

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



**COEFICIENTE DE CULTIVO PARA *Zea mays* L. (MAÍZ) UTILIZANDO
LISÍMETROS DE DRENAJE, DURANTE ABRIL – JULIO EN LA ESTACIÓN
CLIMÁTICA JOSE ABELARDO QUIÑONES**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

RAULITO BARJA LORENZO

Tingo María – Perú

2022



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 091-2023-FRNR-UNAS


Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de julio del 2022, a horas 6:00 p.m. en la Sala Virtual Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:


“COEFICIENTE DE CULTIVO *Zea mays* L. (Maíz) UTILIZANDO LISÍMETROS DE DRENAJE, DURANTE ABRIL – JULIO EN LA ESTACIÓN CLIMÁTICA JOSÉ ABELARDO QUIÑONES”.

Presentado por el Bachiller: **BARJA LORENZO, Raulito**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 17 de octubre de 2023



Ing. M. Sc. RICARDO MARTÍN CHÁVEZ ASENCIO
PRESIDENTE


Dr. ROBERTO OBREGÓN PEÑA
MIEMBRO


Ing. JAVIER TORRES GARCÍA
MIEMBRO




Dr. LUCIO MARIQUE DE LARA SUÁREZ
ASESOR


Ing. M. Sc. ERLE OTTO JAVIER BUSTAMANTE SCAGLIONI
ASESOR



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 289 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
COEFICIENTE DE CULTIVO PARA Zea mays L. (MAÍZ) UTILIZANDO LISÍMETROS DE DRENAJE, DURANTE ABRIL - JULIO EN LA ESTACIÓN CLIMÁTICA JOSE ABELARDO QUIÑONES	RAULITO BARJA LORENZO	22 % Veintidós

Tingo Maria, 24 de octubre de 2023


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Meracho Mallqui
DIRECTOR

C.C. Archivo



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO,
INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESIS TA**

(Resol. 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales de Pregrado

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de tesis : Coeficiente de cultivo para *Zea mays* L. (maíz) utilizando lisímetros de drenaje, durante abril – julio en la estación climática José Abelardo Quiñones.
Autor : Barja Lorenzo, Raulito.
Asesores de tesis : Dr. Manrique De Lara Suarez, Lucio.
Ing. MSc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier.
Escuela Profesional : Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.
Programa de investigación : Ciencia Básica.
Línea(s) de investigación : Climatología.
Eje temático de investigación : Determinación de índices climáticos.
Lugar de ejecución : Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez.
Duración : **Inicio** : 01 – 04 - 2019
Término : 30 – 09 - 2019
Financiamiento : **FEDU** : 0 soles
Propio : 3739,45 soles
Otros : 0 soles

Tingo María – Perú, octubre 2023


Bach. Barja Lorenzo, Raulito
Tesisista


Dr. Manrique De Lara Suarez, Lucio
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y camino en momentos adversos y por dotarme de inteligencia para alcanzar uno de mis mejores anhelos.

A mis padres Héctor Raúl Barja Herrera y Levi Zenaida Lorenzo Villegas por su apoyo incondicional que me permitieron cumplir con mi formación profesional.

A mis hermanas Mayhumi, Yashira, Harumi y Midori, por su confianza y el afecto infinito que nos une y fortalece a diario.

A mi pareja Sandy Hellen Sánchez Oliva, quien nunca cede ante mis errores y siempre me motiva a cumplir cada meta, objetivo y sueño que tengo. A mis mascotas que son una fiel compañía: “Bigotes” y “Maya”.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, diversas personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

