



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TÍTULO

Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) en la parroquia Malacatos sector “San José”

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola.

AUTOR:

Luis Vicente Yanangómez Agila

DIRECTOR:

Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

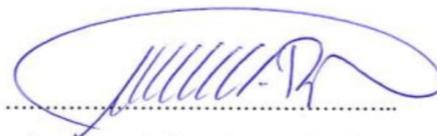
Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.

**DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERIDAD NACIONAL DE LOJA**

CERTIFICA:

En la calidad de director de la tesis titulada, **EVALUACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ MORADO (Zea mays l.) EN LA PARROQUIA MALACATOS SECTOR “SAN JOSÉ”** de la autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, **Luis Vicente Yanangómez Agila**, ha concluido dentro del cronograma establecido y autorizo se continúe con el trámite de graduación.

Loja, 15 del agosto 2018



Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En la calidad de tribunal de la tesis titulada, **EVALUACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ MORADO (*Zea Mays L.*) EN LA PARROQUIA MALACATOS SECTOR “SAN JOSÉ”**, de la autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, **Luis Vicente Yanangómez Agila**, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión de la tesis.

Loja, 04 de septiembre 2018

Ing. Walter Rodrigo Téne Ríos Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Guido Miguel Álvarez Cabrera Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, **Luis Vicente Yanangómez Agila**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresadamente a la Universidad Nacional De Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional De Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

Autor: Luis Vicente Yanangómez Agila

Firma:.....

Cedula: 1727367482

Fecha: 04/09/2018

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **Luis Vicente Yanangómez Agila**, declaro ser autor de la tesis titulada **“EVALUACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L.) EN LA PARROQUIA MALACATOS SECTOR “SAN JOSÉ”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La universidad nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de septiembre de dos mil dieciocho firma el autor.

Firma: 

Autor: Luis Vicente Yanangómez Agila

Número de cedula: 1727367482

Dirección: Condominio Río Blanco/ Barrio el paraíso

Correo electrónico: yanangomezluis@gmail.com

Celular: 0988204649

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Marco reinoso Acaro Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Walter Rodrigo Téne Ríos Mg. Sc.

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.

Ing. Guido Miguel Álvarez Cabrera Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios ya que gracias a su amor y misericordia me encuentro hoy aquí, gracias a él he conocido a personas maravillosas que han transformado mi vida a lo largo del camino que he tomado y me ha permitido ser una persona de bien.

A mis padres y hermanos (as) por el apoyo incondicional en todo momento de mi vida por sus consejos sus valores por la motivación y sus sabios consejos que me ayudan a levantarme en el momento que me quedo sin fuerza para seguir adelante y triunfar ante las adversidades que nos pone la vida.

A toda mi familia en general por ejemplo de constancia y perseverancia que me han inculcado siempre por el valor y esfuerzo que muestran para salir adelante día a día y por su amor ilimitado.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Marco Reinoso por su apoyo y confianza, por su capacidad infable para guiarme no sólo en el desarrollo de la tesis sino también en mi formación como profesional.

Quiero expresar también mis más sinceros agradecimientos a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agrícola por brindarme sus conocimientos éticos y morales para mi desarrollo tanto personal como profesional.

-Luis Yanangómez

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi Dios Todopoderoso por estar conmigo siempre y en cada momento apoyándome en cada situación de mi vida, por darme la oportunidad de ser valiente y perseverante, constante y sabio al momento de tomar decisiones.

A mis padres, Luis y Zoila, gracias a su amor, consejos, valores, apoyo que me han inculcado me han permitido culminar satisfactoriamente mi carrera Universitaria.

A mis hermanos(as), Carmen, Hilda, Nancy, Fanny, Miriam, Tania y José por apoyarme siempre y en cada momento que los necesitaba.

Y a toda mi familia en general, amigos, vecinos, ya que la familia no siempre es de sangre la familia son aquellas personas en tu vida que te aceptan en la suya, son aquellos que te aceptan como quién eres y te corrigen cuando estás mal, aquellos que harían cualquier cosa por verte sonreír y aquellos que te aman sin importar nada por todo ello.

-Luis Yanangómez

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS _____	i
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO _____	ii
AUTORÍA _____	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS _____	iv
AGRADECIMIENTO _____	v
DEDICATORIA _____	vi
ÍNDICE DE TABLAS _____	x
ÍNDICE DE FÍGURAS _____	xi
ÍNDICE DE ANEXOS _____	xii
TÍTULO _____	xiv
RESUMEN _____	xv
ABSTRACT _____	xvi
1. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1. Objetivo general _____	2
1.2. Objetivos específicos _____	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA _____	4
2.1. Requerimientos hídricos de los cultivos _____	4
2.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc) _____	4
2.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) _____	6
2.4. Métodos para determinar la evapotranspiración del cultivo, ETc. _____	6

2.4.1.	Métodos directos _____	6
2.4.2.	Métodos indirectos o empíricos _____	7
2.5.	Ecuación de Penman-Monteith _____	8
2.6.	Cropwat 8.0 _____	8
2.7.	Coeficiente de cultivo (Kc) _____	9
2.8.	Requerimiento de riego de los cultivos _____	9
2.9.	Estación meteorológica _____	10
2.9.1.	Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 _____	11
2.10.	Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo _____	11
2.11.	Cultivo de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) _____	12
2.11.1.	Taxonomía _____	12
2.11.2.	Variedades de maíz morado mejoradas _____	13
2.11.3.	Maíz morado en Ecuador _____	14
2.11.4.	Exigencias climáticas _____	14
2.11.5.	Exigencias edafológicas _____	14
2.11.6.	Labores culturales _____	15
2.11.7.	Plagas y Enfermedades _____	19
2.12.	Cosecha _____	20
2.13.	Almacenamiento _____	21
2.14.	Industrialización y usos _____	21
2.15.	Exportaciones del maíz morado _____	22
3.	MATERIALES Y MÉTODOS _____	23

3.1.	Descripción del lugar de estudio _____	23
3.2.	Materiales. _____	24
3.2.1.	Materiales de campo _____	24
3.2.2.	Materiales de oficina _____	25
3.3.	Metodología _____	25
3.3.1.	Elección del sitio de estudio _____	25
3.3.2.	Construcción de una bomba manual. _____	25
3.3.3.	Rehabilitación de los lisímetros _____	26
3.3.4.	Labores de campo _____	27
3.3.5.	Tabulación de los datos meteorológicos. _____	29
3.3.6.	Metodología para el primer objetivo _____	30
3.3.7.	Metodología para en segundo objetivo _____	31
3.3.7.1.	Requerimiento de riego _____	32
3.3.8.	Metodología para el tercer objetivo _____	33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	34
4.1.	Resultados para el primer objetivo _____	34
4.2.	Resultados para el segundo objetivo _____	35
4.2.1.	Requerimiento de riego _____	38
4.3.	Resultados para el tercer objetivo _____	39
5.	CONCLUSIONES _____	42
6.	RECOMENDACIONES _____	43
7.	BIBLIOGRAFIA _____	44
8.	ANEXOS _____	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constantes hidro-físicas del suelo.....	11
Tabla 2. Análisis químico del suelo.....	12
Tabla 3. Clasificación taxonómica del maíz morado.....	13
Tabla 4. Control fitosanitario.....	29
Tabla 5. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o) para cada fase fenológica del maíz morado.....	34
Tabla 6. Evapotranspiración del cultivo (ET _c) para cada fase fenológica del maíz morado..	35
Tabla 7. Consumo de agua para cada fase fenológica del maíz morado	36
Tabla 8. Coeficiente del cultivo del maíz morado para cada fase fenológica.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del lugar de estudio	24
Figura 2 Esquema de área de investigación. Escala 1:40	25
Figura 3. Eliminación del suelo saturado.....	26
Figura 4. Colocación de piedra y grava	27
Figura 5. Curva de evapotranspiración del cultivo (ETc) de maíz morado	36
Figura 6. Curva de coeficiente del cultivo del maíz morado	40
Figura 7. Curva de coeficiente del cultivo mensual.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de diámetro, longitud, y peso del maíz morado para el lisímetro norte.....	50
Anexo 2. Datos de diámetro, longitud, y peso del maíz morado para el lisímetro sur.....	50
Anexo 3. Valores de Kc mensuales para el periodo vegetativo del maíz morado.....	50
Anexo 4. Rendimiento total (mazorca+grano) y rendimiento en grano de maíz morado.	51
Anexo 5. Características agronómicas del maíz morado (Zea mays l.).....	51
Anexo 6. Fases fenológicas del maíz morado	51
Anexo 7. Información de los registros de campo, precipitación diaria y precipitación efectiva diaria calculada.	52
Anexo 8. Evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y Kc calculada para el ciclo del cultivo de maíz morado.....	53
Anexo 9. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de marzo.....	54
Anexo 10. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de abril.	55
Anexo 11. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de mayo.....	56
Anexo 12. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de junio.	57

Anexo 13. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de julio.	58
Anexo 14. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase inicial.....	59
Anexo 15. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase de desarrollo.....	59
Anexo 16. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase intermedia.....	60
Anexo 17. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase final.	61
Anexo 18. Lisímetro volumétrico.....	62
Anexo 19. Fotos del desarrollo de la investigación.....	62

**Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de
maíz morado (*Zea mays l.*) en la parroquia
Malacatos sector “San José”**

RESUMEN

Este estudio está orientado a generar aportes significativos para los pequeños y medianos productores del sector de San José, sobre la conservación y optimización del agua, a través de la determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz morado (*Zea mays l.*), con la finalidad de mejorar la eficiencia del uso de agua.

El área de estudio fue de 32 m² ubicado dentro de una superficie que los agricultores utilizan para la producción de sus cultivos, el cultivo que se implanto fue el maíz morado a una densidad de siembra de 50 cm entre plantas y 70 cm entre hileras.

Las fases fenológicas para el periodo de 124 días fueron: fase inicial de 20 días, fase de desarrollo 41 días, fase intermedia de 38 días y fase final de 25 días.

Con respecto a la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) se obtuvo un valor promedio de 3.82 mm/día, y la evapotranspiración del cultivo (ET_c) estimada fue de 3.19 mm/día durante todo el ciclo del cultivo.

Se obtuvo valores de coeficiente del cultivo (K_c) para cada fase del cultivo, siendo para la fase inicial un valor de 0.55, la fase de desarrollo 0.92, la fase intermedia 1.10 y la fase final del cultivo un valor de 0.83.

El requerimiento total de agua fue de 363.30 mm, con un rendimiento total (tusa+grano) de 8.6 tn/ha, y un rendimiento en grano de 6.77 tn/ha, la relación consumo de agua y rendimiento permite concluir que se necesita 536.24 litros de agua para obtener un kilogramo de maíz morado.

Palabras Clave: Evapotranspiración, Coeficiente De Cultivo, Requerimiento Hídrico, Rendimiento.

ABSTRACT

This study is aimed at generating significant contributions for small and medium producers in the San José neighborhood, about water conservation and optimization. Through the determination of the water needs of purple corn cultivation (*Zea mays* l.), in order to improve the efficiency of water use.

The study area was 32 m² located within a surface that farmers use to produce their crops. Likewise, the crop that was implanted was purple corn, at a planting density of 50 cm between plants and 70 cm between rows.

The phenological phases for the period of 124 days were: initial phase of 20 days, development phase 41 days, intermediate phase of 38 days and final phase of 25 days.

According to the evapotranspiration of the reference culture (ET_o), an average value of 3.82 mm / day was obtained, and the estimated crop evapotranspiration (ET_c) was 3.19 mm / day throughout the crop cycle.

On the other hand, crop coefficient values (K_c) were obtained for each phase of the crop. Thus, for the initial phase a value of 0.55, the development phase 0.92, the intermediate phase 1.10 and the final phase of the crop a value of 0.83.

The total water requirement was 363.30 mm, with a total yield of 8.6 tn / ha, and a grain yield of 6.77 tn / ha. The relationship between water consumption and yield, allows to conclude that 536.24 liters of water are needed to obtain one kilogram of purple corn.

Keywords: Evapotranspiration, Crop Coefficient, Water Requirement, Yield.

1. INTRODUCCIÓN

En la agricultura cualquier iniciativa por promover un uso eficiente del agua debe estar basado en estimaciones precisas de la evapotranspiración, la cual puede ser definida como la combinación de dos procesos separados que ocurren de manera simultánea en la naturaleza; en este proceso, el agua se pierde a través de la superficie del suelo de dos maneras: por evaporación y mediante transpiración del cultivo (Allen et al., 2006).

El maíz constituye uno de los productos más importantes en la dieta alimentaria nacional y de mayor solvencia en la cultura productiva de la población rural del Ecuador, actualmente se ha reconocido 29 razas de maíz criollo por lo que se constituye en uno de los países con mayor diversidad de maíz por unidad de superficie (Yáñez et al., 2010).

El maíz morado es un cultivo originario del Perú y otros países andinos como Ecuador y parte de Mesoamérica que generalmente se cultiva desde los 2600 y 3000 msnm, siendo único en el mundo por su color morado característico (INIA, 2006).

En el Ecuador el maíz morado se cultiva en las zonas maiceras de la sierra ecuatoriana, esta variedad de maíz ha sido usada por la población andina para dar color a los alimentos y bebidas algo que el mundo industrializado recién está explotando (Yáñez et al., 2010).

Debido a la constitución altamente acuosa de los frutos se hace indispensable dotar al cultivo de maíz de humedad suficiente y oportuna para así obtener una alta producción que permita a los agricultores mejorar sus ingresos económicos, debido a la gran acogida que tiene el maíz morado en la industria alimentaria para la elaboración de refrescos, postres y la tradicional colada morada; como también en la industria farmacéutica para la

elaboración de tintes y medicamentos debido al gran contenido de antioxidantes que posee esta variedad de maíz (Yáñez et al., 2010).

Identificar los requerimientos hídricos de los cultivos ha sido una de las preocupaciones de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional De Loja, que a través del proyecto denominado “Los sistemas de información geográficos aplicados a la optimización del uso del agua en el sistema de riego Campana-Malacatos”, estudió las necesidades hídricas de cultivos propios del sector y en segundo plano se están estudiando cultivos provenientes de otras zonas.

