 17.2                   | 74.4                 | 0.4                    |
| 18/12/2021                | 28.5             | 16.5                   | 58.8                 | 2.3                    |
| 19/12/2021                | 29.9             | 17.5                   | 56.2                 | T                      |
| 20/12/2021                | 25.5             | 16.8                   | 61.9                 | 0                      |
| 21/12/2021                | 27.5             | 14.5                   | 61.7                 | 0                      |
| 22/12/2021                | 21.7             | 15.5                   | 74.9                 | 0                      |
| 23/12/2021                | 29.1             | 16.4                   | 59.8                 | 1.8                    |
| 24/12/2021                | 26               | 14.6                   | 65.7                 | 0.1                    |
| 25/12/2021                | 30.1             | 15.8                   | 63.2                 | 0.6                    |
| 26/12/2021                | 30.7             | 13.5                   | 60.1                 | 0                      |
| 27/12/2021                | 28.9             | 16                     | 59.9                 | 1                      |
| 28/12/2021                | 24.8             | 17.8                   | 74.3                 | 1.9                    |
| 29/12/2021                | 24               | 15.5                   | 69.3                 | 0.9                    |
| 30/12/2021                | 28.3             | 15                     | 66.2                 | 2.9                    |
| 31/12/2021                | 29.2             | 16.2                   | 68.1                 | 0                      |

Nota. Fuente SENAMHI.

**Figura 44**

*Datos meteorológicos diarios del mes de enero del 2022*

| Estación : HUANUCO        |                  |                        |                      |                        |
|---------------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Departamento : HUANUCO    |                  | Provincia : HUANUCO    |                      | Distrito : AMARILIS    |
| Latitud : 9°57'7.24"      |                  | Longitud : 76°14'54.8' |                      | Altitud : 1919 msnm    |
| Tipo : CP - Meteorológica |                  | Código : 109003        |                      |                        |
| AÑO / MES / DÍA           | TEMPERATURA (°C) |                        | HUMEDAD RELATIVA (%) | PRECIPITACIÓN (mm/día) |
|                           | MAX              | MIN                    |                      | TOTAL                  |
| 01/01/2022                | 32.8             | 15.2                   | 57                   | 0                      |
| 02/01/2022                | 32.4             | 15.3                   | 57.2                 | 0                      |
| 03/01/2022                | 30               | 15.8                   | 58.6                 | 0                      |
| 04/01/2022                | 30.3             | 18.5                   | 60.2                 | -887                   |
| 05/01/2022                | 27.8             | 16.2                   | 61.5                 | 0.6                    |
| 06/01/2022                | 26.8             | 16.3                   | 64.7                 | 0                      |
| 07/01/2022                | 29.7             | 16.7                   | 57.9                 | 0                      |
| 08/01/2022                | 29.3             | 16.8                   | 58.2                 | 0.1                    |
| 09/01/2022                | 25.7             | 17.4                   | 64                   | 0                      |
| 10/01/2022                | 28.2             | 17.5                   | 59.3                 | 2.6                    |
| 11/01/2022                | 24.7             | 16.2                   | 66.6                 | 0                      |
| 12/01/2022                | 25.1             | 16                     | 76.8                 | 17.1                   |
| 13/01/2022                | 18.3             | 14.5                   | 88.9                 | 0.2                    |
| 14/01/2022                | 27.8             | 12.5                   | 65                   | 0                      |
| 15/01/2022                | 24.2             | 15.1                   | 69                   | 0                      |
| 16/01/2022                | 28.5             | 15.3                   | 61.3                 | 0                      |
| 17/01/2022                | 30.1             | 14.8                   | 56                   | 4.2                    |
| 18/01/2022                | 28.6             | 15                     | 61.9                 | 1.2                    |
| 19/01/2022                | 27.4             | 14.7                   | 64.8                 | 0.1                    |
| 20/01/2022                | 29.3             | 14.9                   | 60.2                 | 2.5                    |
| 21/01/2022                | 28.2             | 15.5                   | 65.2                 | 1                      |
| 22/01/2022                | 28               | 16.5                   | 63.8                 | 0                      |
| 23/01/2022                | 28.2             | 17.1                   | 60.4                 | 0                      |
| 24/01/2022                | 25.1             | 16.8                   | 69.1                 | 0                      |
| 25/01/2022                | 27.8             | 16.6                   | 65                   | 7.7                    |
| 26/01/2022                | 26.4             | 14.5                   | 73.8                 | 0.7                    |
| 27/01/2022                | 26.6             | 16.6                   | 70.7                 | 5.2                    |
| 28/01/2022                | 24.2             | 16.2                   | 72.4                 | 0.2                    |
| 29/01/2022                | 24.9             | 16.5                   | 69.5                 | 9.5                    |
| 30/01/2022                | 19.7             | 14.9                   | 82.5                 | 1.5                    |
| 31/01/2022                | 27.4             | 15.7                   | 66.1                 | 0                      |

Nota. Fuente SENAMHI.