- A Dios todo poderoso, por su amor y comprensión quien me llena de sabiduría y me guía en mi diario vivir.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a toda la plana de docentes y el personal administrativo que la conforman dicha institución por su apoyo y enseñanza.
- A mis asesores: Ing. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni y el Dr. Lucio Manrique De Lara Suárez, por su valiosa orientación técnica y científica, paciencia y su invaluable e incondicional apoyo que me ayudo en culminar este trabajo de investigación.
- A los miembros de jurado de la presente investigación: Msc. Ricardo Martin Chávez Asencio, Ing. Jaime Torres García y el Dr. Roberto Obregón Peña, por sus aportes en la mejora del informe final de tesis.
- A todos los catedráticos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables quienes impartieron sus conocimientos en mi formación profesional.
- A todos mis amigos y amigas que formaron parte de las experiencias adquiridas y de potenciar con la perseverancia en permanecer en la Universidad Nacional Agraria de la Selva hasta culminar mi formación como profesional.
- A mi pareja Sandy Hellen Sánchez Oliva y compañero Diego Arroyo Abundo por su apoyo incondicional en las diversas actividades de campo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Antecedentes del estudio	4
2.1.1. Antecedentes internacionales.	4
2.1.2. Antecedentes nacionales	5
2.1.3. Antecedentes locales.	6
2.2. El maíz (Zea mays L.)	7
2.2.1. Origen	7
2.2.2. Clasificación Taxonómica	7
2.2.3. Ciclo del cultivo	8
2.2.4. Fenología	8
2.2.5. Requerimientos básicos	9
2.3. Evapotranspiración	11
2.3.1. Evapotranspiración de referencia (ET _o)	12
2.3.2. Etc bajo condiciones estándar	13
2.3.3. Etc bajo condiciones no estándar (Etc aj)	13
2.3.4. Evapotranspiración Potencial (ET _p)	13
2.4. Métodos para determinar la Eto	14
2.4.1. Método de la FAO	14
2.4.2. Método de tanque evaporímetro	14
2.5. Evapotranspiración de cultivo (Etc)	16
2.6. Balance hídrico del suelo	17
2.6.1. Humedad en el suelo	18
2.7. Lisímetro	19

2.8. Coeficiente de cultivo	19
2.8.1. Etapas fenológicas para determinar el “Kc”	20
III. MATERIALES Y METODOS	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.1.1. Clima	22
3.1.2. Zonas de vida	22
3.2. Materiales, herramientas y equipos	22
3.2.1. Material biológico de estudio	22
3.2.2. Materiales y herramientas	22
3.2.3. Equipos de campo	23
3.2.4. Equipos y software de gabinete	23
3.3. Metodología	23
3.3.1. Monitorear las variables climáticas	23
3.3.2. Actividades culturales y preparación del área experimental	23
3.3.3. Evapotranspiración de referencia (ET _o) por FAO Penman – Monteith y tanque evaporímetro Clase “A”	26
3.3.4. Balance hídrico del suelo	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Monitorear las variables climáticas	29
4.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia	33
4.2.1. Método del tanque evaporímetro clase A	33
4.2.2. ET _o por el método de FAO Penman - Monteith	34
4.3. Balance hídrico en el suelo	35
4.3.1. Evapotranspiración de cultivo (Etc)	35
4.4. Coeficiente de cultivo (Kc)	37
V. CONCLUSIONES	41

VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Coeficiente de cultivo según la FAO.....	20
2. Resumen de las variables climáticas durante el periodo de evaluación.	29
3. Registro mensual del ETo por método del tanque clase “A”.	33
4. Resumen del ETo por FAO Penman – Monteith.....	35
5. Variables registradas para la determinación del Etc y Kc (decadarios).....	36
6. Comportamiento del Kc del maíz decadiario por el método de cropwat y observado (campo).....	38
7. Variación del Kc del maíz conforme a la fase del cultivo.....	38
8. Variables registradas para la determinación del Etc y Kc.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Fases fenológicas del Zea mays L.	9
2. Demanda de temperatura en la etapa fisiológica del maíz.	10
3. Esquema de evapotranspiración.	12
4. Evapotranspiración del cultivo de referencia.	13
5. Características del tanque clase “A”.....	15
6. Criterio de ubicación del tanque de evaporación.	15
7. Valores de relaciones del tanque de evaporación.....	16
8. Homogeneidad hídrica en el sistema radicular.....	18
9. Modelos de lisímetros.	19
10. Variación del Kc en función al estado de desarrollo.....	21
11. Lisímetro de drenaje y sus componentes.....	25
12. Variable de precipitación.....	30
13. Variable de temperatura.	31
14. Variable de velocidad del viento.	31
15. Variable de humedad relativa.....	32
16. Variable de radiación solar.....	33
17. Evapotranspiración potencial diaria, por el método del tanque Clase “A”.....	34
18. Evapotranspiración potencial diaria, por el método de FAO Penman – Monteith.....	35
19. Variables para el balance hídrico en el suelo.	36
20. Evapotranspiración del cultivo (Etc) por periodos cada diez días.	37
21. Variación diaria del coeficiente del cultivo del maíz (Kc) en la etapa de evaluación del maíz.	39
22. Valores de Kc por método de CROPWAT y datos observados (decadarios).	39
23. Limpieza de parcela e instalación del cerco perimétrico.....	52