Por lo que surge la necesidad de introducir este cultivo a las características edafológicas y climáticas del sector San José, con la finalidad de generar información valiosa sobre los requerimientos hídricos del maíz morado mediante el método del lisímetro volumétrico.

La presente investigación servirá de aporte importante para los pequeños y medianos productores de la comunidad, sobre la conservación y optimización del agua que permita mejorar la utilización de este recurso a través de una información certera y veraz, para que sirva de apoyo a los agricultores de la comunidad al mejorar sus rendimientos productivos mediante la aplicación óptima de agua para el desarrollo de la planta.

Para dicha finalidad se han planteado los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

- ✓ Contribuir en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz morado, con el propósito de mejorar la eficiencia del uso del agua, en el sector San José de la parroquia Malacatos.

1.2. Objetivos específicos

- ✓ Calcular la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) a través del método de Penman-Monteith.
- ✓ Determinar la Evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ET_c), en sus diferentes fases fenológicas utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.
- ✓ Determinar el coeficiente de cultivo (K_c) considerando la ET_o calculada con el método de Penman-Monteith. y la ET_c, calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Requerimientos hídricos de los cultivos

Los requerimientos hídricos de los cultivos representan la cantidad de agua en términos de volumen o lamina que se debe retribuir para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo y eficiencia del sistema de riego (Allen et al., 2006).

La evapotranspiración del cultivo, calculada por medio de las fórmulas correspondientes, parte del cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, mismo que es modificado a través de un coeficiente de cultivo K_c , que depende del cultivo y de la fase fenológica en la que se encuentre; mientras que la eficiencia del sistema de riego depende del método de riego: gravedad o presurizado (Fernández et al., 2012).

2.2. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) es el conjunto de la evaporación desde el suelo y evaporación desde el cultivo o transpiración, la cual es necesaria para comprender mejor y desarrollar una programación precisa de riego (Ding et al., 2013).

Una estimación precisa de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es de gran importancia para el manejo adecuado del agua (Gao et al., 2014), por lo tanto, es necesario contar con un modelo preciso y fácil de usar para establecer adecuadas láminas de riego (Zhang et al., 2013).

La evapotranspiración se define como el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, esto también incluye la evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo o de los vegetales vivos o muertos, (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), esta pérdida en las plantas es

particularmente por las hojas. Este último proceso llamado transpiración (Damario, 1948).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos, a parte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo (Allen et al., 2006).

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo, en las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (Allen et al., 2006).

La evapotranspiración es un proceso natural del conjunto sobre la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración del cultivo a través de la captación de agua en la raíz (Garg et al., 2015).

Además, un papel fundamental en la investigación agrícola y forestal, ciclo hidrológico, planificación del riego, y la gestión de los recursos hídricos (Valipour, 2014).

Conocer el concepto de evapotranspiración es base fundamental para el cálculo de las necesidades de riego, y de gran importancia para un uso sustentable del agua (Soria et al., 2013).

Según Allen et al. (2006), la evapotranspiración se ve afectada por factores climáticos tales como: radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

La ETc, se calcula a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo, modificado este por el valor del coeficiente de cultivo Kc; mientras que de manera directa se calcula mediante el uso de lisímetros (Basso et al., 2016).

2.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La evapotranspiración de referencia (ETo) es la cantidad de agua, expresada en milímetros, que sería evaporada al aire durante un período especificado, de la superficie de un cultivo testigo hipotético (pasto o alfalfa), cuando cubre totalmente el suelo y tiene una altura entre 20 a 30 centímetros, con un suministro abundante de agua, esto depende del ingreso de energía para satisfacer el calor latente de la evaporación (Corley, 2009).

Es una variable importante para los estudios hidrológicos, las estimaciones de las necesidades de agua de cultivo, zonificación climática y la gestión de los recursos hídricos (Ramírez et al., 2011).

También es el dato de partida para el diseño de los sistemas de riego y con dicho valor se determina la ETc y con el método de riego se calcula el caudal de diseño que permite definir el equipo más económico que asegure el crecimiento potencial de los cultivos, para su determinación se procede experimentalmente mediante el balance del agua del suelo en lisímetros; y, mediante el uso de fórmulas empíricas (García, 2015).

2.4. Métodos para determinar la evapotranspiración del cultivo, ETc.

Los métodos pueden clasificarse en *métodos directos* e *indirectos*.

2.4.1. Métodos directos

Peña, (1987) señala que los métodos directos proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando aparatos e instrumentos para su determinación.

- **Lisímetros**

Se conoce como lisímetro a un recipiente cerrado lateralmente con perforación en la parte inferior para drenar, en el cual se desarrolla el cultivo de estudio y se controla la variación del recurso hídrico con respecto al tiempo mediante un balance de agua (Bucio et al, 2012).

Un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con cubierta vegetal, ubicado en campo para representar condiciones naturales, se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo al desnudo, en estudios experimentales se recomienda hacer lisímetros caseros poniendo en un recipiente suelo mineral y orgánico donde se coloca las plantas para su desarrollo, conformado en su parte inferior una capa solida (piedra) que permita que las sales junto con el agua drenen (Rodr, 2010).

- **Medidas de la evaporación del suelo**

Utiliza micro lisímetros que son pequeños cilindros que son llenados en forma monolítica. La diferencia de peso diario determina la tasa de evaporación (González, 2017).

- **Otro método es utilizando imágenes infrarrojas de satélite**

Es difícil si no se las tiene disponible. Los métodos regionales se utilizan con fines hidrológicos o para predicción de rendimiento de cultivos (González, 2017).

2.4.2. Métodos indirectos o empíricos

Según Peña, (1987), las fórmulas empíricas, obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta, los métodos más comunes son:

1. Thornthwaite
2. Turc
3. Blaney y Criadle
4. Racional utilizando la curva de Hansen
5. Grassi y Christensen
6. Tanque evaporímetro tipo A
7. Penman-Monteith

2.5. Ecuación de Penman-Monteith

La fórmula de Penman-Monteith es ampliamente recomendada como el método estándar para estimar la evapotranspiración de referencia con validez mundial en los diferentes tipos de clima, por proveer resultados más consistentes para el uso real del agua por los cultivos y ha sido comprobada por organismos especializados, incluyendo la Organización Meteorológica Mundial, con excepción de la fórmula de Hargreaves, las otras metodologías no son recomendadas actualmente para determinar la evapotranspiración de referencia (González, 2017).

2.6. Cropwat 8.0

CROPWAT es un software libre de la FAO que usa la fórmula de Penman-Monteith, para el cálculo de evapotranspiración del cultivo de referencia, coeficiente de cultivo, evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y programación de riego (González, 1997).

Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p),

temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento (González, 1997).

2.7. Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) desempeña un papel esencial en diversas prácticas agrícolas y ha sido ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración del cultivo en la programación de la irrigación (Shirbeny et al., 2014).

El Kc, cumple la función de transformar la evapotranspiración del cultivo de referencia a evapotranspiración de cualquier cultivo en estudio, considerando la fase fenológica del mismo (Basso et al., 2016).

El Kc está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de Kc, que describe cuatro fases fenológicas: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada (FAO, 2006).

Fase inicial: Va desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo (FAO, 2006).

Fase de desarrollo: Empieza cuando termina la etapa anterior y va hasta el crecimiento activo de la planta (FAO, 2006).

Fase intermedia: Va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo, y la fase final va desde la madurez hasta la cosecha (FAO, 2006).

2.8. Requerimiento de riego de los cultivos

El manejo eficiente del agua de riego requiere una programación precisa, para lograr esto se requiere el cálculo del requerimiento de agua del cultivo. El riego es la aplicación de agua al suelo en la zona de la raíz de un cultivo hasta capacidad de campo.

La eficiencia del uso del agua está impulsada por tres factores; la cantidad específica de agua aplicada, el momento de la aplicación y la eficiencia del método de riego. La programación del riego tiene como objetivo la maximización del rendimiento, la alta eficiencia del riego y la mejora de la calidad de los cultivos mediante la adición de la cantidad adecuada de agua al cultivo para que la humedad del suelo alcance el nivel deseado (Aguirre, 2015).

El uso consuntivo del agua de riego se define como el volumen de agua necesario para compensar el déficit entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva durante la época de crecimiento del cultivo, por un lado, y, los cambios en el contenido de humedad del suelo por otro, esto varía considerablemente con las condiciones climáticas, cultivos y el tipo de suelo (Montero, 1989)

Para el cálculo de las necesidades hídricas de riego se aplica la siguiente expresión:

$$RR = (ETc - Pef)$$

Donde:

RR = Requerimientos de riego (mm/mes)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Pef = Precipitación efectiva (mm/mes)

2.9. Estación meteorológica

Sirve para realizar mediciones y observaciones puntuales de los diferentes meteoros, utilizando instrumentos adecuados para así poder establecer el tiempo climático (BIOWEB, 2010).

2.9.1. Estación meteorológica Davis Vantage Pro2

La estación meteorológica Davis Vantage Pro2 es una estación automática con transmisión inalámbrica y sensores para radiación solar y UV que ofrece amplios beneficios de medición, durabilidad, versatilidad y precisión de los meteoros naturales (BIOWEB, 2010).

La humedad y temperatura se mide con sensores que están protegidos de la radiación solar y otras fuentes de calor irradiado o reflejado, la estación trae incluido un software llamado WeatherLink que sirve para la descarga, comunicación y visualización de datos (BIOWEB, 2010).

2.10. Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo

El análisis físico-químico del suelo realizado por Jaramillo (2017), en el estudio de requerimientos hídricos del cultivo de pimiento en el sector San José de la parroquia Malacatos obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1. *Constantes hidro-físicas del suelo*

Análisis mecánico %TFSA			Textura	pH	Da	CC 1/3	P	MP	M.O
Ao	Lo	Ac							
28.5	33.5	38	FoAc	7.5	1.45	24.6	44.23	12	1.23

Fuente: (Jaramillo, 2017)

Los porcentajes de arena (Ao), limo (Lo) y arcilla (Ac), clasifica al suelo del lugar de estudio como una textura Franco arcillosa (FoAc), con una densidad aparente de 1.45 g/cm³ una porosidad total de 44.23 % , lo que significa que el suelo ideal para el desarrollo de las raíces de los cultivos; el pH fue de 7.5 considerado como neutro, lo que significa que es adecuado para la siembra. La Capacidad de Campo a una tensión de 1/3 de atmosfera fue de 24.6 % de humedad en base a peso; la tensión a Punto de Marchitez Permanente dio como resultado un 12 % de contenido de humedad; y, el contenido de materia orgánica de 1.23 % indica un suelo con una baja fertilidad (Jaramillo, 2017).

Dentro del análisis químico del suelo a una profundidad de 20 cm se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. *Análisis químico del suelo.*

Cod. Campo	N	P₂O₅	K₂O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
San José 0-20cm	28.3	5.82	76.88	7.92	2.63	19.97	2.18	0.7

Fuente: (Jaramillo, 2017)

Los resultados muestran que es un suelo con bajo contenido de Nitrógeno, P₂O₅, y K₂O por lo cual fue necesario realizar un plan de fertilización de los principales elementos químicos (N, P, K), que necesita la planta para garantizar la obtención de un buen rendimiento (Jaramillo, 2017).

2.11. Cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*)

El maíz morado crece primordialmente en los Andes del Perú y otros países de latino américa como Ecuador, Bolivia, y México, a unos tres mil metros sobre el nivel del mar y su intenso color morado le da una particularidad sobre las otras clases de maíz (INIA, 2007).

Manrique (1997), manifiesta que las variedades de maíz morado provienen de la raza "Kculli", que aún es cultivada en el Perú, esta raza se cruzó con otras razas transfiriendo sus colores apareciendo otras razas existentes de maíz.

Se conoce un gran número de variedades de maíz morado que se diferencian por la forma y tamaño de las mazorcas, por el número de líneas por mazorca y por el color del pericarpio de los granos (Condori, 2006).

2.11.1. Taxonomía

Con respecto a la ubicación taxonómica del maíz en general, se describe de la siguiente forma:

Tabla 3. *Clasificación taxonómica del maíz morado*

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Tribu	Andropogoneae
Especie	<i>Zea</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i>
Nombre comun	Maíz Morado

Fuente: (INIA, 2007)

2.11.2. Variedades de maíz morado mejoradas

PMV - 581: Variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, obtenida a través de la variedad Morado de Caraz, adaptada a la costa y sierra baja, con resistencia a roya. Su periodo vegetativo es intermedio, con mazorcas medianas de 15 a 20 cm, alargadas con alto contenido de pigmento y un potencial de rendimiento de 6 tn/ha (Manrique, 1997).

PMV - 582: Variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, adaptada a la sierra alta. Las plantas son de tamaño intermedio, mazorcas medianas, con alto contenido de antocianinas y un potencial de rendimiento de 4 tn/ha (Manrique, 1997).

INIA- 615 Negro Canaán: Variedad mejorada por el INIA, producto del trabajo de mejoramiento por selección recurrente de medios hermanos a partir de 36 colecciones de cultivares de la raza Kulli realizados durante nueve ciclos. Los progenitores femeninos

fueron las variedades locales Negro Kully y Morado y los progenitores masculinos un compuesto balanceado de tres variedades (Negro, Kully y Morado) (INIA, 2007).

2.11.3. Maíz morado en Ecuador

En el Ecuador el maíz morado se cultiva en las zonas maiceras de la sierra ecuatoriana, y se usa como alimento desde hace milenios esta variedad de maíz ha sido usada por la población andina para dar color a los alimentos y bebidas, algo que el mundo industrializado recién está explotando (Yáñez et al, 2010).

El Instituto nacional de investigaciones agropecuarias (INIAP), realizó el lanzamiento de una nueva variedad de maíz morado INIAP-199 “Racimo de uva”, la mazorca de esta variedad de maíz es parecido al racimo de uva de ahí proviene su nombre, se adapta a las zonas altas del país en altitudes que van desde los 2,400 a 3,000 msnm de altura y presenta un rendimiento de 2 a 4 tn/ha (INIAP, 2016).

