



Lisímetros artesanales para estimar el coeficiente de cultivo del maíz morado (*Zea mays* L.)

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.251>

Handmade lysimeters to estimate the crop coefficient of purple corn (*Zea mays* L.)

*Lisímetros artesanais para estimar o coeficiente de cultivo do milho roxo (*Zea mays* L.)*

Jose Figueroa Ramirez
jf_r_1990@hotmail.com

Abelardo Manrique Diaz Salas
adiasz@unasam.edu.pe

Santos Severino Jacobo Salinas
salinasjacoboh@hotmail.com

Walter Vizcarra Arbizu
waltervizcarraarbizu@gmail.com

Luisa Madolyn Alvarez Benaute
luisa.alvarezb@gmail.com

Dalila Illatopa Espinoza
dalylilatopa@gmail.com

Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Huánuco, Perú

Artículo recibido 21 de noviembre 2023 / Arbitrado 23 de diciembre 2023 / Publicado 20 de enero 2024

RESUMEN

El coeficiente de cultivo es la relación entre la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} y la evapotranspiración de referencia E_{To} usadas para determinar las tasas evapotranspirativas de los cultivos. **Objetivo.** Determinar el coeficiente de cultivo (Kc) para las distintas etapas de crecimiento del maíz morado mediante el uso de lisímetros de drenaje. **Materiales y métodos.** La investigación fue del tipo aplicada y descriptiva, empleando una metodología de diseño longitudinal. La población objeto de análisis consistió en 70 plantas de maíz morado, todas ellas caracterizadas por su uniformidad. Además, la muestra, también homogénea, estuvo compuesta por 12 plantas distribuidas en tres lisímetros, mientras que la muestra para el pasto Ray Grass abarcó un lisímetro siendo las dimensiones de 1.20 metros cuadrados. El tipo de muestreo utilizado fue probabilístico, de muestreo aleatorio simple, garantizando así la representatividad y validez de los resultados. Se midieron las variables de evapotranspiración del maíz morado (E_{Tc}) y del cultivo de referencia (E_{To}) para estimar el coeficiente de cultivo (Kc). **Resultados.** Se estimó el coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc) en las etapas de crecimiento, siendo estas: 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. **Conclusiones.** Los resultados de esta investigación brindan información para los agricultores, proporcionando directrices científicas para la gestión eficiente del riego y la toma de decisiones en la producción del maíz morado en la región.

Palabras clave: Lisímetro; Coeficiente de cultivo; *Zea mays* L.

ABSTRACT

The crop coefficient is the ratio of crop evapotranspiration E_{Tc} to the reference evapotranspiration E_{To} used to determine crop evapotranspiration rates. **Objective.** To determine the crop coefficient (Kc) for different growth stages of purple corn using drainage lysimeters. **Materials and methods.** The research was of the applied and descriptive type, employing a longitudinal design methodology. The population under analysis consisted of 70 purple corn plants, all of them characterized by their uniformity. In addition, the sample, also homogeneous, consisted of 12 plants distributed in three lysimeters, while the sample for Ray Grass covered one lysimeter with dimensions of 1.20 square meters. The type of sampling used was probabilistic, simple random sampling, thus guaranteeing the representativeness and validity of the results. The evapotranspiration variables of purple corn (E_{Tc}) and the reference crop (E_{To}) were measured to estimate the crop coefficient (Kc). **Results.** The crop coefficient of purple corn (Kc) was estimated at the growth stages, being: 0.69 at the initial stage, 1.10 at the development stage, 1.28 at the intermediate stage and 0.99 at the final stage. **Conclusions.** The results of this research provide information for farmers, providing scientific guidelines for efficient irrigation management and decision making in the production of purple corn in the region.

Key words: Lysimeter; Crop coefficient; *Zea mays* L.