24. Excavación y presentación del lisímetro de drenaje de succión.....	52
25. Instalación de los dos lisímetros de drenaje de succión.	53
26. Germinación de las plántulas de maíz en las diferentes macetas.	53
27. Crecimiento de las plántulas de maíz a la segunda semana.	54
28. Abonamiento de las plantas de maíz a los 15 días.	54
29. Control de plagas y hongos en las plántulas de maíz.	55
30. Aplicación de fungicida al cultivo de maíz.	55
31. Preparación de los tensiómetros.	56
32. Medición de humedad del suelo con tensiómetro Irrometer.	56
33. Crecimiento del maíz a la tercera semana.	57
34. Crecimiento del maíz a los dos meses.	57
35. Crecimiento del maíz.....	58
36. Inicios de floración del maíz.	58
37. Crecimiento del choclo en las diferentes macetas.....	59
38. Formación del choclo en el cultivo de maiz.....	59
39. Equipos para sacar el agua de drenaje del lisímetro de drenaje.	60
40. Extracción y medición del agua drenada del lisímetro.....	60
41. Plano lisímetro de drenaje tipo succión.....	61

RESUMEN

Este estudio se enfocó en determinar el coeficiente de cultivo del maíz (*Zea mays* L.) mediante el uso de un lisímetro de drenaje durante el período de abril a julio en la estación José Abelardo Quiñones de la UNAS. Para lograr este objetivo, se analizaron diferentes variables climáticas y del suelo, tales como precipitaciones, temperaturas, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y humedad del suelo. La finalidad de este estudio fue comprender la demanda y las necesidades de agua del cultivo de maíz en sus distintas etapas de desarrollo, lo que podría contribuir a mejorar la producción del mismo. La E_t , que es la cantidad de agua evaporada y transpirada de manera referencial, fue calculada utilizando el método de Penman-Monteith de la FAO (Allen et al, 2006) y tanque evaporímetro clase A. Mediante el monitoreo diario de la humedad, riego y drenaje, se logró calcular la evapotranspiración y el coeficiente del cultivo. En la etapa inicial del cultivo, la evapotranspiración fue de 13.62 mmdía^{-1} , mientras que, en la etapa media del cultivo, que comprende la floración y llenado de granos, la evapotranspiración fue de 37.51 mmdía^{-1} . Se obtuvieron los valores del coeficiente de cultivo k_c para distintas fases del cultivo, siendo de 0.48 en la fase inicial, 0.74 en la fase de desarrollo, 0.84 en la fase media y 0.64 en la fase de maduración.

Palabras clave: cultivo de maíz, evapotranspiración basal, evapotranspiración real, coeficiente del cultivo, balance hídrico del suelo.

ABSTRACT

This study was focused on determining the crop coefficient for corn (*Zea mays* L.) through the use of a drainage lysimeter during the period from April to July at the UNAS's José Abelardo Quiñones station. In order to achieve this objective, different climatic variables and the soil were analyzed, such as precipitations, temperatures, solar radiation, relative humidity, wind speed, and soil humidity. The purpose of this study was to understand the demand and the needs of water for the corn crop during its distinct stages of development, which could contribute to an improved production of it. The ET (ET_o in Spanish), which is the quantity of water evaporation and transpiration in a referential fashion, was calculated using the FAO Penman-Monteith method (Allen et al, 2006) and a class A evaporimeter tank. Through the daily monitoring of the humidity, watering, and drainage, the calculation of the evapotranspiration and the crop coefficient was achieved. During the initial stage of the crop, the evapotranspiration was 13.62 mmday⁻¹, while during the middle stage of the crop, which is made up of the flowering and kernelling, the evapotranspiration was 37.51 mmday⁻¹. The values of the crop coefficient (kc in Spanish) were obtained for the distinct phases of the crop, with the initial phase being 0.48, the development phase was 0.74, the middle phase was 0.84, and the maturation phase was 0.64.