2.11.4. Exigencias climáticas

Según Manrique (1997), el maíz morado se adapta a las condiciones de sierra media que comprende las laderas, valles y mesetas localizadas entre los 1,800 a 2,800 msnm, con temperaturas medias anuales de 12 °C a 20 °C y con una precipitación media anual de 500 a 1,000 mm.

Yáñez et al. (2010), establece que en la sierra ecuatoriana el maíz morado se adapta en altitudes de 2,600 a 3,000 msnm principalmente en las provincias de Imbabura Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo, con una temperatura media de 12 °C, además de luz solar durante todo el ciclo del cultivo.

2.11.5. Exigencias edafológicas

Manrique (1997), señala que el maíz morado requiere de suelos franco-arcillosos con buena capacidad para el soporte de la humedad, es adaptable a diversos climas de la

costa y sierra, que se ubiquen a lo largo de la cordillera de los andes entre los 1,200 y 3,000 msnm.

Las condiciones óptimas para la producción del maíz morado son los suelos profundos con textura franco a franco-arcilloso que retienen humedad (Risco, 2007).

2.11.6. Labores culturales

- **Preparación de Terreno**

Una eficiente preparación del terreno favorece la germinación y el enraizamiento del maíz morado (Risco, 2007).

Según Catalán (2012), la aradura del terreno es necesaria porque permite suavizar el terreno, airear, incorporar materia orgánica, controlar insectos en hibernación, exponer estructuras de hongos y bacterias (enfermedades) que se encuentran al interior del suelo.

- **Siembra**

El momento de la siembra va determinado por las condiciones climáticas del año y el ciclo de la variedad, para favorecer la germinación y emergencia uniforme del maíz morado, la siembra se debe realizar en suelo adecuadamente preparado y con humedad suficiente a una profundidad uniforme no mayor a 10 cm (INIA, 2007).

- **Época de siembra**

Según Sevilla y Valdez (1985), el maíz se puede sembrar durante todo el año, las épocas más adecuadas son de abril a agosto (siembra de invierno) y de noviembre a febrero (siembra de verano) y en la costa peruana la mejor época para la siembra del maíz morado es en el invierno en los meses de mayo a junio.

Yáñez et al. (2010), afirma que, en la sierra sur del Ecuador, en zonas sobre los 2,200 msnm, la siembra se inicia con el periodo de las lluvias desde septiembre a diciembre y en zonas bajo riego se puede sembrar todo el año.

- **Densidad de siembra**

La siembra de maíz morado se realiza en surcos distanciados a 70 cm entre ellos, usando de dos a tres semillas por golpe con una distancia de 40 a 50 cm entre golpes, mayores fertilización y manejo del cultivo, pero se corre el riesgo de obtener muchas plantas improductivas y mazorcas más pequeñas con menor tamaño de grano, afectando la calidad y precio del producto (Risco, 2007).

- **Fertilización**

Se recomienda un abonado de suelo rico en fósforo (P) y Potasio (K) con cantidades de 0.3 Kg de P en 100 Kg de abonado. También un aporte de nitrógeno (N) en mayor cantidad sobre todo en época de crecimiento vegetativo (Leche y Candy, 2011).

El abonado se efectúa normalmente según las características de la zona de plantación, por lo que no se sigue un abonado riguroso en todas las zonas por igual, es importante realizar un abonado ajustándose a las necesidades presentadas por la planta de una forma controlada e inteligente (Leche y Candy, 2011).

Nitrógeno (N): La cantidad de nitrógeno a aplicar depende de las necesidades de producción que se deseen alcanzar, así como el tipo de textura del suelo. La cantidad aplicada va desde 20 a 30 Kg de N por hectárea (García, 2013).

Un déficit de N puede afectar a la calidad del cultivo, los síntomas se ven más reflejados en aquellos órganos fotosintéticos, las hojas que aparecen con coloraciones

amarillentas sobre los ápices y se van extendiendo a lo largo de todo el nervio, las mazorcas aparecen sin granos en las puntas (Leche y Candy, 2011).

Fósforo (P): Sus dosis dependen igualmente del tipo de suelo presente ya sea rojo, amarillo o suelos negros. El fósforo da vigor a las raíces y su déficit afecta a la fecundación y el grano no se desarrolla bien (Leche y Candy, 2011).

Potasio (K): Debe aplicarse en una cantidad superior a 80-100 ppm en caso de suelos arenosos y para suelos arcillosos las dosis son más elevadas de 135-160 ppm. La deficiencia de potasio hace a la planta muy sensible a ataques de hongos y su porte es débil, ya que la raíz se ve muy afectada y las mazorcas no granan en las puntas (Leche y Candy, 2011).

Otros elementos: boro (B), magnesio (Mg), azufre (S), Molibdeno (Mo) y cinc (Zn). Son nutrientes que pueden aparecer en forma deficiente o en exceso en la planta, las carencias del boro aparecen muy marcadas en las mazorcas con inexistencia de granos en algunas partes de ella (García, 2013).

- **Riego**

Olarte (1987), sostiene que la práctica del riego consiste en aprovechar la capacidad retentiva del suelo para almacenar el agua en la zona radicular y sustituir el agua evapotranspirada por las plantas aplicado en condiciones de campo por un agricultor con mayor o menor dominio del agua.

El riego en el cultivo del maíz morado se realiza cada 10 a 12 días según el clima y tipo de suelo para ello es necesario priorizar los riegos durante la floración y panojamiento (INIA, 2007).

Necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo, el maíz es muy sensible también al anegamiento o encharcamiento, es decir, a los suelos saturados y sobresaturados (Hurtado, 2004). Desde la siembra hasta aproximadamente los 15-20 días, el anegamiento por más de 24 horas puede dañar el cultivo (especialmente si las temperaturas son altas) porque el meristemo está debajo de la superficie del suelo en esos momentos (Deras, 2012).

- **Aporque**

Se realiza dos aporques oportunos: El primero cuando las plantas tengan alrededor de 30 cm de altura y el segundo cuando las plantas alcancen alturas entre 40 y 50 cm, con la finalidad de darle un buen anclaje a las plantas, lograr una mejor aireación de las raíces y eliminación de malezas (Catalán, 2012).

El aporque es importante porque permite incorporar la segunda fertilización del nitrógeno, eliminar malezas, oxigenar el suelo, controlar plagas y lo más importante dar soporte a las plantas para evitar el tumbado provocado por el viento y el propio peso de la planta del maíz (Catalán, 2012).

- **Control de malezas**

El cultivo debe mantenerse libre de malezas, especialmente durante los primeros 45 días, los deshierbes deben ser oportunos para evitar pérdidas por competencia (INIA, 2007).

El efecto más perjudicial se produce en los primeros 35 días que siguen a la emergencia del maíz, las malezas que crecen después del aporque no perjudican el rendimiento, pero su peligro se da por ser hospederas de insectos picadores chupadores que transmiten "virus" (Catalán, 2012).

2.11.7. Plagas y Enfermedades

- **Plagas**

Gusano de alambre (*Agriotes spp*). Son coleópteros que viven en el suelo aparecen en suelos arenosos y ricos en materia orgánica, las hembras realizan puestas de 100 a 250 huevos de color blanquecino y forma esférica, las larvas de los gusanos de alambre son de color dorado y los daños que realizan son al alimentarse de todas las partes vegetales y subterráneas de las plantas jóvenes, ocasionan grave deterioro en la planta e incluso la muerte (Leche y Candy, 2011).

Gusanos grises. Son larvas de lepidópteros pertenecientes al género *Agrotis*. La especie más común es *Agrotis ipsilon*, las larvas son de diferentes colores negro, gris y pasando por los colores verde grisáceo y son de forma cilíndrica (Leche y Candy, 2011).

Pulgones. El pulgón más dañino del maíz es *Rhopalosiphum padi*, ya que se alimenta de la savia provocando una disminución del rendimiento final del cultivo y el pulgón verde del maíz *Rhopalosiphum maidis* es transmisor de virus, atacando principalmente al maíz dulce, esta última especie tampoco ocasiona graves daños debido al rápido crecimiento del maíz (Leche y Candy, 2011).

- **Enfermedades**

Bacteriosis (*Xanthomonas stewartii*). Ataca al maíz dulce. Los síntomas se manifiestan en las hojas que van desde el verde claro al amarillo pálido, en tallos de plantas jóvenes aparece como una mancha que ocasiona gran deformación en su centro y decoloración, si la enfermedad se intensifica se puede llegar a producir un bajo crecimiento de la planta (Leche y Candy, 2011).

Pseudomona (*Pseudomonas alboprecipitans*). Se manifiesta como manchas de color blanco con tonos rojizos en las hojas y podredumbre del tallo (Leche y Candy, 2011).

Tizón (*Helminthosporium turcicum*). Afecta a las hojas inferiores del maíz. Las manchas son grandes de 3 a 15 cm y la hoja va tornándose de verde a parda, sus ataques son más intensos en temperaturas de 18 a 25 °C, las hojas caen si el ataque es muy marcado (Leche y Candy, 2011).

Antracnosis (*Colletotrichum graminocolum*). Son manchas color marrón-rojizo y se localizan en las hojas, producen arrugamiento del limbo y destrucción de la hoja, como método de lucha está el empleo de la técnica de rotación de cultivos y la siembra de variedades resistentes (Leche y Candy, 2011).

Roya (*Puccinia sorghi*). Son pústulas de color marrón que aparecen en el envés y haz de las hojas, llegan a romper la epidermis y contienen unos órganos fructíferos llamados teleosporas (Leche y Candy, 2011).

Carbón del maíz (*Ustilago maydis*). Son agallas en las hojas, mazorcas y tallos. Esta enfermedad se desarrolla a una temperatura de 25 a 33 °C el control se realiza con funguicidas (Leche y Candy, 2011).

2.12. Cosecha

Esta práctica consiste en la recolección de las mazorcas, arrancándolas de la planta y separando de su envoltura o "panca", el maíz se puede cosechar cuando el grano tiene una humedad de 30 % aproximadamente (Sevilla y Valdez, 1985).

La cosecha se realiza cuando las plantas muestren más de 70 por ciento de hojas secas, mejor aún si llega al 100 % (Catalán, 2012).

La época de cosecha varía de acuerdo con la variedad, temperatura y altitud. Se puede realizar en choclo y en seco (Yáñez et al., 2016).

- **En choclo**

Para conocer el momento de cosecha del choclo se puede abrir un poco las hojas que cubren la mazorca y se comprueba el grado de desarrollo de los granos el mismo que se presenta de color morado y de espectro lechoso; también, se puede guiar por el color del pelo del choclo y se afirma que cuando los estigmas pasan de púrpura claro a púrpura oscuro el maíz está listo para cosecharlo (Yáñez et al., 2016).

- **En Seco**

El maíz morado es colocado en eras o tendales para su secado natural por efecto de la radiación solar y el viento. Este es un sistema lento y variable en su duración, ya que depende de las condiciones del medio ambiente. Termina cuando el grano tiene alrededor de 12 a 13 % de humedad (Yáñez et al., 2016).

2.13. Almacenamiento

El grano debe ser almacenado con una humedad inferior al 13 %, en lugares frescos a 10-12 °C y una humedad relativa inferior al 60 %, libre de roedores e insectos. En silos cerrados se puede usar pastillas de fosfamina con una dosis de seis pastillas de 3 gramos por tonelada de semilla, siguiendo las instrucciones de uso del producto químico, por ser tóxico (INIAP, 2011).

2.14. Industrialización y usos

Se utiliza para la preparación de mazamorra, mermelada, yogurt o la bebida denominada chicha morada, eventualmente se elabora harina que se utiliza para hacer risotto, pastas de maíz morado o incluso tamales (INIAP, 2011).

2.15. Exportaciones del maíz morado

El Maíz morado se exporta a EE.UU. y Europa, principalmente para su uso como colorante natural en la industria de alimentos y bebidas (Yáñez et al., 2016).

Si bien el maíz morado se exporta principalmente a Estados Unidos, es un producto que podría ser aprovechado aún más; pues, estudios científicos han demostrado que ayuda a combatir el cáncer de colon, por lo que es requerido por países como Japón, su segundo destino (Agronegocios, 2014).

A nivel de subproductos, el principal producto es la tusa, insumo que es utilizado en las industrias de colorantes naturales, alimentos y en el sector farmacéutico, por su alto contenido de antocianina (Agronegocios, 2014).

Agrodataperu, (2018), establece que en 2017 Perú exportó 869,453 kilogramos de maíz morado por 1,249.206 millones de dólares, siendo Estados Unidos el principal comprador con 762,000 \$, y en segundo plano se encuentra España con 182,000 \$, Ecuador 134,000 \$, Japón con 127,206 \$ y Chile con 44,000 \$.

Ecuador a pesar de tener las condiciones climáticas y edafológicas óptimas para cultivar esta variedad de maíz, en el 2017 ha importado 134 mil dólares en maíz morado de Perú, debido a la baja productividad por parte de los agricultores ecuatorianos en lo que concierne al maíz morado ya que se han limitado en cultivar variedades de maíz blanco y amarillo duro solamente para el consumo humano y animal (Yáñez et al., 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del lugar de estudio

El proyecto se encuentra ubicado en el sector San José perteneciente a la parroquia Malacatos a 30 Km de la ciudad de Loja, forma parte del sistema de riego Campana - Malacatos situado al norte de la parroquia Malacatos y al suroriente de la ciudad de Loja, cuenta con una longitud de infraestructura de 38.62 Km (13.62 Km de canal principal y 25 Km de canales secundarios) y un área regable de 745.79 hectáreas perteneciente a 1,008 beneficiarios.

El sistema de riego Campana–Malacatos se ubica en tres pisos altitudinales, donde el piso bajo y medio presentan un clima Subtropical - seco con una temperatura media anual de 18 °C y el piso alto con un clima sub templado con una temperatura media anual de 14 °C (Ureña, 2017).