RESUMO

O coeficiente de cultura é a razão entre a evapotranspiração da cultura E_{Tc} e a evapotranspiração de referência E_{To} usada para determinar as taxas de evapotranspiração da cultura. **Objetivo.** Determinar o coeficiente de cultura (Kc) para diferentes estágios de crescimento do milho roxo usando lisímetros de drenagem. **Materiais e métodos.** A pesquisa foi aplicada e descritiva, usando uma metodologia de projeto longitudinal. A população analisada foi composta por 70 plantas de milho roxo, todas caracterizadas por sua uniformidade. Além disso, a amostra, também homogênea, foi composta por 12 plantas distribuídas em três lisímetros, enquanto a amostra de capim-braquiária abrangeu um lisímetro com dimensões de 1,20 metro quadrado. O tipo de amostragem utilizado foi probabilístico, amostragem aleatória simples, garantindo assim a representatividade e a validade dos resultados. As variáveis de evapotranspiração do milho roxo (E_{Tc}) e da cultura de referência (E_{To}) foram medidas para estimar o coeficiente de cultura (Kc). **Resultados.** O coeficiente de cultura do milho roxo (Kc) foi estimado nos estágios de crescimento, sendo: 0,69 no estágio inicial, 1,10 no estágio de desenvolvimento, 1,28 no estágio intermediário e 0,99 no estágio final. **Conclusões.** Os resultados desta pesquisa fornecem informações para os agricultores, proporcionando diretrizes científicas para o manejo eficiente da irrigação e a tomada de decisões na produção de milho roxo na região.

Palavras-chave: Lisímetro; Coeficiente de cultura; *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

El coeficiente de cultivo (K_c), permiten a los agricultores y profesionales utilizar el valor resultante de evapotranspiración de cultivo (ET_c) para decidir la frecuencia y el módulo de riego para sus cultivos. Al conocer las necesidades de agua de un cultivo durante cada etapa de crecimiento, los agricultores pueden evitar el riego excesivo (1). Así, mismo la gestión eficiente del riego basada en el coeficiente de cultivo contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la presión sobre los recursos hídricos locales.

Sobre todo, el coeficiente de cultivo (K_c), se determina experimentalmente con la relación ET_c/ET_o para diferentes cultivos, y se utiliza para relacionar ET_c a ET_o de manera que $ET_c = K_c \times ET_o$. Estas varían según la anatomía de las hojas, características de las estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo; ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia bajo las mismas condiciones climáticas. Debido a variaciones en las características del cultivo durante los diferentes periodos de crecimiento, para un determinado cultivo el K_c cambia desde la siembra hasta la madurez. Esta metodología permite liberar la dependencia de los valores de K_c propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, los cuales fueron desarrollados para regiones con condiciones climáticas diferentes, como los Estados Unidos, Asia y Europa alcanzando valores de K_c : 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 (2).

Por lo tanto, el coeficiente de cultivo (K_c) desempeña un papel crucial al estimar la cantidad de agua requerida para el riego, permitiendo el control del nivel de humedad en la zona radicular durante todas las etapas del desarrollo vegetativo del maíz morado. Esto evita los períodos críticos de desarrollo del cultivo, como la floración y el llenado de granos temprano. Por consiguiente, se posibilita la formulación de proyectos de riego, es así que en esta investigación se planteó el objetivo de determinar el coeficiente de cultivo (K_c) para las distintas etapas de crecimiento del maíz morado mediante el uso de lisímetros artesanales. Los lisímetros se definen como dispositivos que contienen un volumen de suelo, aislado hidrológicamente del suelo circundante, en el cual resulta posible controlar y medir los diferentes términos que intervienen en el balance de agua (3) así, mismo son recipientes en los cuales se trata de mantener la uniformidad del ambiente, de tal forma que, al sembrarse alguna especie vegetal para su evaluación, el comportamiento sea igual al de las condiciones naturales (4).

En cuanto al método que se utilizó fue el del lisímetro de drenaje, fue diseñado teniendo en cuenta las características fisiológicas de las plantas de maíz morado y pasto Ray Grass, tales como la profundidad radicular, la distancia entre surcos, distribución de los horizontes del suelo y el área foliar; las dimensiones de los lisímetros fluctuaban de un metro de ancho por un metro veinte de

largo y una profundidad de noventa centímetros. Este método pasa por un proceso de calibración donde se usa los dos tensiómetros uno de 30 centímetros para medir la evapotranspiración del cultivo y la otra de 15 centímetros que mide la evapotranspiración del cultivo de referencia; permitiendo determinar el contenido de humedad gravimétrica del suelo, donde se correlaciona la variable de contenido de humedad (%) y el estrés (cb) que ha experimentado el suelo desde el último riego. Esto permite determinar el momento del riego, capacidad de campo y punto de marchitez midiendo la tensión del agua en el suelo que ejerce con los tensiómetros instalados en la parcela experimental necesarios para medir el balance hídrico.