**Figura 45**

*Datos meteorológicos diarios del mes de febrero del 2022*

| Estación : HUANUCO        |                  |                        |                      |                        |
|---------------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Departamento : HUANUCO    |                  | Provincia : HUANUCO    |                      | Distrito : AMARILIS    |
| Latitud : 9°57'7.24"      |                  | Longitud : 76°14'54.8" |                      | Altitud : 1919 msnm    |
| Tipo : CP - Meteorológica |                  | Código : 109003        |                      |                        |
| AÑO / MES / DÍA           | TEMPERATURA (°C) |                        | HUMEDAD RELATIVA (%) | PRECIPITACIÓN (mm/día) |
|                           | MAX              | MIN                    |                      | TOTAL                  |
| 01/02/2022                | 23.3             | 15.4                   | 73.1                 | 0.1                    |
| 02/02/2022                | 18.8             | 15.6                   | 79.8                 | 0                      |
| 03/02/2022                | 25.9             | 13.6                   | 64.5                 | 0                      |
| 04/02/2022                | 27.7             | 16.5                   | 60.8                 | 0.5                    |
| 05/02/2022                | 27.8             | 16.4                   | 63.1                 | 10.7                   |
| 06/02/2022                | 25.7             | 15.5                   | 68.7                 | 6.4                    |
| 07/02/2022                | 23               | 16                     | 73.8                 | T                      |
| 08/02/2022                | 26               | 15.3                   | 65.9                 | 0.1                    |
| 09/02/2022                | 27.1             | 14.7                   | 65.2                 | 0                      |
| 10/02/2022                | 23.7             | 15.5                   | 75.5                 | 0.3                    |
| 11/02/2022                | 26.4             | 14.6                   | 73.6                 | 12.2                   |
| 12/02/2022                | 27.5             | 13.5                   | 66.9                 | 3.4                    |
| 13/02/2022                | 28.5             | 15.5                   | 59.1                 | 11.2                   |
| 14/02/2022                | 25.7             | 15.1                   | 68                   | 0                      |
| 15/02/2022                | 22.4             | 16                     | 74.2                 | 0.1                    |
| 16/02/2022                | 25.6             | 15.5                   | 69.4                 | 5.9                    |
| 17/02/2022                | 25.8             | 15.9                   | 68.9                 | 0.1                    |
| 18/02/2022                | 25.9             | 16.4                   | 75.3                 | 2.3                    |
| 19/02/2022                | 26.2             | 15.3                   | 76.3                 | 3.9                    |
| 20/02/2022                | 21.8             | 15.7                   | 81.9                 | 0                      |
| 21/02/2022                | 27.3             | 15.5                   | 69.8                 | 0.1                    |
| 22/02/2022                | 25.5             | 14.5                   | 72.6                 | T                      |
| 23/02/2022                | 24.8             | 15.8                   | 73.8                 | 2.6                    |
| 24/02/2022                | 27.8             | 15.5                   | 65.3                 | 0                      |
| 25/02/2022                | 27.9             | 16.5                   | 66.9                 | 15.1                   |
| 26/02/2022                | 23.5             | 15.5                   | 81                   | 5.5                    |
| 27/02/2022                | 27.7             | 15.7                   | 71                   | 2.1                    |
| 28/02/2022                | 28.8             | 15.3                   | 60.2                 | 0                      |
| 31/01/2022                | 27.4             | 15.7                   | 66.1                 | 0                      |

*Nota.* Fuente SENAMHI.

Anexo D: Análisis de suelos del área experimental.

Figura 46

Análisis de suelos de los horizontes de suelo.



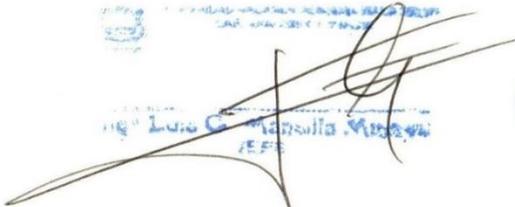
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - CELULAR 944407531  
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