La precipitación media anual oscila entre los 850 y 1,500 mm; en la zona baja la mayor pluviosidad corresponde a los meses de diciembre a abril; y, en la zona alta la pluviosidad es uniforme a lo largo de todo el año (Ureña, 2017).

La zona de estudio donde se realizó la investigación abarca los sectores de, El Sauce, Belén, El Carmen, La Granja, Piedra Grande, San Francisco y Palenque, y está ubicada en las siguientes coordenadas UTM:

Coordenada Norte: 9535315.5 m

Coordenada Este: 694926.3 m

Altitud: 1,653.73 m.s.n.m.

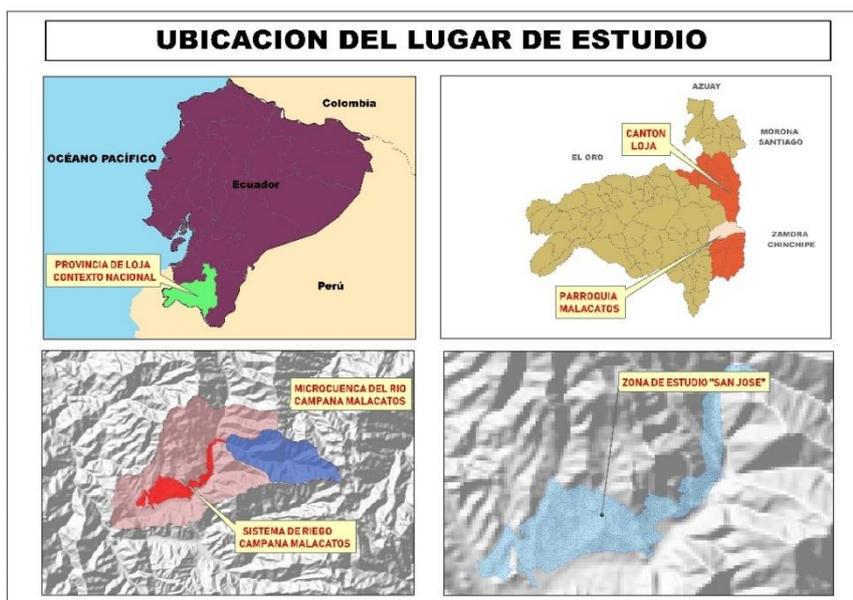


Figura 1. Ubicación del lugar de estudio

3.2. Materiales.

3.2.1. Materiales de campo

- Lisímetro volumétrico
- Recipientes de 20 litros
- Jarra plástica graduada 1 litro
- Bomba de succión manual
- Estación meteorológica Davis Vantage Pro2
- Semilla
- Fertilizantes
- Insecticidas y fungicidas
- Equipo de fumigación
- Herramientas de labranza
- Libreta de campo

3.2.2. Materiales de oficina

- Computador
- Software Cropwat 8.0
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Flexómetro

3.3. Metodología

3.3.1. Elección del sitio de estudio

El estudio se lo realizó en la parroquia Malacatos, concretamente en el sector San José, dentro de un área que utilizan los agricultores para la producción de sus cultivos.

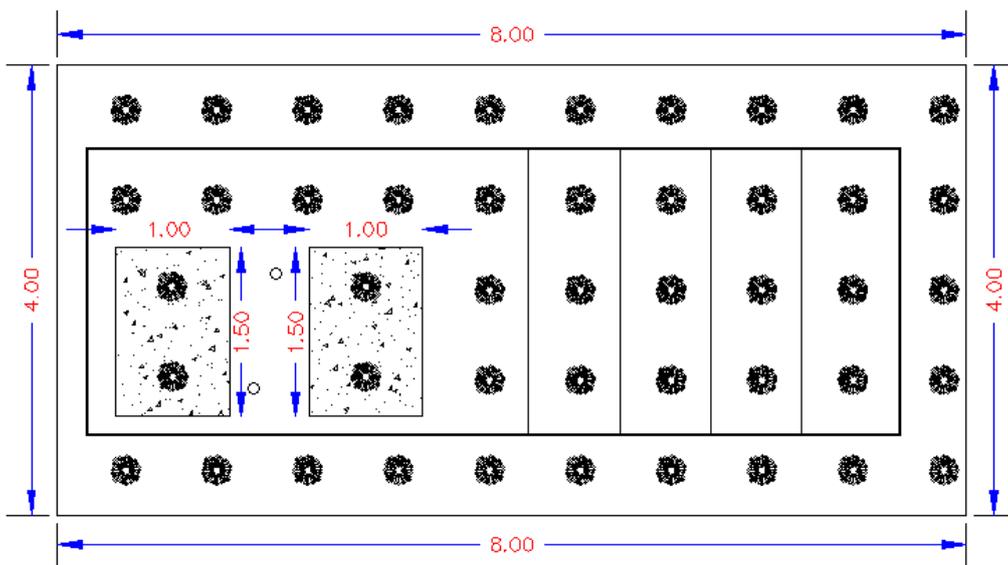


Figura 2 Esquema de área de investigación. Escala 1:40

3.3.2. Construcción de una bomba manual.

Para extraer el agua drenada en el lisímetro se requiere la utilización de una bomba. Para lo cual se construyó una bomba manual, que genera una presión negativa en la tubería de succión, por la que asciende el agua empujada por la presión atmosférica.

La bomba de succión manual consta de una manguera de succión y una manguera de expulsión, dos válvulas check y un embolo, que permite con facilidad extraer el agua del tanque de drenaje que se encuentra a una profundidad de 1.40 m.

3.3.3. Rehabilitación de los lisímetros

Se procedió a verificar que los lisímetros instalados dentro del área de investigación estén en perfecto funcionamiento. Se pudo observar que uno de los lisímetros por alguna razón estaba completamente saturado, en razón de que no existía flujo del agua hacia el tanque de drenaje, por lo que se decidió restaurar el lisímetro para ponerlo en funcionamiento.



Figura 3. Eliminación del suelo saturado

Se extrajo el suelo saturado, y se observó, que esta se producía porque la sección del drenaje del lisímetro que consiste de piedra y grava se encontraba taponada. Se lavó la piedra y la grava para ser reutilizada, con la finalidad que permitan que el agua infiltre fácilmente hacia el tanque de drenaje o tanque recolector. Luego se colocó suelo nuevo proveniente del mismo lugar de estudio.



Figura 4. Colocación de piedra y grava

Una vez de comprobar que los lisímetros funcionaban correctamente se procedió a calibrarlos, para lo cual se saturó el suelo aplicando una lámina de riego calculada y se dejó que drene hasta llegar a capacidad de campo para luego tomar las lecturas correspondientes, asumiendo el principio que el suelo no puede retener agua a un contenido superior a capacidad de campo.

3.3.4. Labores de campo

- **Preparación del terreno**

Con la ayuda de herramientas manuales se procedió a la limpieza de malezas y labranza del suelo con el fin de asegurar un ambiente que facilite el desarrollo radicular de las plantas.

- **Siembra**

La siembra se realizó de manera directa al suelo con una separación de 50 cm entre plantas y 70 cm entre hileras, usando tres semillas por golpe. Las semillas fueron

previamente desinfectadas con el fungicida VitaVax con el fin de evitar enfermedades por hongos en las semillas y plántulas.

- **Riego**

El maíz es una planta que necesita una buena disponibilidad de agua, el riego se lo realizó manualmente en un periodo de tres y cuatro días, aplicando la cantidad de agua necesaria de acuerdo a las condiciones climáticas de lugar.

- **Fertilización**

La primera fertilización se realizó a los ocho días de la siembra con Amidas un fertilizante a base de nitrógeno que es el principal nutriente para el crecimiento de las plantas.

A los 25 días después de la siembra se empleó un fertilizante completo denominado fosfato diamónico (18-46-0) garantizando así, una dosis adecuada para obtener un buen rendimiento del cultivo.

- **Aporque**

El primer aporque se realizó cuando la planta tenía alrededor de 50 cm de altura y el segundo cuando la planta alcanzó un metro de altura; estos aporques tienen la finalidad de dar un buen anclaje de las plantas al suelo y evitar el encamado.

- **Control fitosanitario**

Cuando la planta tenía 15 cm se presenció marchitamiento y muerte de varias plántulas de maíz debido a la presencia gallina ciega (*Phyllophaga Spp*), para ello se aplicó directamente al suelo un insecticida llamado PUÑETE a una dosificación de 5 cc/litro.

Cuando la planta estaba en la fase del desarrollo del fruto se aplicó un insecticida preventivo para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), denominado RAMBLER a una dosificación de 2 cc/litro.

Tabla 4. Control fitosanitario

Plaga	Control	Ingrediente activo	Función	Dosis
Hongos	VitaVax	Carboxin+Captan	Fungicida	1.5 gr/l
Gallina ciega	Puñete	Clorpirifos	Insecticida	5 cc/l
Gusano cogollero	Rambler	Cypermethrin	Insecticida	2 cc/l

- **Cosecha**

Se inicio el 02 de julio hasta el 09 de julio del 2018, a los 116 días después de la siembra, se realizó cuando la mazorca ha cumplido su madurez fisiológica, y las hojas se empiezan a secar hasta la senescencia de la planta.

3.3.5. Tabulación de los datos meteorológicos.

Se usan parámetros climáticos diarios de: temperatura (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), e Insolación (horas sol) diarios registrados por la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 instalada en el lugar de estudio en las unidades que entran en la fórmula de Penman-Monteith, excepto la insolación que se registra en unidades de radiación solar.

La estación meteorológica Davis Vantage Pro2 registra radiación solar en forma de potencia (W/m^2), por lo que se debe transformar la radiación en horas sol. Las horas de insolación diaria, es la suma de intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar directa supera el umbral de $120 W/m^2$, lo que quiere decir que una radiación solar registrada mayor $120 W/m^2$ equivale a media hora de insolación, debido a que la estación registra automáticamente los datos meteorológicos cada 30 minutos.

3.3.6. Metodología para el primer objetivo

Calcular la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) a través del método de Penman-Monteith.

Para calcular la Evapotranspiración del cultivo de referencia, se utilizó los parámetros climáticos diarios tabulados, para posteriormente llevarlos al software CROPWAT 8.0 donde se determina la ET_o a través de la fórmula de Penman-Monteith.

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\lambda}(Rn - G) + \frac{86400 \rho_a c_p (e_s - e_a)}{\lambda r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de registro de referencia

Λ = Calor latente de vaporización

Rn = Radiación neta

G = Flujo de calor del suelo

Δ = Pendiente de la curva de presión a vapor

γ = Constante psicométrica

P = Densidad del aire

(e_s – e_a) = Déficit de presión de vapor de aire.

C_p = Calor específico del aire.

R_s = Resistencia superficial

r_a = Resistencia aerodinámica

3.3.7. Metodología para en segundo objetivo

Calcular la Evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), en sus diferentes fases fenológicas utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo se calibró los lisímetros volumétricos instalados en el lugar de estudio. La calibración consistió en primer lugar en determinar la lámina de saturación, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$L = (P\%) \times \text{profundidad del lisímetro.}$$

Donde:

L= Lámina de saturación (mm)

P%= Porosidad total del suelo (%)

Sabiendo que un milímetro de lámina de agua es igual a un litro por metro cuadrado, se procedió a saturar el suelo, asumiendo éste se encuentra en condición de suelo seco, se aplicó una lámina de agua a cada lisímetro, hasta que la cantidad de agua drenada sea aproximadamente igual en los dos lisímetros. Cuando el drenaje se reduce significativamente, se asume que el suelo en los lisímetros se encuentra a capacidad de campo, siendo este el procedimiento de calibración.

Una vez calibrado se realizó la siembra del cultivo y con la misma metodología (lámina de riego medida en milímetros menos lámina de drenaje recolectada en milímetros, en un tiempo determinado), se registró la cantidad de agua consumido por el cultivo, esto en un intervalo de tres y cuatro días, desde la fase inicial hasta la fase final del cultivo.

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc), se consideró la fórmula del balance hídrico:

$$ETc = \frac{(P + R - D)}{I}$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

P = Precipitación, mm/día.

R = Riego, mm.

D = Drenaje, mm.

I = Intervalo en días entre dos riegos consecutivos.

Para el parámetro de la precipitación (**P**) en mm/día, se utilizó la suma de la lluvia registrada en la estación climatológica durante las 24 horas del día.

3.3.7.1. Requerimiento de riego

El requerimiento de riego se obtiene como resultado de la precipitación efectiva diaria calculada a través del software Cropwat 8.0, mediante la fórmula del USDA (*United States Department of Agriculture*) y la ETc calculada a través del lisímetro volumétrico, para lo cual se aplicó la siguiente expresión:

$$RR = (ETc - Pe)$$

Donde:

RR = Necesidades de riego (mm)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Pe = Precipitación efectiva (mm)

3.3.8. Metodología para el tercer objetivo

Determinar el coeficiente de cultivo (Kc) considerando la ETo calculada con el método de Penman-Monteith. y la ETc, calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de maíz morado (Zea mays L.).

Con los valores de evapotranspiración del cultivo (ETc) y evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo) calculados anteriormente se procedió a calcular el coeficiente del cultivo para cada fase fenológica del maíz morado a través de la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de cultivo.

ETc = Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm/día.

Luego de calculado el Kc, se graficó la curva de coeficiente de cultivo del maíz morado, colocando en el eje de las abscisas los días de cada fase fenológica y en el eje de las ordenadas el valor de Kc obtenido en cada fase fenológica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados para el primer objetivo

Calculo de la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) a través de la aplicación del método de Penman-Monteith.

Se tomó datos de la estación meteorológica automática instalada en el lugar de investigación, tales como: Temperatura (°C), Humedad relativa (%), Velocidad del viento (m/s), e Insolación (horas sol), para posteriormente llevarlos al programa CROPWAT 8.0 donde se determina la ETo a través de la fórmula de Penman-Monteith.