Por último, para determinar el balance hídrico se debe de considerar las entradas y salidas de agua mediante el sistema de lisímetros. Para medir el ingreso se tuvo en cuenta el riego y las

precipitaciones registradas en la zona de estudio, para las salidas el agua drenada esta se midió en mm/m² en determinados periodos de tiempo según el requerimiento hídrico del maíz morado y el pasto Ray Grass; el periodo para determinar la evapotranspiración se parte desde la siembra hasta la senescencia del maíz morado evaluando las cuatro etapas de crecimiento propuestos por la FAO. Es así teniendo estos datos se procedió a dividir ETC/ET_o para estimar el coeficiente de cultivo (K_c) del maíz morado en las condiciones edafoclimáticas de Cayhuayna, Huánuco, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se ejecutó en el Centro de Investigación Frutícola-Olerícola de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, ubicado en la localidad de Cayhuayna, distrito de Pillco Marca, departamento y provincia de Huánuco, Perú. Como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Vista del lugar de ejecución Google.

La investigación desarrollada fue del tipo aplicada y descriptiva, empleando una metodología de diseño longitudinal. La población objeto de análisis consistió en 70 plantas de maíz morado, todas ellas caracterizadas por su homogeneidad. Además, la muestra, también homogénea, estuvo compuesta por 12 plantas distribuidas en tres lisímetros, mientras que la muestra para el Ray Grass abarcó un lisímetro con una superficie de 1.20 m². El tipo de muestreo utilizado fue probabilístico, específicamente el muestreo aleatorio simple (MAS), garantizando así la representatividad y validez de los resultados obtenidos.

En cuanto a las variables consideradas en este estudio, estas incluyeron la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o). Durante la evaluación, se llevaron a cabo mediciones específicas para cada etapa de crecimiento de las plantas de maíz morado y Ray Grass, utilizando el lisímetro volumétrico de drenaje. El proceso de evaluación se inició el 01 de noviembre de 2021, fecha en la que las plantas emergieron del suelo hasta el 15 de marzo del 2022 cuando esta se cosecho. En relación con la recolección de datos, se registró la precipitación (P) a través de la estación meteorológica de Huánuco, ubicada a 10 metros de la zona de investigación. La unidad de medida utilizada fue en láminas de mm/m².

Además, la variable escorrentía (E) fue excluida del análisis debido a que los lisímetros, elevados

5 centímetros sobre el suelo, fueron concebidos como reservorios. Asimismo, la capilaridad (C) no fue considerada, ya que no se identificaron capas freáticas sub-superficiales en el suelo. En cuanto al riego (R), se llevó a cabo mediante una probeta graduada y una regadera; los datos registrados se expresaron en mililitros/lisímetro. Estos valores fueron convertidos a mm/m² dividiendo el volumen entre el área del lisímetro (1.20 m²). Posteriormente, se registró el drenaje (D) en mililitros por lisímetro, convirtiendo estos datos a mm/m² al dividir el volumen obtenido por el área del lisímetro de acuerdo fórmula siguiente:

$$ET_c, ET_o = (R+P+D) / (\#días)$$

Coeficiente de cultivo (K_c).

La determinación de los coeficientes 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. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$K_c = (ET_c) / (ET_o)$$

Dentro de los equipos utilizados tenemos el lisímetro diseñado según las dimensiones siguientes: 1.20 m de largo y 1.00 m de ancho, lo que resulta en un área total de 1.20 m² como se aprecia en la Figura 2.