### ANALISIS DE SUELOS

| SOLICITANTE: FIGUEROA RAMIREZ JOSE |                 |             |                   |         |      |                |      |      |      |       |     | PROCEDENCIA: CAYHUAYNA - PILLCO MARCA - HUANUCO |                        |      |      |      |   |    |      |     |   |   |    |   |            |           |         |
|------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|---------|------|----------------|------|------|------|-------|-----|---|------------------------|------|------|------|---|----|------|-----|---|---|----|---|------------|-----------|---------|
| N°                                 | DATOS           |             | ANALISIS MECANICO |         |      |                | pH   | M.O. | N    | P     | K   | CIC   | CAMBIABLES Cmol(+) /kg |      |      |      |   |    | CICe | %   | % | % |    |   |            |           |         |
|                                    | CODIGO DEL LAB. | REFERENCIA  | Arena             | Arcilla | Limo | Textura        |      |      |      |       |     |   | disponible             |      | Ca   | Mg   | K | Na |      |     |   |   | Al | H | Bas. Camb. | Ac. Camb. | Sat. Al |
|                                    |                 | CULTIVO     | %                 | %       | %    |                |      |      |      |       |     |   | ppm                    | ppm  |      |      |   |    |      |     |   |   |    |   |            |           |         |
| 1                                  | S0926           | MAIZ MORADO | 59                | 18      | 23   | Franco Arenoso | 8.58 | 4.65 | 0.23 | 14.63 | 103 | 7.32  | 5.97                   | 0.97 | 0.26 | 0.12 | - | -  | -    | 100 | 0 | 0 |    |   |            |           |         |
| 2                                  | S0927           | MAIZ MORADO | 57                | 19      | 24   | Franco Arenoso | 8.53 | 4.62 | 0.23 | 14.13 | 100 | 7.35  | 5.99                   | 0.97 | 0.26 | 0.13 | - | -  | -    | 100 | 0 | 0 |    |   |            |           |         |

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
RECIBO No. 001-0636794  
TINGO MARIA, 12 DE OCTUBRE 2021




Nota. Fuente Universidad Nacional Agraria de la Selva.

## Anexo E. Cosecha y evaluaciones del maíz morado como parte de la investigación.

Cuando se finalizó el desarrollo vegetativo del maíz morado, se llevó a cabo la cosecha para determinar algunas características de esta variedad de maíz. Las características que se evaluaron fueron:

### Figura 47

*Cosecha del maíz morado de la investigación*



*Nota.* En la primera imagen se aprecia al tesista realizando la cosecha del maíz morado y la segunda la totalidad de mazorcas cosechadas en una canasta.

### Figura 48

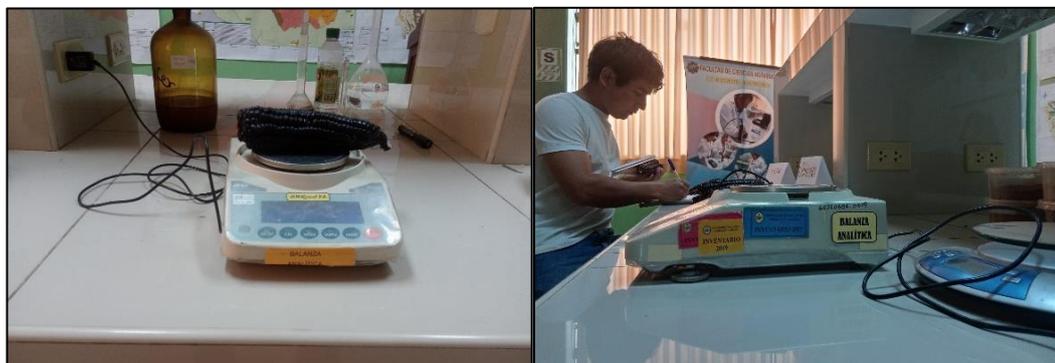
*Evaluación de longitud de la mazorca, diámetro, peso de mazorca y numero de hileras en el laboratorio*



*Nota.* En el laboratorio se procedió a realizar las evaluaciones como longitud, diámetro y numero de hileras.

**Figura 49**

*Evaluación del peso de mazorcas de maíz morado*



*Nota.* Se llevó a cabo la pesada individual de cada mazorca utilizando una balanza analítica granataria. Se aseguró el registro del peso de cada mazorca en todos los lisímetros estudiados. Este procedimiento permitió obtener datos precisos sobre el peso de las mazorcas y proporcionar información relevante para el análisis posterior.

**Tabla 29**

*Evapotranspiración estimada a través de fórmulas empíricas y lisímetro para el período en estudio (noviembre 2021 – marzo 2022)*

| LONGITUD DE MAZORCA (cm) |              |              |              |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Nº                       | LISÍMETRO 01 | LISÍMETRO L2 | LISÍMETRO L3 |
| 1                        | 16.50        | 21.20        | 16.60        |
| 2                        | 19.10        | 17.10        | 15.10        |
| 3                        | 14.00        | 16.30        | 15.30        |
| 4                        | 15.50        | 15.00        | 12.90        |
| 5                        | 17.10        | 13.20        | 16.10        |
| <b>TOTAL</b>             | <b>16.44</b> | <b>16.56</b> | <b>15.20</b> |

*Nota.* Se midió la longitud de cada mazorca utilizando una regla en centímetros.

**Tabla 30***Diámetro de mazorca de maíz morado*

| <b>DIÁMETRO DE MAZORCA (cm)</b> |                     |                     |                     |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>N°</b>                       | <b>LISÍMETRO 01</b> | <b>LISÍMETRO L2</b> | <b>LISÍMETRO L3</b> |
| <b>1</b>                        | 5.30                | 4.30                | 5.00                |
| <b>2</b>                        | 3.30                | 5.20                | 3.90                |
| <b>3</b>                        | 4.80                | 4.90                | 4.20                |
| <b>4</b>                        | 5.20                | 5.00                | 3.80                |
| <b>5</b>                        | 3.40                | 4.00                | 4.60                |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>4.40</b>         | <b>4.68</b>         | <b>4.30</b>         |

*Nota.* Se midió el diámetro de cada mazorca utilizando una regla en centímetros.