Tabla 5. *Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) para cada fase fenológica del maíz morado.*

Fases Fenológicas	Periodo		Días de Fase	Ciclo Cultivo	ETo mm/día
	Desde	Hasta			
Inicial	08/03/2018	27/03/2018	20	20	4.54
Desarrollo	28/03/2018	07/05/2018	41	61	3.93
Intermedia	08/05/2018	14/06/2018	38	99	3.56
Final	15/06/2018	09/07/2018	25	124	3.27
Promedio					3.82

La tabla 5 establece los valores de evapotranspiración de referencia de las fases fenológicas: Inicial, desarrollo, intermedia y final del cultivo, efectuado por el método de Penman Monteith en donde se determinó que el mayor valor de ETo se presenta en la fase inicial con un valor de 4.54 mm/día debido a las siguientes condiciones climáticas: temperatura media 19.9 °C y humedad relativa 73.3 % , mientras que la menor ETo se obtuvo en la fase final con un valor de 3.27 mm/día debido a que existe mayor humedad relativa 78.3 % y menor temperatura 18.5 °C por ende la evapotranspiración de referencia va a ser menor.

4.2. Resultados para el segundo objetivo

Calculo la Evapotranspiración del cultivo de maíz morado (ETc), en sus diferentes fases fenológicas utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo se utiliza registros de entrada (riego+precipitación) y salida (drenaje) de agua a través del lisímetro volumétrico, para posteriormente mediante el método del balance hídrico determinar la evapotranspiración del cultivo para cada una de las fases fenológicas del maíz morado.

Tabla 6. Evapotranspiración del cultivo (ETc) para cada fase fenológica del maíz morado.

Fases Fenológicas	Periodo		Días de Fase	Ciclo Cultivo	ETc mm/día
	Desde	Hasta			
Inicial	08/03/2018	27/03/2018	20	20	2.51
Desarrollo	28/03/2018	07/05/2018	41	61	3.63
Intermedia	08/05/2018	14/06/2018	38	99	3.92
Final	15/06/2018	09/07/2018	25	124	2.72
Promedio					3.19

En la tabla 6, se puede observar que el mayor valor de evapotranspiración se dio en la fase intermedia con 3.92 mm/día, siendo en la fase inicial el menor valor 2.51 mm/día.

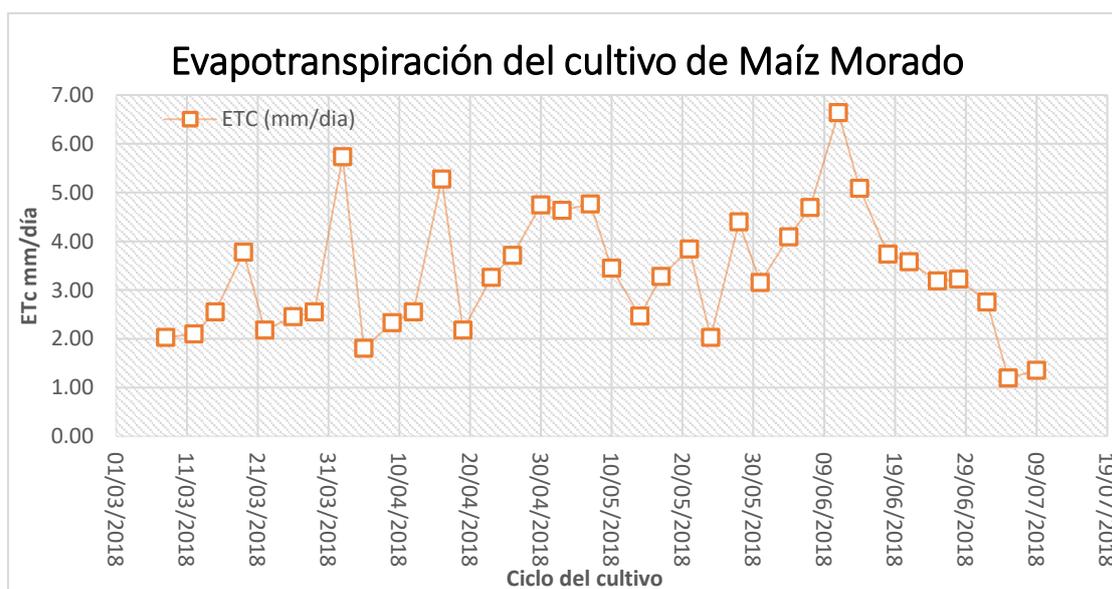


Figura 5. Curva de evapotranspiración del cultivo (ETc) de maíz morado

Los valores de evapotranspiración del cultivo de maíz morado para el periodo de 124 días se reflejan en la figura 5 en donde se observa que el mayor consumo de agua se da en la fase intermedia con un valor de 6.64 mm/día, y el valor más bajo de evapotranspiración se dio en la fase final con un valor de 1,19 mm/día.

La planta necesita mayor cantidad de agua en la fase intermedia debido a que la mazorca se empieza a formar y requiere mayor consumo de agua para el llenado de los granos, a diferencia de la fase final que necesita menor cantidad de agua ya que la mazorca ya llegado a su madurez fisiológica.

Tabla 7. Consumo de agua para cada fase fenológica del maíz morado

Etapas Fenológicas	Días de Fase Acumulado	Consumo de agua (mm)
Inicial	20	40.5
Desarrollo	61	81.6
Intermedia	99	122.4
Final	124	118.8
TOTAL		363.3

La tabla 7 refleja valores de consumo de agua para cada fase fenológica del cultivo de maíz morado, durante 124 días que duro el ciclo vegetativo (Anexo 5)

En la fase inicial del cultivo, el consumo de agua fue de 40.5 mm equivalente a 405 m³/ha, para fase de desarrollo el consumo de agua fue de 81.6 mm equivalente a 816 m³/ha, para la fase intermedia de obtuvo un consumo de agua de 122.4 mm que equivale a 1,224 m³/ha, y finalmente, para la fase final el consumo de agua fue de 118.8 mm que es equivalente a 1188 m³/ha.

El requerimiento total de agua del maíz morado durante su periodo vegetativo fue 363.3 mm equivalente a 3633 m³/ha con un rendimiento total (tusa+grano) de 8.64 tn/ha y un rendimiento en grano de 6.77 tn/ha o 6,775 Kg/ha (Anexo 4).

Oré (2015), en su estudio a la fertilización potásica y nivel nutricional en el rendimiento de maíz morado PMV-581 bajo riego por goteo obtuvo un requerimiento de agua de 356,1 mm con un rendimiento total de 9.32 tn/ha y un rendimiento en grano de 6.9 tn/ha.

Por otra parte, Alvarado (2015), evaluó el efecto de la lámina de riego y del nivel nutricional de crecimiento y rendimiento de maíz morado PMV-581 en la cual referencia valores de consumo de agua y rendimiento en grano para 3 láminas de riego de; L1: 350.29 mm con un rendimiento de 7.73 tn/ha, L2: 300.09mm y un rendimiento de 6.68 tn/ha y la L3: 250.01 mm con un rendimiento de 5,236.9 kg/ha.

Cabrera (2016), en el estudio de tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado bajo riego por goteo, determinó que para la variedad PMV-581 los siguientes requerimientos; L1: 420 mm con un rendimiento de 9.18 tn/ha, L2: 340 mm con un rendimiento de 8.08 tn/ha, y finalmente la L3: 260 mm con un rendimiento de 7.01 tn/ha.

La relación consumo de agua/ rendimiento (3,633.000 l/ha /6,775 kg/ha) es de 536.24 litros, lo que permite concluir que para obtener un kilogramo de maíz morado se necesitan 536.24 litros de agua.

La revista DEKALB, (2014) afirma que se necesita 545 litros de agua para obtener un kilogramo de maíz en grano.

4.2.1. Requerimiento de riego

El requerimiento de riego está en función de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva durante el ciclo del cultivo.

Bajo las condiciones de suelo, agua y clima, la evapotranspiración del cultivo (ETc) del maíz morado fue de 363.3 mm/campaña, y la precipitación efectiva de 144.7 mm. El requerimiento de riego para el ciclo de maíz morado fue de 218.60 mm lo que equivale a 2,186 m³/ha.

Comparando con los valores de Alvarado (2015), en su investigación sobre el efecto de la lámina de riego y del nivel nutricional de crecimiento y rendimiento de maíz morado, el requerimiento de riego para la variedad PMV-581 es de 294.1 mm reflejado en 2,941 m³/ha.

Cabrera (2016), en tres láminas de riego en el rendimiento del maíz morado bajo riego a goteo establece los siguientes requerimientos de riego; L1: 466.7 mm, L2: 377.8 mm, L3: 288.9 mm.

Aguirre (2016), determina el requerimiento de riego del maíz morado en 365.99 mm lo que es equivalente a 3,660 m³/ha.

Oré (2015), en su estudio a la fertilización potásica y nivel nutricional en el rendimiento de maíz morado bajo riego por goteo, determinó que el requerimiento de riego en el maíz morado de 395.71 mm equivalente a 3,957.1 m³/ha.

4.3. Resultados para el tercer objetivo

Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) considerando la ETo calculada con el método de Penman-Monteith. y la ETc, calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de maíz morado (Zea mays L.).

Para determinar el coeficiente de cultivo (Kc) se consideró la evapotranspiración del cultivo de referencia y la evapotranspiración del cultivo (Anexo 7).

Tabla 8. *Coeficiente del cultivo del maíz morado para cada fase fenológica.*

Fases Fenológicas	Periodo		Días de Fase	Ciclo Cultivo	ETc mm/día	ETo mm/día	Kc
	Desde	Hasta					
Inicial	08/03/2018	27/03/2018	20	20	2.51	4.54	0.55
Desarrollo	28/03/2018	07/05/2018	41	61	3.63	3.93	0.92
Intermedia	08/05/2018	14/06/2018	38	99	3.92	3.56	1.10
Final	15/06/2018	09/07/2018	25	124	2.72	3.27	0.83
Promedio					3.19	3.82	0.84

Como se observa en la tabla 8 los valores de Kc van incrementado secuencialmente en cada etapa fenológica, esto se debe a que el porcentaje de área foliar va incrementado en cada fase, por lo tanto, el cultivo requiere mayor cantidad de recurso hídrico para cumplir sus funciones fisiológicas.

En la fase inicial con un periodo de 20 días (desde el 8 al 27 de marzo del 2018) el valor promedio de Kc fue de 0.55 con una ETc media de 2.51 mm/día y una ETo de 4.54 mm/día.

En la fase de desarrollo con un periodo de 41 días (desde el 28 de marzo al 7 de mayo del 2018), el valor de Kc fue de 0.92 con una ETc media de 3.63 mm/día y una ETo de 3.93 mm/día.

En la fase intermedia que inicia el 8 de mayo hasta el 14 de junio del 2018, el valor Kc fue de 1.10 con una ETc media de 3.92 mm/día y una ETo de 3.56 mm/día con un periodo de duración de 38 días para esta fase.

Y la fase final del maíz morado con periodo de 25 días (desde el 15 de junio al 9 de julio del 2018), el valor de Kc fue de 0.83 con una ETc media de 2.72 mm/día y una ETo de 3.27 mm/día.

Estos valores se aproximan a los valores encontrados por García, (2015), quien manifiesta que los valores de Kc del cultivo de maíz para cada fase fenológica son: 0.4; 0.8; 1.15 y 1.

Por otra parte, Cabrera (2016) en tres láminas de riego en el rendimiento del maíz morado bajo riego a goteo determinó valores de Kc promedio de: 0.61, 0.83, 1, 0.69.

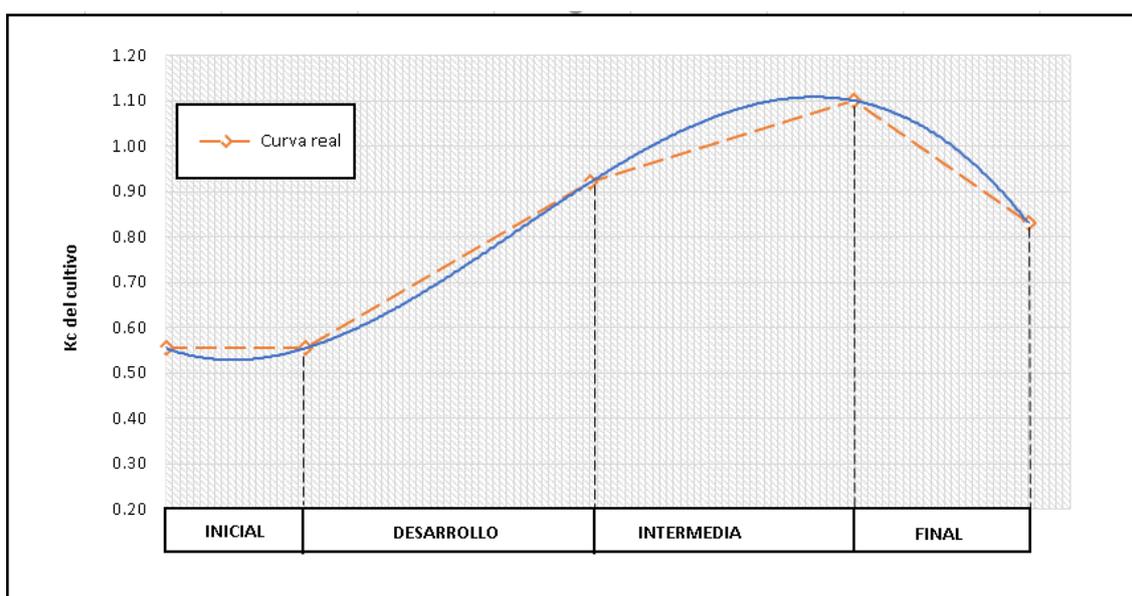


Figura 6. Curva de coeficiente del cultivo del maíz morado

En la figura 6, se detalla la curva del Kc para cada fase fenológica del cultivo de maíz morado, en donde se observa que el valor mínimo de Kc se encuentra en la fase Inicial con un valor de 0.55 y un valor máximo de 1.10 para la fase intermedia.