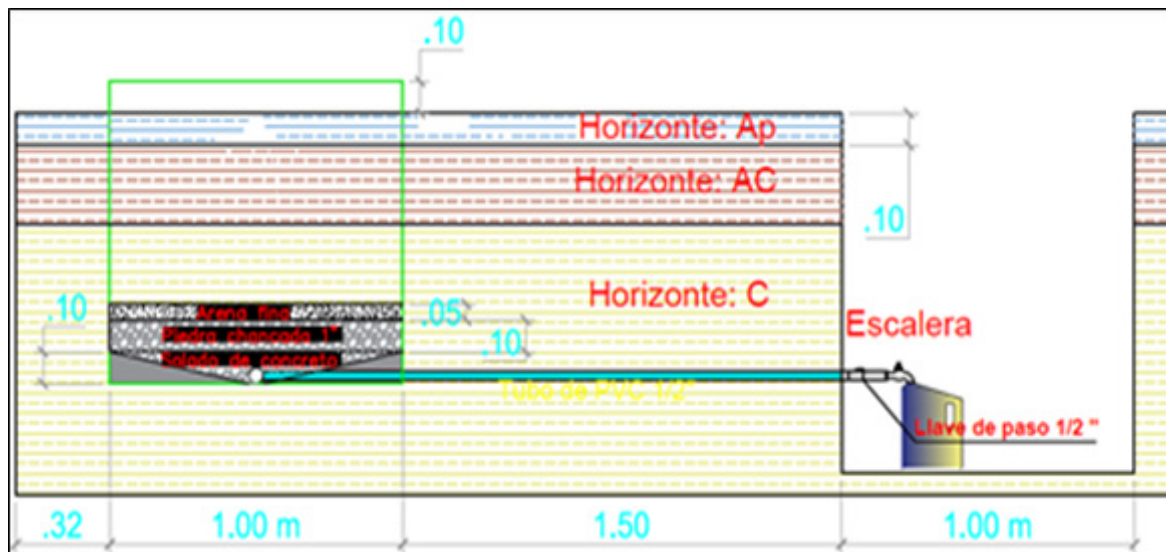


Figura 2. Diseño del lisímetro de drenaje.

El tamaño del lisímetro se determinó teniendo en cuenta las características fisiológicas de las plantas de maíz morado y pasto 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 $1/2$ pulgada, recipiente medidor del nivel de agua percolado, niples de $f = 1/2$ pulgadas, $L = 2.5$ pulgada, cemento portland, arena fina y piedra chancada.

Otro equipo usado, fue el tensiómetro de 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.

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^2 y un perfil de 55 cm. Al sembrar maíz morado a capacidad de campo ($CC = 16\%$).

Para monitorear el contenido de agua en el suelo, se utilizó un tensiómetro de 30 cm que registró la capacidad de campo a una tensión de 15.97 cbar ($CC = 16\%$). De manera similar, para el pasto Ray Grass, 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 una tensión de 10 cbar.



Figura 3. Vista de los lisímetros instalados en el campo de investigación.

Procedimiento para determinar 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%).

Se acondicionaron los dos 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 ocho evaluaciones a intervalos de seis horas. A continuación, se detallan las características físicas iniciales del suelo en el área de estudio:

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/cm³

Profundidad radicular. 55 cm

Densidad Real (Dr) = 2.50 g/cm³

Lámina de riego para saturar el suelo franco arenoso

Los lisímetros tuvieron una superficie de 1.20 m² y presentaron el perfil con 3 horizontes, la lámina para saturarlos se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$H_{sat} = \left(\frac{E - E_{pw} - D_a}{100\%} \right) * Prof$$

Siendo la lámina de saturación un estadio que ocurre durante breve lapso de tiempo (5) antes de la siembra, se determina teniendo en cuenta las siguientes propiedades físicas del suelo:

Donde:

- Hsat.: lamina de saturación (cm)
- E: Porosidad (%)
- Pw: Humedad actual del suelo (%)
- Da: Densidad aparente (g/cm³)
- Dr: Densidad real (g/cm³)
- Prof.: Profundidad del suelo que se quiere saturar (cm)

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

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

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

Lamina de riego inicial

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

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

Lámina de riego durante la evaluación de la ETo y ETC

Las lecturas del tensiómetro siguieron a cada riego del lisímetro, anotando la disminución permisible de la humedad del suelo donde n = 0.50 para maíz morado (1) a valores entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo. Para que el suelo retenga la capacidad del campo, se controla con un tensiómetro instalado al efecto, en este caso, cuando la marca de tensión es de 27 centibares.

Lectura del tensiómetro para los riegos

La tensión del descenso tolerable de humedad del suelo es p = 50 % para el maíz morado y Ray Grass p=40% (1) es la siguiente:

Descenso tolerable de humedad maíz morado

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

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

Pw= 12% descenso tolerable para el maíz morado

Ray Grass

$$Pw = 16\% - 0.40 \times (16\% - 8\%) \text{ Ray Grass}$$

Pw= 12.8% descenso tolerable

Para un descenso de humedad de p = 50 %, el tensiómetro de 30 cm registro una tensión de 27 centibares para el maíz morado. Por lo tanto, el riego se realizó cada vez que los tensiómetros marcaban 27 cb y para el pasto Ray Grass el tensiómetro utilizado fue el de 15 cm donde el riego se realizó cuando esta marcaba 25 cb.