**Tabla 31***Numero de hilera por mazorcas de maíz morado*

| <b>NÚMERO DE HILERAS</b> |                     |                     |                     |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>N°</b>                | <b>LISÍMETRO 01</b> | <b>LISÍMETRO L2</b> | <b>LISÍMETRO L3</b> |
| <b>1</b>                 | 10                  | 10                  | 9                   |
| <b>2</b>                 | 10                  | 10                  | 10                  |
| <b>3</b>                 | 10                  | 10                  | 10                  |
| <b>4</b>                 | 10                  | 10                  | 10                  |
| <b>5</b>                 | 10                  | 10                  | 10                  |
| <b>PROMEDIO</b>          | <b>10</b>           | <b>10</b>           | <b>9.8</b>          |

*Nota.* Se midió el número de hileras de cada mazorca utilizando una regla en centímetros.

**Tabla 32***Peso de mazorca por lisímetro de miz morado*

| <b>PESO DE MAZORCA (g)</b> |                     |                     |                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>N°</b>                  | <b>LISÍMETRO 01</b> | <b>LISÍMETRO L2</b> | <b>LISÍMETRO L3</b> |
| <b>1</b>                   | 12.10               | 17.90               | 15.30               |
| <b>2</b>                   | 25.00               | 22.10               | 24.00               |
| <b>3</b>                   | 22.30               | 24.30               | 13.60               |
| <b>4</b>                   | 23.60               | 23.00               | 18.30               |
| <b>5</b>                   | 8.00                | 23.60               | 25.30               |
| <b>PROMEDIO</b>            | <b>18.20</b>        | <b>22.18</b>        | <b>19.30</b>        |

*Nota.* Peso de mazorca de cada lisímetro estudiado.**Tabla 33***Altura de planta de maíz morado*

| <b>ALTURA DE PLANTAS (m)</b> |                     |                     |                     |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>N°</b>                    | <b>LISÍMETRO 01</b> | <b>LISÍMETRO L2</b> | <b>LISÍMETRO L3</b> |
| <b>1</b>                     | 1.82                | 1.96                | 1.86                |
| <b>2</b>                     | 2.20                | 1.84                | 1.68                |
| <b>3</b>                     | 1.80                | 2.01                | 1.83                |
| <b>4</b>                     | 2.20                | 1.97                | 1.90                |
| <b>5</b>                     | 1.85                | 1.67                | 2.17                |
| <b>PROMEDIO</b>              | <b>1.97</b>         | <b>1.89</b>         | <b>1.89</b>         |

*Nota.* Altura de plantas de cada planta por lisímetro estudiado.

**Anexo F:** Cálculos de los métodos indirectos.

**Tabla 34**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Turc para el periodo 2012-2021*

| MES          | Rg     | Ra    | n/N  | K1   | K2 | T° MEDIA | ETo (mm/mes)   | días            | ETo (mm/día) |
|--------------|--------|-------|------|------|----|----------|----------------|-----------------|--------------|
| Enero        | 759.48 | 16.10 | 0.79 | 0.4  | 1  | 21.07    | 189.14         | 31.00           | 6.10         |
| Febrero      | 821.33 | 16.00 | 0.81 | 0.37 | 1  | 21.21    | 188.84         | 28.00           | 6.74         |
| Marzo        | 873.09 | 15.40 | 0.81 | 0.4  | 1  | 20.77    | 214.40         | 31.00           | 6.92         |
| Abril        | 893.85 | 14.10 | 0.77 | 0.4  | 1  | 20.58    | 218.35         | 30.00           | 7.28         |
| Mayo         | 884.67 | 12.71 | 0.70 | 0.4  | 1  | 19.83    | 212.86         | 31.00           | 6.87         |
| Junio        | 872.61 | 11.91 | 0.65 | 0.4  | 1  | 19.05    | 206.47         | 30.00           | 6.88         |
| Julio        | 878.64 | 12.21 | 0.67 | 0.4  | 1  | 18.23    | 203.76         | 31.00           | 6.57         |
| Agosto       | 879.78 | 13.40 | 0.73 | 0.4  | 1  | 19.19    | 208.74         | 31.00           | 6.73         |
| Setiembre    | 872.02 | 14.80 | 0.79 | 0.4  | 1  | 20.21    | 211.67         | 30.00           | 7.06         |
| Octubre      | 830.24 | 15.70 | 0.82 | 0.4  | 1  | 21.25    | 206.40         | 31.00           | 6.66         |
| Noviembre    | 767.45 | 16.00 | 0.80 | 0.4  | 1  | 21.49    | 192.55         | 30.00           | 6.42         |
| Diciembre    | 735.52 | 16.09 | 0.79 | 0.4  | 1  | 21.13    | 183.76         | 31.00           | 5.93         |
| <b>TOTAL</b> |        |       |      |      |    |          | <b>2436.94</b> | <b>PROMEDIO</b> | <b>6.68</b>  |

Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes utilizando el método de Turc. La columna ETo (mm/día) muestra la evapotranspiración diaria promedio para cada mes, y la columna "ETo (mm/mes)" muestra la evapotranspiración mensual total. El promedio anual de la evapotranspiración de referencia es de 6.68 mm/día.