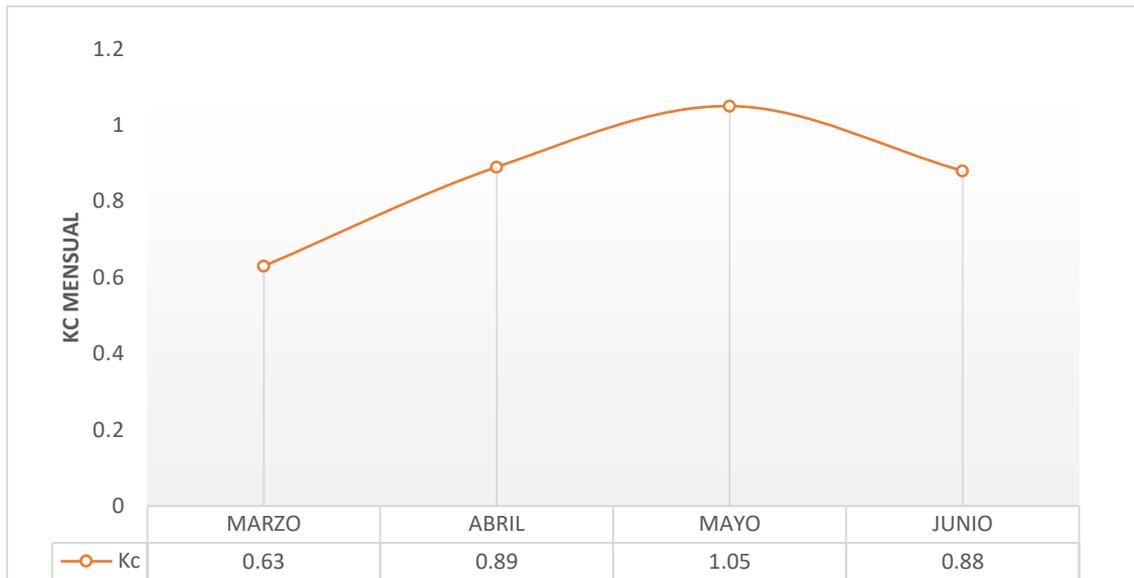


Figura 7. Curva de coeficiente del cultivo mensual.

Los valores de Kc mensuales para el ciclo vegetativo del maíz morado se presentan en la figura 7, siendo los siguientes: Para el mes de marzo 0.63, abril 0.89, para mayo 1.05 y para el mes de junio de 0.88 (Anexo 3).

La variación del Kc hace referencia a todo el ciclo del cultivo, y el movimiento de la curva está influenciado por las condiciones climáticas que intervienen en la obtención de la ETo y la ETc tales como: la insolación, la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la fase fenológica del cultivo.

5. CONCLUSIONES

Los valores de Kc obtenidos para el cultivo de maíz morado fueron: en la fase inicial 0.55; para la fase de desarrollo 0.92; para la fase intermedia 1.10 y para la fase final un Kc de 0.83.

El consumo de agua para cada fase fenológica del maíz morado fue: en la fase inicial 40.5 mm, para la fase de desarrollo 81.6 mm, fase intermedia 122.4 mm, y para la fase final fue de 118.8 mm.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) del maíz morado fue de 363.3 mm lo que es equivalente a 3,633 m³/ha durante todo el periodo del cultivo.

En el ciclo de cultivo de 124 días, la precipitación efectiva fue de 144.7 mm, lo que equivale a un requerimiento de riego de 2,186 m³/ha.

El rendimiento total (tusa+grano) de maíz morado para el sector San José de la parroquia Malacatos fue de 8.6 tn/ha; y, el rendimiento de grano al 14 % de humedad fue de 6.77 tn/ha.

Al realizar la relación volumen de agua / peso de grano, se determinó que para obtener un kilogramo de maíz morado se necesitan 536.24 litros de agua.

El ciclo del cultivo del maíz morado para el sector San José de la parroquia Malacatos fue de 124 días, mientras que Alvarado (2015), establece un ciclo vegetativo del maíz morado de 133 días para Lima-Perú.

Los valores encontrados de rendimiento y consumo de agua en la investigación se encuentran dentro de los rangos establecidos por otros autores.

6. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones relacionado con el maíz morado puesto que el Ecuador existe muy poca información sobre este cultivo, y tenemos que recurrir a información concedida por otros países que no se acoplan a las condiciones climáticas de nuestro país.

Realizar investigaciones para la determinación de Kc en diferentes cultivos de ciclo corto, y durante diferentes épocas del año.

Continuar con investigaciones relacionadas sobre el requerimiento hídrico del cultivo con diferentes tensiones de humedad, en otras zonas con diferentes condiciones climáticas.

Mejorar el rendimiento a través de la fertilización y estructuración de los suelos, y realizar un estudio de aceptación en el mercado local y regional del maíz morado.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, E. (2016). Efecto de la aplicación de humatos de potasio y de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de maíz morado cv. Prosemillas (*Zea mays* L.) bajo R.L.A.F.: goteo. Tesis Ingeniero Agrónomo UNALM. Lima, Perú.
- Agronegocios. (2014). MAIZ MORADO. Agronegocios maíz morado. p 1-11.
- Agrodataperu, (2018), Maíz Morado Perú Exportación 2017 – Agrodataperu. Perú
- Aguirre, H. (2015). Performance Evaluation and Development of Daily Reference Evapotranspiration Model. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 05(01), 1–6.
- Alvarado, V. (2015). Efecto de la lámina de riego y del nivel nutricional en el crecimiento y rendimiento de maíz morado (*Zea mays* L.) cv.PMV-581. Tesis Ingeniero Agrónomo UNALM. Lima, Perú.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, estudios FAO Riego y Drenaje, Vol. 56, FAO, Roma, 2006. p 323.
- Basso, C., Villafañe, G., y Villafañe, R. (2016). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo (kc) de Stevia bajo condiciones parcialmente protegidas. *BIOAGRO*, 28(2), 131–136.
- BIOWEB, (2010.) Estación Meteorológica Portátil Davis Vantage Pro2 Plus - BIOWEB® Colombia.
- Bucio, H., Sánchez, S., y Reyes, D. (2012). Automatización de un lisímetro de pesada Resumen Introducción.

- Cabrera, C. (2016). Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) bajo riego a goteo. Tesis Ingeniero Agrónomo UNALM. Lima, Perú.
- Catalán, W. (2012). Guía técnica "Manejo integrado en el cultivo de maíz amiláceo" Cusco, Perú. OAEPS-UNALM y Agrobanco. 30 p
- Condori, S. (2006). Evaluación de líneas de maíz morado (*Zea mays* l.) provenientes de la variedad PMV-581. Tesis Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 98 p.
- Corley, R., y Tinker, P. (2009). La palma de aceite. Trad. Por Maldonado, E.; Maldonado F. 4 ed. Santa Fé de Bogotá, CO. Molher Impresores. 604 p.
- Damario EA, Catt CL. En la argentina segun el metodo de penman 1948. 1948;3(1):271–292p. - M., H. E. (1989). Balance hidrico y necesidades de agua para los cultivos mas importantes en la cuenca del rio Cienega.
- DEKALB. (2014). Maíz y agua. Monsanto.
- Deras, H. (2012). Guía técnica el cultivo de maíz. IICA- MAG, El Salvador. 40 p.
- Ding, R., Kang, S., Zhang, Y., Hao, X., Tong, L., and Du, T. (2013). Agricultural Water Management Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching. *Agricultural Water Management*, 127, 85–96.
- Fernández, D., Martínez M., Tavarez, C., Castillo, R., y Salas R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación,”. p 33.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Manual de campo N°56.

- Garg, A., Leung, A., Ng, C. (2015). NOTE Comparisons of soil suction induced by evapotranspiration and transpiration of *S. heptaphylla*. *Can. Geotech*, 52, 2149–2155.
- Gao, Y., Yang, L., Shen, X., Li, X., Sun, J., Duan, A., and Wu, L. (2014). Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): Crop coefficients, water-use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 146, 1–1.
- García, M., y Puppo, L. (2015). *Agrociencia: revista científica de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2014.07.010>
- García, G. (2013). Guía técnica "manejo integrado de plagas del cultivo de maíz amiláceo blanco. Quispicanchis, Cusco. PE. AGROBANCO. 22 p.
- González, A. (2017). *Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- González, A. (1997). *Planeación de los Recursos Hidráulicos, con fines de riego, en la zona andina del Ecuador (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador
- Hurtado, L. (2004). *Efecto del régimen de riego y de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz híbrido PM -204. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo UNALM*. Lima-Perú.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, PE). (2007). *Boletín informativo Maíz INIA 615 Negro Canaán*. Dirección de Investigación Agraria. Sub Dirección de Investigación de Cultivos, Programa Nacional de Investigación en Maíz.

- INIAP. (2016). Liberación de nueva variedad de maíz INIAP-199 “Racimo de uva” se realizó en Chimborazo | Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- INIAP. (2011). Guía para la producción de maíz en la sierra sur del Ecuador
- Jaramillo, J. (2017). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de pimiento (*Capsicum Annuum*) mediante el lisímetro volumétrico en el sector el San José perteneciente al sistema de riego Campana -Malacatos. Tesis Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 157p.
- Leche, M., y Candy, M. (2011). DE ACCESO AL MERCADO DE EE . UU .
- Montero, H. (1989). Balance hidrico y necesidades de agua para los cultivos mas importantes en la cuenca del rio Cienega.
- Manrique, A. (1997). El maíz en el Perú. Consejo nacional de ciencia y tecnología (CONCYTEC). Lima, Perú. 362 p.
- Olarte, W. (1987). Manual de riego por gravedad. Serie manuales técnicos N° 1. Lima, Perú. 148 p.
- Oré, V. (2015). Fertilización potásica y nivel nutricional en el rendimiento de maíz morado PMV-581 (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis Ingeniero Agrónomo UNALM. Lima, Perú. 132p.
- Peña, I. (1987). Manual del uso y manejo del agua de riego. Patronato para la producción y extensión agrícola y ganadera. Cd. Obregon, Sonora, México. 186 p.
- Ramírez, V. H., Mejía, A., Marín, E. V., and Arango, R. (2011). Evaluation of models for estimating the reference evapotranspiration in Colombian Coffee Zone. *Agronomía Colombiana*, 29(1), 107–114.

- Rodr, R., y Pire, R. (2010). Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. 2010;58(1):73–96p.
- Risco, M. (2007). Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho. SOLID – Perú. 88 p.
- Sevilla, R., y Valdez, A. (1985). Estudio de factibilidad del cultivo de maíz morado. Fondo de Promoción y Exportación (FOPEX). Lima, Perú. 46 p.
- Soria, P. T., Pannunzio, A., y Borello, L. (2013). Impacto del fenómeno “El Niño – Oscilación del Sur” sobre la evapotranspiración de la localidad de San Pedro, 26 Buenos Aires, Argentina, para el periodo 2005-2011. Revista de Climatología, 13, 27–34.
- Shirbeny, M., Badr, M., and Bauomy, E. M. (2014). Assessment of wheat crop coefficient using remote sensing techniques. World Research Journal of Agricultural Sciences, 1(2), 12–16.
- Ureña, G. (2017). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) mediante el lisímetro volumétrico en el sector el Porvenir perteneciente al sistema de riego Campana -Malacatos. Tesis Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 157p.
- Valipour, M. (2014). Use of average data of 181 synoptic stations for estimation of reference crop evapotranspiration by temperature-based methods. Water Resources Management, 28(12), 4237–4255.
- Yáñez, C., Zambrano Mendoza, J. L., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, A., y otros. (2016). Ficha técnica de la variedad de Maíz Negro INIAP-199 “Racimo de Uva.” Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3166>

Zhang, B., Liu, Y., Xu, D., Zhao, N., Lei, B., Rosa, R. D., and others. (2013). The dual crop coefficient approach to estimate and partitioning evapotranspiration of the winter wheat–summer maize crop sequence in North China Plain. *Irrigation Science*, 31(6), 1303–1316. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0405-1>

8. ANEXOS

Anexo 1. Datos de diámetro, longitud, y peso del maíz morado para el lisímetro norte.

LISIMETRO NORTE					
N° Mazorca	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Peso por mazorca (gr)	Peso en grano (gr)	Peso de Tusa (gr)
1	5.2	20.4	349.6	261.8	87.8
2	5.0	20.3	309.2	242.5	66.7
3	4.7	18.7	244.2	186.4	57.8
4	4.4	19.0	209.8	166.3	43.5
5	4.3	17.6	201.5	161.1	40.4
6	3.7	16.3	177.3	137.1	40.2
7	3.5	15.4	141.2	110	31.2
	4.4	18.2	233.3	180.7	52.5
TOTAL	30.8	127.7	1632.8	1265.2	367.6

Anexo 2. Datos de diámetro, longitud, y peso del maíz morado para el lisímetro sur.

LISIMETRO SUR					
N° Mazorca	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Peso por mazorca (gr)	Peso en grano(gr)	Peso de Tusa (gr)
1	5.3	18.7	318.4	238.2	80.2
2	4.84	18.3	267.5	205.2	62.3
3	4.4	18.2	218.8	173.1	45.7
4	5.1	15.8	243.6	203.2	40.5
5	5.0	15.4	193.7	157.2	36.5
6	4.9	14.9	164.2	128.8	35.4
7	4.3	14.7	144.0	115.2	28.8
8	4.0	14.2	139.8	113.7	26.1
9	3.8	13.6	131.5	110.3	21.2
	4.63	15.98	202.37	160.52	41.85
TOTAL	41.6	143.8	1821.3	1444.7	376.7

Anexo 3. Valores de Kc mensuales para el periodo vegetativo del maíz morado.

MES	Coeficiente del cultivo (Kc)
Marzo	0.63
Abril	0.89
Mayo	1.05
Junio	0.88

Anexo 4. Rendimiento total (mazorca+grano) y rendimiento en grano de maíz morado.