Para el cálculo de la humedad, se procedió a obtener el peso del suelo húmedo (gr) y el peso del suelo seco (gr) por el método de la estufa a 105° C por un periodo de 24 horas. Así, mismo se utilizó la siguiente ecuación para determinar las humedades gravimétricas del suelo a la profundidad de 15 y 30 centímetros:

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

Donde:

θ (%): Contenido de Humedad Gravimétrico del Suelo

PSH (gr): Peso del Suelo Húmedo

PSS (gr): Peso del Suelo Seco

Para determinar la humedad gravimétrica a profundidades de 15 cm y 30 cm se realizó el muestreo del suelo y simultáneamente se registró la lectura del tensiómetro. Estos datos son importantes para evaluar los cambios en la retención de humedad del suelo para determinar la tensión de humedad en relación a la capacidad

de campo y el punto de marchitez permanente. 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. También permite analizar cómo el suelo retiene y libera la humedad, y entender el impacto del riego en el contenido de humedad del suelo.

En la Tabla 1, indica el día y las horas que se realizó el muestreo para determinar la humedad gravimétrica del suelo a una profundidad de 30 cm la cual fue usada para los lisímetros que acogieron las plantas de maíz morado.

Tabla 1. Cálculo de humedades gravimétricas edáfica a profundidad de 30 cm.

Fecha/Hora	Tensión (cb)	Suelo Húmedo (gr)	Suelo Seco (gr)	Humedades del suelo (%)
12/10/2021 - 7:00 am	0.00		Saturación	
12/10/2021 - 12:00 pm	5	47.50	42.00	18.42
12/09/2021 - 6:00 pm	9	38.90	35.30	16.21
13/10/2021 - 7:00 am	30	23.30	22.00	11.17
13/10/2021 - 12:00 pm	14	35.00	32.40	14.05
13/10/2021 - 6:00 pm	20	25.10	23.80	13.41
13/10/2021 - 7:00 am	25	35.20	32.90	11.91
14/10/2021 - 12:00 pm	37	38.40	36.00	10.52

En la Figura 4, 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 Organización mundial internacional para la agricultura y la alimentación, el descenso

tolerable de humedad para el maíz morado, con un punto de marchitez del 50% es igual $p = 50\%$ (1), 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.

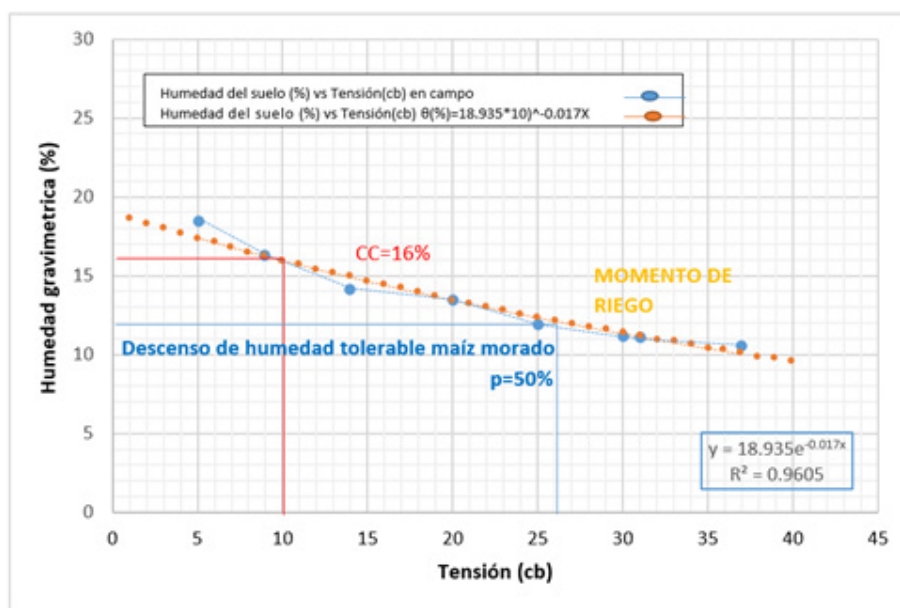


Figura 4. Curva de retención de la humedad del suelo a profundidad de 30 cm.

La Tabla 2, muestra los valores de humedad gravimétrica del suelo a una profundidad de 30 cm correspondientes a diferentes centibares (cb) alcanzadas por el tensiómetro. 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. Así, mismo se indica que el valor de 15.97% corresponde a la capacidad de campo (CC) del suelo.