**Tabla 35**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Turc para el periodo de 2021 2022*

| MES          | Rg     | Ra    | n/N  | K1   | K2 | T° MEDIA | ETo (mm/mes)  | días            | ETo (mm/día) |
|--------------|--------|-------|------|------|----|----------|---------------|-----------------|--------------|
| Enero        | 759.48 | 16.10 | 0.79 | 0.4  | 1  | 21.66    | 191.32        | 31              | 6.17         |
| Febrero      | 821.33 | 16.00 | 0.81 | 0.37 | 1  | 20.54    | 186.32        | 28              | 6.65         |
| Marzo        | 873.09 | 15.40 | 0.81 | 0.4  | 1  | 20.84    | 214.70        | 31              | 6.93         |
| Noviembre    | 767.45 | 16.00 | 0.80 | 0.4  | 1  | 21.09    | 191.07        | 30              | 6.37         |
| Diciembre    | 735.52 | 16.09 | 0.79 | 0.4  | 1  | 21.72    | 185.86        | 31              | 6.00         |
| <b>TOTAL</b> |        |       |      |      |    |          | <b>969.27</b> | <b>PROMEDIO</b> | <b>6.42</b>  |

Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes utilizando el método de Turc. La columna "ETo (mm/día)" muestra la evapotranspiración diaria promedio para cada mes, y la columna "ETo (mm/mes)" muestra la evapotranspiración mensual total.

**Tabla 36**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Blaney y Criddle para el periodo 2012-2021*

| MES              | T° media | A     | B    | f    | Velocidad de viento m/s | n/N  | %HR   | P    | ETo (mm/día) | Días | ETo mm/mes |
|------------------|----------|-------|------|------|-------------------------|------|-------|------|--------------|------|------------|
| <b>Enero</b>     | 21.07    | -2.18 | 1.94 | 5.17 | 4.30                    | 0.79 | 68.48 | 0.29 | 7.87         | 31   | 244.08     |
| <b>Febrero</b>   | 21.21    | -2.19 | 1.96 | 5.01 | 4.30                    | 0.81 | 69.35 | 0.28 | 7.64         | 28   | 213.96     |
| <b>Marzo</b>     | 20.77    | -2.19 | 1.94 | 4.95 | 3.90                    | 0.81 | 69.24 | 0.28 | 7.39         | 31   | 229.15     |
| <b>Abril</b>     | 20.58    | -2.15 | 1.94 | 4.75 | 4.60                    | 0.77 | 67.37 | 0.27 | 7.05         | 30   | 211.63     |
| <b>Mayo</b>      | 19.83    | -2.08 | 1.82 | 4.49 | 4.00                    | 0.70 | 66.21 | 0.26 | 6.10         | 31   | 189.11     |
| <b>Junio</b>     | 19.05    | -2.03 | 1.82 | 4.39 | 4.80                    | 0.65 | 61.61 | 0.26 | 5.98         | 30   | 179.26     |
| <b>Julio</b>     | 18.23    | -2.05 | 1.84 | 4.29 | 4.80                    | 0.67 | 62.14 | 0.26 | 5.87         | 31   | 181.88     |
| <b>Agosto</b>    | 19.19    | -2.11 | 1.94 | 4.58 | 5.30                    | 0.73 | 58.35 | 0.27 | 6.78         | 31   | 210.04     |
| <b>Setiembre</b> | 20.21    | -2.17 | 1.97 | 4.70 | 4.80                    | 0.79 | 58.88 | 0.27 | 7.11         | 30   | 213.24     |
| <b>Octubre</b>   | 21.25    | -2.20 | 2.00 | 5.01 | 4.70                    | 0.82 | 62.39 | 0.28 | 7.81         | 31   | 242.25     |
| <b>Noviembre</b> | 21.49    | -2.19 | 1.97 | 5.04 | 4.60                    | 0.80 | 63.82 | 0.28 | 7.77         | 30   | 233.13     |
| <b>Diciembre</b> | 21.13    | -2.17 | 1.96 | 5.18 | 4.60                    | 0.79 | 66.96 | 0.29 | 7.96         | 31   | 246.70     |