Unidad	Peso por mazorca		Peso en grano	
	Lisímetro N (gr)	Lisímetro S (gr)	Lisímetro N (gr)	Lisímetro S (gr)
Total	1632.8	1821.3	1265.2	1444.7
Promedio		1727.1		1354.9
Peso (gr/m²)		863.5		677.5
Peso (tn/ha)		8.64		6.77

Anexo 5. Características agronómicas del maíz morado (*Zea mays L.*)

Habito de crecimiento:	Arbustivo
Período vegetativo (días)	124
Fase Inicial (días)	20
Fase Desarrollo vegetativo (días)	41
Fase de mediados de desarrollo (días)	38
Fase final (días)	25
Altura de la planta (m)	2.05
Numero de mazorcas por planta:	1.30
Diámetro de la mazorca (cm)	4.51
Longitud de la mazorca (cm)	17.10
Peso promedio de la tusa (gr)	47.20
Peso promedio de grano por mazorca al 14% H (gr)	170.60
Peso de la mazorca (gr)	217.80
Peso total de mazorcas de maíz sin panca (gr)	1727.10
Peso promedio del grano (gr)	1354.90

Anexo 6. Fases fenológicas del maíz morado

FASE FENOLOGICA	SUBFASE	DIAS DE FASE	Periodo	
			DESDE	HASTA
INICIAL	Germinación	8	08/03/2018	15/03/2018
	Desarrollo de las hojas	12	16/03/2018	27/03/2018
DESARROLLO	Crecimiento del tallo	35	28/03/2018	01/05/2018
	Aparición del órgano floral	6	02/05/2018	07/05/2018
INTERMEDIA	Floración	22	08/05/2018	29/05/2018
	Formación del fruto	16	30/05/2018	14/06/2018
FINAL	Maduración de los frutos	17	15/06/2018	01/07/2018
	Cosecha	8	02/07/2018	09/07/2018

Anexo 7. Información de los registros de campo, precipitación diaria y precipitación efectiva diaria calculada.

FECHA	RIEGO (l)	Lisímetro N-S		P (mm)	Pe (mm)
		Volumen de agua drenada LISIMETRO N (l)	Volumen de agua drenada LISIMETRO S (l)		
		08/03/2018	10.00		
12/03/2018	10.00	1.80	2.00	0.00	0.00
15/03/2018	10.00	3.50	3.90	0.40	0.40
19/03/2018	10.00	0.15	0.24	1.80	1.80
22/03/2018	15.00	0.40	0.55	0.80	0.80
26/03/2018	5.00	6.80	7.40	17.00	16.50
29/03/2018	30.00	14.10	15.20	0.20	0.20
02/04/2018	0.00	20.00	20.00	37.20	35.00
05/04/2018	10.00	20.00	20.00	17.20	16.70
09/04/2018	5.00	20.00	20.00	2.80	2.80
12/04/2018	20.00	0.65	1.00	1.00	1.00
16/04/2018	8.00	10.90	10.70	10.60	10.40
19/04/2018	10.00	2.35	3.20	0.00	0.00
23/04/2018	10.00	1.00	1.60	0.20	0.20
26/04/2018	15.00	0.20	0.65	0.00	0.00
30/04/2018	10.00	0.10	0.20	7.60	7.50
03/05/2018	20.00	3.35	3.40	0.00	0.00
07/05/2018	20.00	1.40	1.55	2.60	2.60
10/05/2018	15.00	8.20	8.40	18.80	18.20
14/05/2018	10.00	20.00	20.00	17.40	16.90
17/05/2018	10.00	20.00	20.00	5.80	5.70
21/05/2018	10.00	2.40	3.00	4.80	4.80
24/05/2018	10.00	2.75	3.80	0.40	0.40
28/05/2018	15.00	2.00	2.60	1.20	1.20
31/05/2018	15.00	2.80	3.20	0.20	0.20
04/06/2018	15.00	2.40	2.80	0.20	0.20
07/06/2018	20.00	2.75	3.10	0.00	0.00
11/06/2018	20.00	1.20	1.25	0.00	0.00
14/06/2018	30.00	0.09	0.10	0.00	0.00
18/06/2018	20.00	9.30	10.00	0.00	0.00
21/06/2018	30.00	8.60	9.00	0.00	0.00
25/06/2018	20.00	15.30	16.10	0.20	0.20
28/06/2018	30.00	10.50	10.80	1.00	1.00
02/07/2018	10.00	17.80	18.40	0.00	0.00
05/07/2018	5.00	1.50	2.00	0.00	0.00
09/07/2018	5.00	0.25	0.20	0.00	0.00

Anexo 8. Evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y Kc calculada para el ciclo del cultivo de maíz morado.

Fase Fenológica	Duración de fase	ETC (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc	
INICIAL	08/03/2018	2.03	4.46	0.45	
	12/03/2018	2.10	4.88	0.43	
	15/03/2018	2.55	4.94	0.52	
	19/03/2018	3.78	4.08	0.93	
	22/03/2018	2.18	4.48	0.49	
	26/03/2018	2.45	4.37	0.56	
DESARROLLO	29/03/2018	2.55	4.06	0.63	
	02/04/2018	5.73	3.65	1.57	
	05/04/2018	1.80	3.43	0.52	
	09/04/2018	2.33	3.94	0.59	
	12/04/2018	2.55	4.25	0.60	
	16/04/2018	5.28	4.55	1.16	
	19/04/2018	2.18	4.08	0.53	
	23/04/2018	3.26	3.65	0.89	
	26/04/2018	3.71	4.37	0.85	
	30/04/2018	4.74	3.86	1.23	
	03/05/2018	4.63	4.02	1.15	
	07/05/2018	4.77	3.24	1.47	
	INTERMEDIA	10/05/2018	3.45	3.16	1.09
		14/05/2018	2.47	3.50	0.70
17/05/2018		3.28	4.27	0.77	
21/05/2018		3.84	3.25	1.18	
24/05/2018		2.03	3.77	0.54	
28/05/2018		4.40	3.56	1.24	
31/05/2018		3.15	4.45	0.71	
04/06/2018		4.09	3.34	1.23	
07/06/2018		4.69	3.41	1.38	
11/06/2018		6.64	3.13	2.12	
14/06/2018		5.09	3.30	1.54	
FINAL		18/06/2018	3.73	3.29	1.13
		21/06/2018	3.58	3.23	1.11
		25/06/2018	3.18	3.02	1.05
	28/06/2018	3.23	3.22	1.00	
	02/07/2018	2.75	3.38	0.81	
	05/07/2018	1.19	3.44	0.35	
	09/07/2018	1.35	3.32	0.41	

Anexo 9. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de marzo.

MARZO						
Fecha	Temp min °C	Temp máx °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	ETo mm/día
01/03/2018	18.9	19.4	82.1	1.9	8.0	3.91
02/03/2018	18.0	18.6	76.7	2.1	9.0	4.15
03/03/2018	18.1	18.5	78.9	1.0	8.0	3.89
04/03/2018	18.8	19.5	76.9	2.0	9.0	4.24
05/03/2018	19.0	19.6	81.1	2.6	9.5	4.24
06/03/2018	19.1	19.7	76.2	1.7	9.0	4.27
07/03/2018	19.0	19.6	77.6	1.6	8.5	4.12
08/03/2018	20.0	20.5	73.8	2.1	9.0	4.46
09/03/2018	19.6	20.2	73.2	2.8	9.0	4.49
10/03/2018	19.6	20.4	62.4	5.4	9.5	5.46
11/03/2018	20.6	21.2	62.6	3.5	9.5	5.25
12/03/2018	20.0	20.5	64.5	2.5	9.5	4.88
13/03/2018	20.1	20.8	68.8	2.9	9.5	4.82
14/03/2018	19.9	20.6	70.9	2.7	9.0	4.59
15/03/2018	20.7	21.4	71.9	3.5	10.0	4.94
16/03/2018	20.0	20.6	70.1	2.9	8.5	4.55
17/03/2018	19.2	19.8	73.2	2.3	8.0	4.18
18/03/2018	19.5	20.1	72.0	2.5	9.5	4.56
19/03/2018	18.7	19.2	83.1	0.9	9.0	4.08
20/03/2018	20.2	20.9	72.9	2.3	9.5	4.6
21/03/2018	18.9	19.4	76.1	3.0	9.0	4.25
22/03/2018	18.9	19.5	71.8	1.7	10.0	4.48
23/03/2018	18.0	18.6	82.3	2.0	7.5	3.65
24/03/2018	17.9	18.4	89.5	1.8	6.5	3.27
25/03/2018	19.5	20.1	82.6	2.0	9.0	4.1
26/03/2018	20.1	20.7	75.8	2.5	9.0	4.37
27/03/2018	20.3	21.1	69.4	3.7	9.5	4.87
28/03/2018	19.7	20.3	75.3	2.8	9.0	4.34
29/03/2018	19.5	20.1	78.9	1.7	8.5	4.06
30/03/2018	18.6	19.2	83.7	1.5	8.5	3.86
31/03/2018	17.7	18.2	89.6	1.7	8.5	3.62
PROMEDIO	19.3	19.9	75.6	2.4	8.9	4.3

Anexo 10. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de abril.

ABRIL						
Fecha	Temp min °C	Temp máx °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	ETo mm/día
01/04/2018	17.6	18.0	90.3	2.1	7.5	3.33
02/04/2018	18.0	18.3	89.1	2.3	9.0	3.65
03/04/2018	18.0	18.4	89.3	1.0	8.5	3.74
04/04/2018	18.2	18.7	87.2	1.2	8.0	3.66
05/04/2018	17.1	17.6	88.6	2.7	8.5	3.43
06/04/2018	18.9	19.4	80.5	2.8	9.5	4.09
07/04/2018	18.2	18.7	83.6	1.5	6.5	3.4
08/04/2018	16.4	16.7	92.7	0.1	7.0	3.44
09/04/2018	18.4	18.9	82.6	3.4	9.5	3.94
10/04/2018	18.4	19.1	82.1	3.0	9.0	3.92
11/04/2018	19.1	19.7	76.7	4.9	9.5	4.34
12/04/2018	19.3	19.9	77.4	3.6	9.0	4.25
13/04/2018	17.4	17.9	87.1	1.5	7.5	3.48
14/04/2018	18.6	19.4	73.6	3.6	10.0	4.48
15/04/2018	19.7	20.3	68.7	2.6	9.0	4.54
16/04/2018	19.4	20.0	65.1	2.9	8.5	4.61
17/04/2018	18.8	19.4	71.0	2.3	9.5	4.42
18/04/2018	18.6	19.3	72.6	2.7	6.5	3.84
19/04/2018	18.7	19.3	71.8	2.5	8.0	4.13
20/04/2018	19.8	20.5	68.4	3.1	9.3	4.52
21/04/2018	20.2	21.0	65.9	3.6	9.0	4.92
22/04/2018	19.3	20.0	70.9	2.6	9.5	4.54
23/04/2018	17.5	18.1	80.7	1.6	9.0	3.92
24/04/2018	19.2	20.0	69.4	2.6	9.5	4.61
25/04/2018	19.3	19.9	68.9	2.6	9.0	4.52
26/04/2018	19.4	20.1	67.2	3.4	9.5	4.83
27/04/2018	19.7	20.6	66.2	3.2	10.5	5.07
28/04/2018	17.0	17.4	87.4	0.9	7.5	3.54
29/04/2018	17.7	18.5	84.7	1.2	8.5	3.84
30/04/2018	18.3	18.8	78.9	1.6	9.0	4.07
01/05/2018	18.5	19.1	78.0	2.4	8.7	4.1

Anexo 11. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de mayo.

MAYO						
Fecha	Temp min °C	Temp máx °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	ETo mm/día
01/05/2018	20.0	20.8	68.7	3.7	10.0	4.64
02/05/2018	20.2	21.0	65.8	3.8	9.5	4.74
03/05/2018	19.8	20.5	70.4	2.1	8.5	4.02
04/05/2018	18.9	19.7	75.0	2.6	9.5	4.01
05/05/2018	19.0	19.6	78.5	1.6	8.5	3.66
06/05/2018	18.7	19.3	73.8	2.1	9.0	3.86
07/05/2018	17.0	17.5	85.2	1.3	8.0	3.24
08/05/2018	18.5	19.0	78.2	1.5	8.5	3.58
09/05/2018	16.7	17.1	90.6	1.8	6.5	2.79
10/05/2018	18.0	18.7	86.1	2.4	7.5	3.16
11/05/2018	18.4	19.1	82.3	2.0	10.0	3.73
12/05/2018	19.2	19.9	80.8	2.2	9.0	3.68
13/05/2018	17.5	17.9	91.4	1.1	7.0	2.98
14/05/2018	18.9	19.4	83.7	4.3	9.0	3.5
15/05/2018	17.0	17.4	92.6	0.9	7.0	2.93
16/05/2018	18.1	18.7	85.5	1.4	9.0	3.43
17/05/2018	19.3	20.0	71.0	4.2	9.5	4.27
18/05/2018	19.0	19.8	77.6	2.3	9.5	3.78
19/05/2018	17.6	18.3	85.8	1.1	8.0	3.2
20/05/2018	17.1	17.6	89.6	1.4	9.0	3.22
21/05/2018	17.3	18.0	87.4	1.8	9.0	3.25
22/05/2018	18.1	18.7	79.0	1.8	8.5	3.42
23/05/2018	18.2	18.9	76.5	2.4	8.5	3.53
24/05/2018	18.5	19.1	75.4	2.8	9.5	3.77
25/05/2018	19.0	19.5	74.9	2.0	8.5	3.6
26/05/2018	18.8	19.4	73.1	3.1	9.0	3.84
27/05/2018	19.3	20.1	65.5	3.4	9.0	4.27
28/05/2018	18.6	19.2	77.1	2.0	9.0	3.56
29/05/2018	18.4	19.0	79.7	1.7	9.5	3.54
30/05/2018	19.3	20.0	73.6	2.5	9.5	3.86
31/05/2018	20.2	21.1	68.2	3.3	10.5	4.45
01/06/2018	18.5	19.2	78.8	2.3	8.8	3.7

Anexo 12. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de junio.