Tabla 2. Cálculo de humedades gravimétricas edáfica a profundidad de 30 cm.

Tensión cb	Humedad Grav. (%)	Tensión cb	Humedad Grav. (%)	Tensión cb	Humedad Gravi. (%)
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	17.10	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

En la Tabla 3, 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 fue usada para el lisímetro donde se instaló

las plantas de Ray Grass. El suelo húmedo esta expresado en gramos tan igual que el suelo seco en la estufa.

Tabla 3. Humedades gravimétricas edáfica a profundidad de 15 cm.

Fecha/Hora	Tensión (cb)	Peso Suelo Húmedo (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Humedades del suelo (%)
12/10/2021 - 7:00 am	0	-----Suelo-----		
12/10/2021 - 12:00 pm	5	47.00	39.89	16.82
12/09/2021 - 6:00 pm	9	37.70	32.56	15.74
13/10/2021 - 7:00 am	30	22.50	19.56	12.89
13/10/2021 - 12:00 pm	14	33.80	29.66	13.86
13/10/2021 - 6:00 pm	20	26.20	23.02	13.70
13/10/2021 - 7:00 am	25	40.80	36.20	12.80
14/10/2021 - 12:00 pm	37	38.10	34.00	11.98

En la Figura 5, indica para un tensiómetro instalado a 15 cm de profundidad a una capacidad de campo de CC = 16% el tensiómetro registra una tensión de 10.00 cb y un contenido de humedad en el suelo del 15.38%. Se determina que para el

Ray Grass 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.

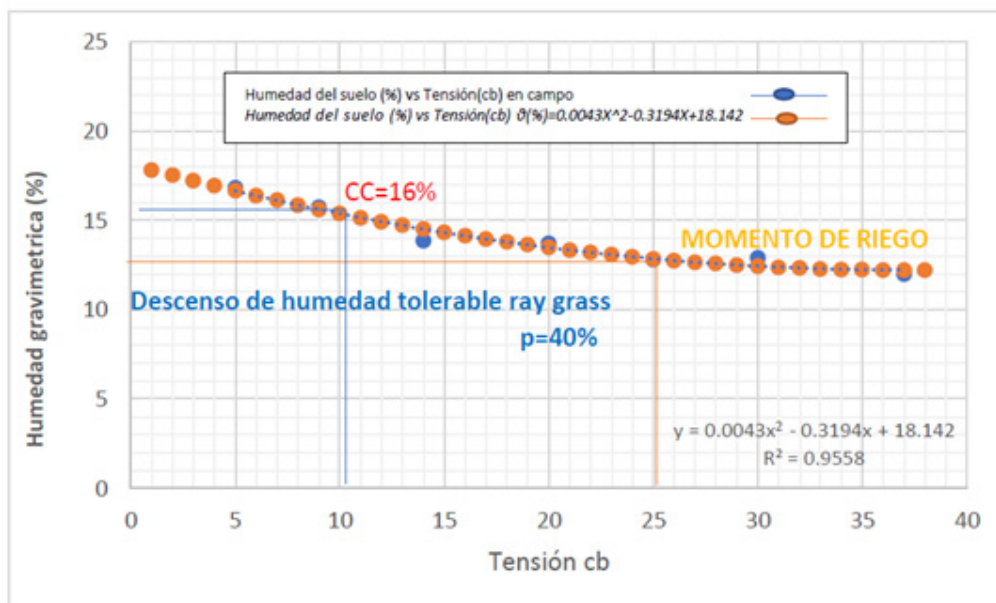


Figura 5. Fluctuación de la retención de humedad edáfica a la profundidad de 15 cm.

En la Tabla 4, muestra los valores de humedad gravimétrica del suelo a una profundidad de 30 cm correspondientes a diferentes centibares (cb) alcanzadas por el tensiómetro. Además, se indica que a una tensión de 25 cb, la humedad gravimétrica alcanza el valor de 12.84% (p=50%),

que es el límite máximo permitido para el riego sin que el cultivo experimente estrés hídrico. Así, mismo se indica que el valor de 15.38% corresponde a la capacidad de campo (CC) del suelo.

Tabla 4. 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	25	12.84 p=40%
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
10	15.38 CC	20	13.47	30	12.43

Datos meteorológicos

Una vez instalado el experimento, se comenzó a recopilar de forma simultánea los datos meteorológicos diarios de precipitación, humedad relativa (%), temperatura máxima y mínima, utilizando la estación meteorológica del SENAMHI Huánuco. Estas permitieron corregir el balance hídrico del experimento para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el de referencia (ETo).