**Tabla 37**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Blaney y Criddle para el periodo de 2021 - 2022*

| MES       | T° media | A     | B    | f    | Velocidad de viento m/s | n/N  | %HR   | P    | ETo (mm/día) | Días | ETo mm/mes |
|-----------|----------|-------|------|------|-------------------------|------|-------|------|--------------|------|------------|
| Noviembre | 21.09    | -2.18 | 1.97 | 4.99 | 4.6                     | 0.80 | 68.12 | 0.28 | 7.67         | 30   | 230.05     |
| Diciembre | 21.72    | -2.17 | 1.96 | 5.26 | 4.6                     | 0.79 | 66.40 | 0.29 | 8.11         | 31   | 251.39     |
| Enero     | 21.66    | -2.18 | 1.94 | 5.25 | 4.3                     | 0.79 | 64.79 | 0.29 | 8.03         | 31   | 248.80     |
| Febrero   | 20.54    | -2.19 | 1.96 | 4.92 | 4.3                     | 0.81 | 70.16 | 0.28 | 7.47         | 28   | 209.21     |
| Marzo     | 20.84    | -2.19 | 1.94 | 4.96 | 3.9                     | 0.81 | 70.00 | 0.28 | 7.41         | 31   | 229.70     |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes utilizando el método de Blaney y Criddle.

**Tabla 38**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Thornthwaite temperatura para el periodo 2012-2021*

| MES        | TEMPERATURA MEDIAS DEL AÑO | (j) ÍNDICE TÉRMICO MENSUAL | ETo Teórica | (N)   | $f = \frac{N}{12}$ | Nº DE DÍAS POR MES | (d/30)   | ETo (mm/día) | ETo (mm/mes) |
|------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------|--------------------|--------------------|----------|--------------|--------------|
| Enero      | 21.07                      | 8.83                       | 8.16        | 16.10 | 1.341              | 31                 | 1.03     | 11.31        | 350.54       |
| Febrero    | 21.21                      | 8.92                       | 8.28        | 16.00 | 1.333              | 28                 | 0.93     | 10.30        | 288.41       |
| Marzo      | 20.77                      | 8.64                       | 7.91        | 15.40 | 1.284              | 31                 | 1.03     | 10.49        | 325.04       |
| Abril      | 20.58                      | 8.51                       | 7.74        | 14.10 | 1.175              | 30                 | 1.00     | 9.10         | 273.04       |
| Mayo       | 19.83                      | 8.05                       | 7.14        | 12.71 | 1.059              | 31                 | 1.03     | 7.81         | 242.19       |
| Junio      | 19.05                      | 7.58                       | 6.54        | 11.91 | 0.992              | 30                 | 1.00     | 6.49         | 194.59       |
| Julio      | 18.23                      | 7.09                       | 5.93        | 12.21 | 1.017              | 31                 | 1.03     | 6.23         | 193.25       |
| Agosto     | 19.19                      | 7.66                       | 6.64        | 13.40 | 1.117              | 31                 | 1.03     | 7.67         | 237.70       |
| Septiembre | 20.21                      | 8.28                       | 7.44        | 14.80 | 1.234              | 30                 | 1.00     | 9.18         | 275.33       |
| Octubre    | 21.25                      | 8.94                       | 8.31        | 15.70 | 1.308              | 31                 | 1.03     | 11.24        | 348.39       |
| Noviembre  | 21.49                      | 9.09                       | 8.52        | 16.00 | 1.333              | 30                 | 1.00     | 11.35        | 340.55       |
| Diciembre  | 21.13                      | 8.86                       | 8.21        | 16.09 | 1.341              | 31                 | 1.03     | 11.38        | 352.69       |
|            |                            | (j) ÍNDICE TÉRMICO Anual   | a           |       |                    |                    | PROMEDIO | 9.38         | 285.14       |
|            |                            | 100.45                     | 2.20        |       |                    |                    |          |              |              |

**Tabla 39**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Thornthwaite temperatura para el periodo de 2021-2022*

| MES       | TEMPERATURA MEDIAS DEL AÑO | (i) ÍNDICE TÉRMICO MENSUAL | ETo Teórica | (N)   | $f = \frac{N}{12}$ | Nº DE DÍAS POR MES | (d/30) | ETo (mm/día) | ETo (mm/mes) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------------|--------------|
| Enero     | 21.66                      | 9.21                       | 8.67        | 16.10 | 1.341              | 31                 | 1.03   | 12.02        | 372.59       |
| Febrero   | 20.54                      | 8.49                       | 7.71        | 16.00 | 1.333              | 28                 | 0.93   | 9.60         | 268.75       |
| Marzo     | 20.84                      | 8.68                       | 7.96        | 15.40 | 1.284              | 31                 | 1.03   | 10.56        | 327.45       |
| Noviembre | 21.09                      | 8.84                       | 8.17        | 16.00 | 1.333              | 30                 | 1.00   | 10.89        | 326.82       |
| Diciembre | 21.72                      | 9.24                       | 8.72        | 16.09 | 1.341              | 31                 | 1.03   | 12.09        | 374.80       |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes utilizando el método de Thornthwaite temperatura.