JUNIO						
Fecha	Temp min	Temp máx	Humedad	Viento	Insolación	ETo
	°C	°C	%	m/s	Horas	mm/día
01/06/2018	19.9	20.8	68	4.2	9.5	3.48
02/06/2018	19.9	20.5	70	2.8	9.0	3.38
03/06/2018	19.1	19.7	77	2.4	8.5	3.28
04/06/2018	20.0	20.7	66	3.2	9.0	3.34
05/06/2018	20.2	20.8	57	5.9	9.0	3.27
06/06/2018	20.5	21.2	56	5.8	9.0	3.28
07/06/2018	19.8	20.7	58	5.3	10.0	3.42
08/06/2018	20.5	21.3	55	6.1	10.0	3.43
09/06/2018	19.4	20.2	65	4.1	9.0	3.27
10/06/2018	19.5	20.3	66	3.3	9.0	3.28
11/06/2018	19.6	20.4	69	2.9	8.0	3.13
12/06/2018	19.1	19.8	72	2.6	8.0	3.11
13/06/2018	19.6	20.5	63	5.2	9.5	3.34
14/06/2018	18.4	19.3	81	4.8	9.5	3.4
15/06/2018	18.8	19.5	82	3.3	8.0	3.15
16/06/2018	17.8	18.3	86	2.8	8.0	3.1
17/06/2018	19.2	19.6	77	6.6	8.5	3.23
18/06/2018	18.6	19.3	79	5.6	9.0	3.3
19/06/2018	17.9	18.8	85	5.8	10.0	3.47
20/06/2018	17.8	18.7	85	4.9	10.0	3.47
21/06/2018	17.8	18.5	86	6.0	9.0	3.28
22/06/2018	18.6	19.1	75	3.0	8.5	3.16
23/06/2018	18.9	19.5	71	1.8	9.0	3.24
24/06/2018	18.4	18.9	81	1.7	8.5	3.19
25/06/2018	17.2	17.8	89	2.4	8.5	3.16
26/06/2018	17.0	17.9	88	3.7	8.5	3.15
27/06/2018	17.4	18.3	83	5.7	10.0	3.42
28/06/2018	17.8	18.5	84	2.9	9.5	3.36
29/06/2018	17.5	18.1	87	1.9	8.5	3.18
30/06/2018	18.2	18.9	86	2.5	10.0	3.51
PROMEDIO	18.8	19.5	74.9	4.0	9.0	3.3

Anexo 13. Datos climáticos de temperatura mínima y máxima °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; insolación horas día y ETo mm/día, correspondientes al mes de julio.

JULIO						
Fecha	Temp min °C	Temp máx °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	ETo mm/día
01/07/2018	18.62	19.48	78	4.49	10.00	3.49
02/07/2018	18.31	19.21	75	4.11	10.00	3.44
03/07/2018	19.07	19.93	78	4.07	10.00	3.53
04/07/2018	19.35	20.20	66	5.28	8.50	3.18
05/07/2018	19.96	20.77	63	5.37	9.00	3.29
06/07/2018	18.93	19.76	76	5.05	9.50	3.42
07/07/2018	18.42	19.29	79	4.58	7.50	3.05
08/07/2018	20.06	20.88	65	4.93	9.50	3.42
09/07/2018	20.32	20.85	64	6.11	8.00	3.16
10/07/2018	20.06	20.97	62	5.20	9.50	3.41
11/07/2018	19.58	20.36	76	5.21	9.50	3.5
12/07/2018	18.91	19.45	76	5.14	8.00	3.17
13/07/2018	18.67	19.20	74	7.26	8.00	3.15
14/07/2018	18.64	19.06	71	4.57	8.00	3.12
15/07/2018	20.14	20.71	64	5.80	8.00	3.19
16/07/2018	20.14	20.83	61	5.44	9.00	3.35
17/07/2018	18.90	19.46	77	2.73	8.00	3.2
18/07/2018	19.41	19.98	68	2.13	8.50	3.27
19/07/2018	19.53	20.19	66	2.50	9.50	3.45
20/07/2018	20.18	20.81	63	2.54	8.50	3.29
21/07/2018	20.16	20.74	63	1.83	9.00	3.39
22/07/2018	20.28	20.96	60	2.43	9.50	3.47
23/07/2018	19.95	20.52	61	3.03	9.50	3.47
24/07/2018	19.53	20.25	68	5.08	9.00	3.43
25/07/2018	18.56	19.43	72	6.02	8.50	3.32
26/07/2018	18.70	19.53	73	4.71	9.50	3.53
27/07/2018	18.66	19.57	71	4.69	10.50	3.7
28/07/2018	19.11	19.87	73	3.24	9.00	3.48
29/07/2018	19.44	20.27	76	2.73	10.00	3.74
30/07/2018	19.10	19.91	78	2.50	8.50	3.45
31/07/2018	17.69	18.24	86	1.53	9.50	3.59
PROMEDIO	19.3	20.0	70.4	4.2	9.0	3.4

Anexo 14. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase inicial.

Fase Fenológica	Mes	Duración de fase	RIEGO (l)	Volumen de agua drenada	Volumen de agua drenada	P	Intervalo de riego	ETC (mm/día)		ETC (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
				LISIMETRO N	LISIMETRO S			LISIMETRO N	LISIMETRO S			
				(l)	(l)	(l)	(Días)					
INICIAL	Marzo	08/03/2018	10.00	0.00	0.00	0.00		2.05	2.00	2.03	4.46	0.45
		09/03/2018	10.00	1.80	2.00	0.00	4.00	2.17	2.03	2.10	4.88	0.43
		10/03/2018	10.00	3.50	3.90	0.40	3.00	2.56	2.54	2.55	4.94	0.52
		11/03/2018	10.00	0.15	0.24	1.80	4.00	3.80	3.75	3.78	4.08	0.93
		12/03/2018	15.00	0.40	0.55	0.80	3.00	2.25	2.10	2.18	4.48	0.49
		13/03/2018	5.00	6.80	7.40	17.00	4.00	2.63	2.27	2.45	4.37	0.56
PROMEDIO										2.51	4.54	0.55

Anexo 15. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase de desarrollo.

Fase Fenológica	Mes	Duración de fase	RIEGO (l)	Volumen de agua drenada	Volumen de agua drenada	P	Intervalo de riego	ETC (mm/día)		ETC (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
				LISIMETRO N	LISIMETRO S			LISIMETRO N	LISIMETRO S			
				(l)	(l)	(l)	(Días)					
DESARROLLO	Marzo	29/03/2018	30.00	14.10	15.20	0.20	3.00	2.55	2.55	2.55	4.06	0.63
		30/03/2018	0.00	20.00	20.00	37.20	4.00	5.73	5.73	5.73	3.65	1.57
	Abril	31/03/2018	10.00	20.00	20.00	17.20	3.00	1.80	1.80	1.80	3.43	0.52
		01/04/2018	5.00	20.00	20.00	2.80	4.00	2.38	2.27	2.33	3.94	0.59
		02/04/2018	20.00	0.65	1.00	1.00	3.00	2.53	2.58	2.55	4.25	0.60

	03/04/2018	8.00	10.90	10.70	10.60	4.00	5.42	5.13	5.28	4.55	1.16
	04/04/2018	10.00	2.35	3.20	0.00	3.00	2.25	2.10	2.18	4.08	0.53
	05/04/2018	10.00	1.00	1.60	0.20	4.00	3.33	3.18	3.26	3.65	0.89
	06/04/2018	15.00	0.20	0.65	0.00	3.00	3.73	3.70	3.71	4.37	0.85
	07/04/2018	10.00	0.10	0.20	7.60	4.00	4.75	4.73	4.74	3.86	1.23
mayo	08/04/2018	20.00	3.35	3.40	0.00	3.00	4.65	4.61	4.63	4.02	1.15
	09/04/2018	20.00	1.40	1.55	2.60	4.00	4.80	4.73	4.77	3.24	1.47
PROMEDIO									3.63	3.93	0.92

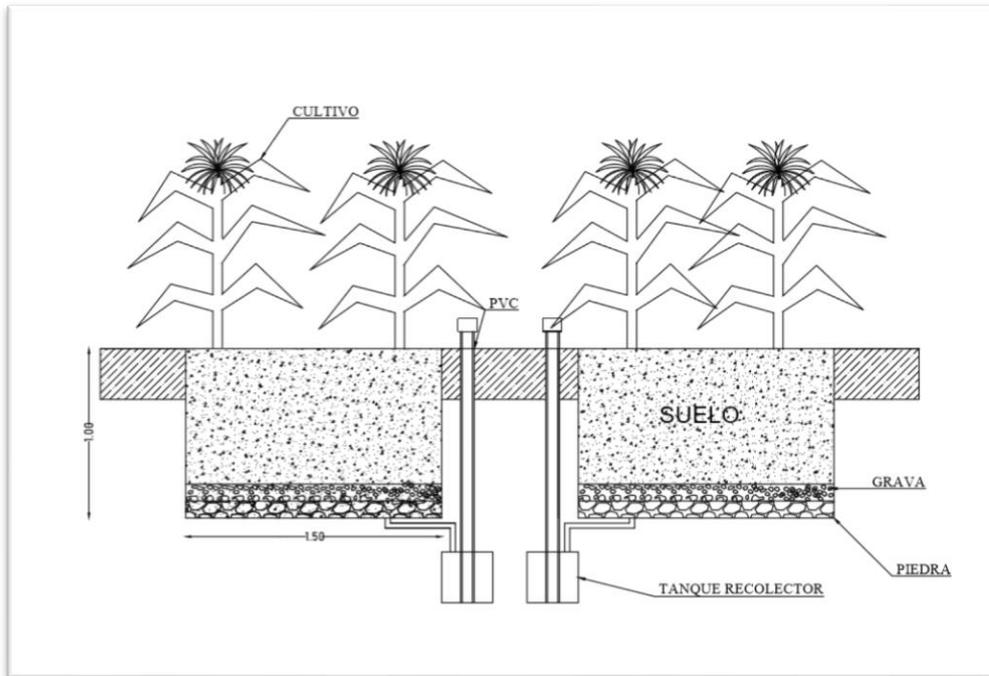
Anexo 16. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase intermedia.

Fase Fenológica	Mes	Duración de fase	RIEGO (l)	Volumen de agua drenada LISIMETRO N	Volumen de agua drenada LISIMETRO S	P	Intervalo de riego	ETC (mm/día) LISIMETRO N	ETC (mm/día) LISIMETRO S	ETC (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
				(l)	(l)	(l)	(Días)					
INTERMEDIA		10/05/2018	15.00	8.20	8.40	18.80	3.00	3.45	3.45	3.45	3.16	1.09
		11/05/2018	10.00	20.00	20.00	17.40	4.00	2.47	2.47	2.47	3.50	0.70
		12/05/2018	10.00	20.00	20.00	5.80	3.00	3.35	3.20	3.28	4.27	0.77
	mayo	13/05/2018	10.00	2.40	3.00	4.80	4.00	4.02	3.67	3.84	3.25	1.18
		14/05/2018	10.00	2.75	3.80	0.40	3.00	2.10	1.95	2.03	3.77	0.54
		15/05/2018	15.00	2.00	2.60	1.20	4.00	4.47	4.33	4.40	3.56	1.24
		16/05/2018	15.00	2.80	3.20	0.20	3.00	3.20	3.10	3.15	4.45	0.71
		17/05/2018	15.00	2.40	2.80	0.20	4.00	4.15	4.03	4.09	3.34	1.23
	Junio	18/05/2018	20.00	2.75	3.10	0.00	3.00	4.70	4.69	4.69	3.42	1.37
		19/05/2018	20.00	1.20	1.25	0.00	4.00	6.64	6.63	6.64	3.13	2.12
		20/05/2018	30.00	0.09	0.10	0.00	3.00	5.18	5.00	5.09	3.40	1.50
	PROMEDIO									3.92	3.57	1.10

Anexo 17. Información general de campo y cálculo de la evapotranspiración del cultivo, evapotranspiración de referencia y coeficiente de cultivo (Kc) para la fase final.

Fase Fenológica	Mes	Duración de fase	RIEGO (l)	Volumen de agua drenada LISIMETRO N	Volumen de agua drenada LISIMETRO S	P (l)	Intervalo de riego (Días)	ETC (mm/día)	ETC (mm/día)	ETC (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
				(l)	(l)			LISIMETRO N	LISIMETRO S			
FINAL	Junio	18/06/2018	20.00	9.30	10.00	0.00	4.00	3.80	3.67	3.73	3.30	1.13
		19/06/2018	30.00	8.60	9.00	0.00	3.00	3.68	3.48	3.58	3.28	1.09
		20/06/2018	20.00	15.30	16.10	0.20	4.00	3.23	3.13	3.18	3.16	1.01
		21/06/2018	30.00	10.50	10.80	1.00	3.00	3.30	3.15	3.23	3.36	0.96
	Julio	22/06/2018	10.00	17.80	18.40	0.00	4.00	2.83	2.67	2.75	3.44	0.80
		23/06/2018	5.00	1.50	2.00	0.00	3.00	1.19	1.20	1.19	3.29	0.36
		24/06/2018	5.00	0.25	0.20	0.00	4.00	1.37	1.33	1.35	3.16	0.43
		PROMEDIO									2.72	3.28

Anexo 18. Lisímetro volumétrico



Anexo 19. Fotos del desarrollo de la investigación.



Figura 1. Sitio de estudio antes de realizar la limpieza de malezas



Figura 2. Limpieza y calibración de los lisímetros volumétricos



Figura 3. Delimitación del área de estudio



Figura 4. Restauración del lisímetro volumétrico.



Figura 5. Bomba manual de extracción de agua drenada



Figura 6. Extracción de agua drenada



Figura 7. Medición de agua extraída del drenaje



Figura 8. Control fitosanitario de plagas y enfermedades



Fig. 9. Cosecha de maíz



Figura 10. Mazorca de maíz morado



Figura 11. Cosecha de maíz en su dentro del área de estudio



Figura 12. Estación meteorológica automática