RESULTADOS

La evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), los resultados registrados según etapas de crecimiento fueron: Inicial 43.86 mm,

desarrollo 247.41 mm, mediados 210.71 mm y final 178.47 mm. En síntesis, la etapa inicial del experimento tuvo una duración de 19 días, la de 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.

La evapotranspiración de referencia (ETo), los resultados se estimaron de acuerdo a las etapas de crecimiento del maíz morado en milímetros (mm) 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. 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.

El coeficiente de cultivo (Kc) del maíz morado, se estimó mediante la relación que existe entre ETC/ETO, 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 como se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5. Registro del coeficiente de cultivo del maíz morado (Kc) por cada etapa de crecimiento.

Etapas de crecimiento	Días	ETc promedio (mm/día)	ETo promedio (mm/día)	KC promedio
Inicial	19	43.86	63.46	0.69
Desarrollo	60	247.41	222.70	1.10
Mediados	31	210.71	162.92	1.28
Final	43	178.47	180.63	0.99

En la Figura 6, se aprecia la curva del coeficiente de cultivo del maíz morado, para las cuatro etapas de crecimiento: Inicial, desarrollo,

mediados y finales durante todo el periodo vegetativo alcanzado en 140 días desde la cosecha hasta la siembra.

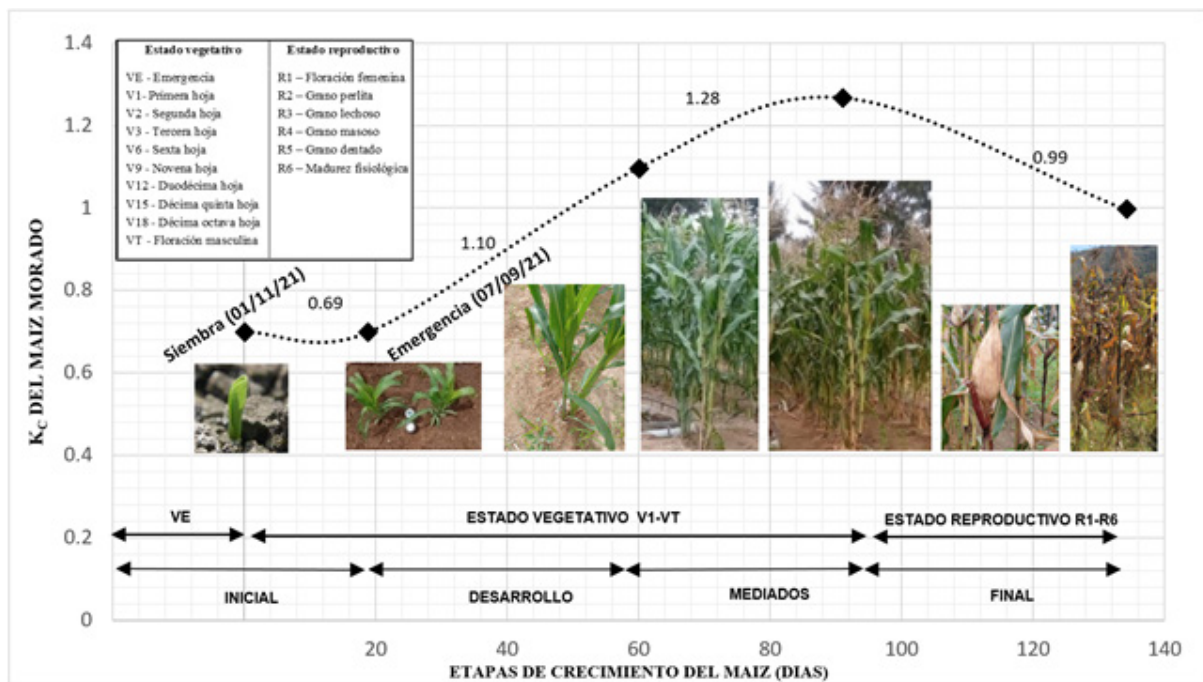


Figura 6. Curva del coeficiente de cultivo del maíz morado.