**Tabla 40**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Hargreaves Temperatura para el periodo 2012-2021*

| MES        | %HR    | CH    | CE    | MF        | T°F   | ETo mm/mes | Días mes | ETo mm/día |
|------------|--------|-------|-------|-----------|-------|------------|----------|------------|
| Enero      | 68.48  | 0.932 | 1.038 | 2.4717975 | 69.93 | 167.27     | 31       | 5.40       |
| Febrero    | 69.35  | 0.919 | 1.038 | 2.4717975 | 70.18 | 165.54     | 28       | 5.91       |
| Marzo      | 69.24  | 0.921 | 1.038 | 2.4717975 | 69.39 | 163.96     | 31       | 5.29       |
| Abril      | 67.365 | 0.948 | 1.038 | 2.4717975 | 69.04 | 168.03     | 30       | 5.60       |
| Mayo       | 66.205 | 0.965 | 1.038 | 2.4717975 | 67.69 | 167.67     | 31       | 5.41       |
| Junio      | 61.61  | 1.029 | 1.038 | 2.4717975 | 66.29 | 175.00     | 30       | 5.83       |
| Julio      | 62.14  | 1.021 | 1.038 | 2.4717975 | 64.81 | 169.89     | 31       | 5.48       |
| Agosto     | 58.35  | 1.071 | 1.038 | 2.4717975 | 66.54 | 182.97     | 31       | 5.90       |
| Septiembre | 58.88  | 1.064 | 1.038 | 2.4717975 | 68.37 | 186.79     | 30       | 6.23       |
| Octubre    | 62.385 | 1.018 | 1.038 | 2.4717975 | 70.25 | 183.57     | 31       | 5.92       |
| Noviembre  | 63.82  | 0.998 | 1.038 | 2.4717975 | 70.67 | 181.12     | 30       | 6.04       |
| Diciembre  | 66.955 | 0.954 | 1.038 | 2.4717975 | 70.03 | 171.53     | 31       | 5.53       |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes utilizando el método de Hargreaves temperatura.

**Tabla 41**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Hargreaves temperatura para el periodo de 2021 2022*

| MES       | %HR   | CH    | CE    | MF   | T°F   | ETo mm/mes | Días mes | ETo mm/día |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|------------|----------|------------|
| Noviembre | 68.12 | 0.937 | 1.038 | 2.47 | 69.96 | 168.29     | 30       | 5.61       |
| Diciembre | 66.40 | 0.962 | 1.038 | 2.47 | 71.10 | 175.60     | 31       | 5.66       |
| Enero     | 64.79 | 0.985 | 1.038 | 2.47 | 70.99 | 179.48     | 31       | 5.79       |
| Febrero   | 70.16 | 0.907 | 1.038 | 2.47 | 68.97 | 160.52     | 28       | 5.73       |
| Marzo     | 70.00 | 0.909 | 1.038 | 2.47 | 69.51 | 162.22     | 31       | 5.23       |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada

para cada mes utilizando el método de Hargreaves temperatura.

**Tabla 42**

*Evapotranspiración Referencia (ETo) por el método de Hargreaves radiación para el periodo 2012-2021*

| MES        | Rs    | T Media °C | T° F  | ETo mm/día |
|------------|-------|------------|-------|------------|
| Enero      | 16.10 | 21.07      | 69.93 | 11.05      |
| Febrero    | 16.00 | 21.21      | 70.18 | 11.16      |
| Marzo      | 15.40 | 20.77      | 69.39 | 10.81      |
| Abril      | 14.10 | 20.58      | 69.04 | 10.65      |
| Mayo       | 12.71 | 19.83      | 67.69 | 10.07      |
| Junio      | 11.91 | 19.05      | 66.29 | 9.47       |
| Julio      | 12.21 | 18.23      | 64.81 | 8.86       |
| Agosto     | 13.40 | 19.19      | 66.54 | 9.58       |
| Septiembre | 14.80 | 20.21      | 68.37 | 10.36      |
| Octubre    | 15.70 | 21.25      | 70.25 | 11.20      |
| Noviembre  | 16.00 | 21.49      | 70.67 | 11.39      |
| Diciembre  | 16.09 | 21.13      | 70.03 | 11.10      |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para

cada mes del año, en milímetros por día, utilizando el método de Hargreaves-

Radiación.

**Tabla 43**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Hargreaves radiación para el periodo de 2021 - 2022*

| MES       | Rs    | T Media °C | T° F  | ETo mm/día |
|-----------|-------|------------|-------|------------|
| Noviembre | 16.00 | 21.09      | 69.96 | 11.06      |
| Diciembre | 16.09 | 21.72      | 71.10 | 11.58      |
| Enero     | 16.10 | 21.66      | 70.99 | 11.53      |
| Febrero   | 16.00 | 20.54      | 68.97 | 10.63      |
| Marzo     | 15.40 | 20.84      | 69.51 | 10.86      |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes del periodo de 2021-2022, en milímetros por día, utilizando el método de Hargreaves-Radiación.