DISCUSIÓN

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo de maíz morado en las diferentes etapas de crecimiento fueron: inicial 43.86 mm; desarrollo 247.4 mm; en la etapa intermedia 210.71 mm y, finalmente, final se observó 178.47 mm. Los resultados difieren de los obtenidos en los estudios realizados por Yanangómez (6) y Oñate (7). El primero en la etapa inicial obtuvo 40.5 mm, desarrollo 81.6 mm, intermedia 122.4 mm y final 118.8 mm. 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 (7) 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, desarrollo 169.34 mm, intermedia 114.41 mm y final 198.28 mm, con un total de 431.65 mm durante todo el ciclo de crecimiento (7). Estas diferencias se deben a las características fisiológicas del cultivo de maíz amiláceo y a las condiciones climáticas de la localidad de estudio en Ecuador.

La evapotranspiración de referencia (E_{To}), medida mediante el método del lisímetro durante las etapas de crecimiento, fue: inicial se registró 63.46 mm, desarrollo 222.70 mm, intermedia 162.92 mm y 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. Los resultados difieren con los

de Tarazona Santos (8), quien utilizó el método de Turc para estimar la evapotranspiración de referencia en el mismo periodo de tiempo, donde obtuvo: 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 E_{To} (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 (8), 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.

El coeficiente de cultivo (K_c) del maíz morado para las condiciones de Cayhuayna durante las etapas de crecimiento fue: inicial 0.69, desarrollo 1.10, intermedia 1.28 y final 0.99. Estos difieren de los reportados por Allen et al (1), Yanangómez (6) y Oñate (7). 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 (1). 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 (6). 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 (7). 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 Allen et al. (1) se realizó para climas áridos, específicamente en la Universidad del Estado de Utah, mientras que los dos últimos se llevaron a cabo en Ecuador.

CONCLUSIONES

La localidad de Cayhuayna presenta un clima templado-cálido, teniendo como temperatura media anual más baja registrada de 18 °C, mientras que la temperatura media anual más alta alcanza los 24 °C esta variable climática interviene en el movimiento de la humedad circundante del cultivo a mayor temperatura la humedad relativa será menor; esto debido a que la energía térmica incrementando la temperatura del agua presente en el aire acelerando su vaporización, lo que eleva las tasas evapotranspirativas. Otra variable climática que interviene es la precipitación esta fluctúa entre 250-500 mm esta variable interviene suministrando agua al cultivo de forma natural afectando el balance hídrico. Por último, la clase textural del suelo, interviene en la retención de agua debido a su composición y la estructura que determinan su capacidad de retención de agua, afectando las propiedades de evapotranspiración. El suelo donde se realizó el experimento fue de clase textural franco arenoso cuya capacidad de retención de agua es menor elevando las tasas

de evapotranspiración en comparación a suelos arcillosos y limosos cuyas tasas evapotranspirativas son menores. Estos parámetros influyeron en la tasa de evapotranspiración del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) y el del cultivo de referencia para la localidad de Cayhuayna-Huánuco, Perú. Los resultados alcanzados fueron de Kc: 0.69 (inicial), 1.10 (desarrollo), 1.28 (mediados) y 0.99 (final) (9).

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia: Fiatpanis. 2006. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
2. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Coeficiente de cultivo. España, Madrid. 2020. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Coeficientes%20de%20cultivo_tcm30-82952.pdf
3. Padilla J. Coeficiente de cultivo para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño. 2006. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2483>
4. Angulo S, Bautista A, Manzano J, Pascual-Seva N. Evaluación de modelos agroclimáticos de cálculo de evapotranspiración para jardinería. 2019. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/98676>
5. Universidad Nacional de la Plata. Relaciones agua, suelo y planta atmosférica. 2014. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/80725/mod_resource/content/1/Presentaci%C3%B3n%20RASP.pdf

6. Yanangómez L. Estudio sobre el cultivo de maíz morado. 2018. Revista de Agricultura Sostenible. 2018;25(2):59-70. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21176>
7. Oñate J. Cultivo de maíz amiláceo blanco en el Cantón de Ecuador. 2016. Revista de Agricultura Tropical. 2016;42(3):40-50. https://www.cytcd.org/sites/default/files/art_ecuador.pdf
8. Tarazona Y. Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), mediante el método del lisímetro. 2017. Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1938/T033_42275682_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
9. SENAMHI. Mapa de Zonas de Vida del Perú. Lima. 1998. <http://catalogo.geoidep.gob.pe:8080/metadata/srv/api/records/8266683e-dc79-413e-bbd2-aca640b1f1e8>