**Tabla 44**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Jensen Haise para el periodo 2012-2021*

| MES        | T° MAX | T° min | Rs    | ETo mm/día |
|------------|--------|--------|-------|------------|
| Enero      | 29.1   | 13.04  | 16.10 | 9.77       |
| Febrero    | 28.94  | 13.48  | 16.00 | 9.76       |
| Marzo      | 28.88  | 12.66  | 15.40 | 9.23       |
| Abril      | 29.6   | 11.55  | 14.10 | 8.38       |
| Mayo       | 29.6   | 10.06  | 12.71 | 7.32       |
| Junio      | 29.05  | 9.05   | 11.91 | 6.62       |
| Julio      | 28.45  | 8.00   | 12.21 | 6.54       |
| Agosto     | 29.29  | 9.09   | 13.40 | 7.50       |
| Septiembre | 29.81  | 10.60  | 14.80 | 8.66       |
| Octubre    | 30.16  | 12.34  | 15.70 | 9.60       |
| Noviembre  | 30.18  | 12.79  | 16.00 | 9.87       |
| Diciembre  | 28.88  | 13.38  | 16.09 | 9.79       |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes del periodo de 2012-2021, en milímetros por día, utilizando el método de Jensen-Haise.

**Tabla 45**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de Jensen Haise para el periodo de 2021 - 2022*

| MES       | T° MAX | T° min | Rs    | ETo mm/día |
|-----------|--------|--------|-------|------------|
| Noviembre | 26.47  | 15.70  | 16.00 | 9.71       |
| Diciembre | 27.15  | 16.30  | 16.09 | 10.03      |
| Enero     | 27.46  | 15.86  | 16.10 | 10.00      |
| Febrero   | 25.65  | 15.84  | 16.00 | 9.58       |
| Marzo     | 25.84  | 15.44  | 15.40 | 9.18       |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes del periodo de 2021-2022, en milímetros por día, utilizando el método de Jensen-Haise.

**Tabla 46**

*Evapotranspiración referencia (ETo) por el método de radiación para el periodo 2012-2021*

| MES             | Rs         | a     | b    | w       | n/N   | Ra     | ETo (mm/día) | ETo mm/mes    |
|-----------------|------------|-------|------|---------|-------|--------|--------------|---------------|
| Enero           | 10.4150987 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.794 | 16.095 | 6.62         | 198.52        |
| Febrero         | 10.4988545 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.813 | 15.998 | 6.66         | 206.49        |
| Marzo           | 10.0949387 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.811 | 15.402 | 6.45         | 199.98        |
| Abril           | 8.92861179 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.766 | 14.105 | 5.84         | 163.65        |
| Mayo            | 7.60204853 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.696 | 12.707 | 5.16         | 159.81        |
| Junio           | 6.86665002 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.653 | 11.907 | 4.77         | 147.96        |
| Julio           | 7.13754865 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.669 | 12.207 | 4.91         | 152.33        |
| Agosto          | 8.26069953 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.732 | 13.405 | 5.50         | 170.42        |
| Setiembre       | 9.58303331 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.795 | 14.802 | 6.18         | 191.73        |
| Octubre         | 10.3309417 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.816 | 15.700 | 6.57         | 203.78        |
| Noviembre       | 10.4265043 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.804 | 15.995 | 6.62         | 205.32        |
| Diciembre       | 10.3527882 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.787 | 16.093 | 6.58         | 204.13        |
| <b>PROMEDIO</b> |            |       |      |         |       |        | <b>5.99</b>  | <b>183.68</b> |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes del periodo de 2012-2021.

**Tabla 47**

*Evapotranspiración referencia (ET<sub>o</sub>) por el método de radiación para el periodo de 2021 - 2022*

| MES             | Rs         | a     | b    | w       | n/N        | Ra         | ET <sub>o</sub><br>(mm/día) | ET <sub>o</sub> mm/mes |
|-----------------|------------|-------|------|---------|------------|------------|-----------------------------|------------------------|
| Noviembre       | 10.4265043 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.80370366 | 15.9952059 | 6.62321313                  | 205.32                 |
| Diciembre       | 10.3527882 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.78663533 | 16.0928089 | 6.58489893                  | 204.13                 |
| Enero           | 10.4150987 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.79418645 | 16.0952059 | 6.61728505                  | 198.52                 |
| Febrero         | 10.4988545 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.81255345 | 15.997603  | 6.6608174                   | 206.49                 |
| Marzo           | 10.0949387 | 1.204 | 0.72 | 0.72188 | 0.81082696 | 15.4023971 | 6.45088071                  | 199.98                 |
| <b>PROMEDIO</b> |            |       |      |         |            |            | <b>6.58</b>                 | <b>201.66</b>          |

*Nota.* Estos valores representan la evapotranspiración de referencia estimada para cada mes del periodo de 2021-2022, en milímetros por día y milímetros.