Keywords: corn crop, baseline evapotranspiration, real evapotranspiration, crop coefficient, hydric balance of the soil

I. INTRODUCCION

El cultivo de maíz se encuentra en la tercera posición a nivel de productividad, por debajo del arroz y trigo, además se acomoda a distintas condiciones edafoclimáticas (INEI,2018).

El cultivo de maíz es de gran relevancia en el ámbito agrícola del Perú, y se destaca por su amplia extensión de cultivo de aproximadamente 520 000 hectáreas en todo el país cada año. Además, se estima que alrededor de 82 000 familias dependen directamente de este cultivo, lo que subraya su relevancia tanto en el aspecto social como económico del país (García, 2020).

La escasez de agua cobra mayor importancia frente la variabilidad y cambio climático incluso en regiones con alta disponibilidad hídrica con cortos periodos deficitarios no logra cubrir la necesidad hídrica en la localidad. Con la creciente demanda de recursos hídricos por parte de los sectores en competencia, centrándose en la eficiencia del uso de agua en los campos de regadío (Hatfield et al. 1996).

Las formas tradicionales de aprovechamiento y dotación de agua en zonas indudablemente húmedas como el desconocimiento del requerimiento hídrico del cultivo Kc, requieren su entendimiento en el sistema agua suelo y planta. Por lo tanto, cualquier intento de mejorar la eficiencia del uso del agua debe estar basado en estimaciones precisas de la evapotranspiración, que considera tanto la evaporación del suelo como la transpiración de los cultivos (Allen et al., 2006).

La campaña agrícola de la región Huánuco, periodo junio – setiembre 2018, presentó condiciones climáticas con temperatura media y precipitación normal, el cultivo de maíz ocupó el segundo lugar en mayor superficie cosechada con maíz amiláceo (12 303 ha) y maíz amarillo duro (11 325 ha). de acuerdo con los registros de MINAGRI un total de 28,816 ha, de las cuales 12,002 ha se destinarían al cultivo de maíz amarillo duro, 15,691 ha al cultivo de maíz amiláceo y 1,123 ha al cultivo de maíz choclo. Particularmente este estudio observo el 95% de los distritos tiene cobertura del cultivo de maíz. Los productores manejan en parcelas maíz amiláceo como monocultivo y cultivos asociados a café, plátano, frejol y algodón bajo condiciones mayormente de secano. Emplean tecnologías de producción comercial y autoconsumo en parcelas de 0.5 a 2 Has.

En el centro de investigación y producción Tulumayo de la UNAS como en el valle del Huallaga Central, San Martín, durante la evaluación de densidades de siembra y variedades de maíz, las condiciones de temperatura y precipitación no fueron favorables durante los últimos meses de agosto y julio con solamente 71.70 mm y 36.20 mm de lámina de agua disponible, cuando el cultivo se encontraba en etapa de floración mostrando síntomas de estrés hídrico, se debió aplicar riego por gravedad para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo.

La habilidad para calcular, pronosticar y evaluar la ET del maíz y sus necesidades de agua, puede contribuir a cubrir de manera más efectiva los requerimientos hídricos y aumentar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura del cultivo.

A través de los lisímetros de drenaje en el sistema agua, suelo y planta es posible con un balance de humedad conocer la evapotranspiración y el coeficiente del cultivo de maíz a lo largo del ciclo vegetativo. El coeficiente del cultivo (K_c) es un factor clave en la estimación de las necesidades de agua de un cultivo en una región determinada. Este coeficiente tiene en cuenta varios factores como la temperatura, la humedad atmosférica, el tipo de suelo, entre otros, que influyen en el crecimiento del cultivo. (Duarte, Carmen, & Zamora, 2012). Por lo tanto, la determinación del K_c es importante para calcular las necesidades de agua de un cultivo en una zona específica. Esta información es crucial para mejorar la producción del cultivo y optimizar el uso del agua en la agricultura. El conocimiento de la evapotranspiración del cultivo de maíz (ETC) es importante para programar los riegos, optimizar la producción de los cultivos y modelizar la ET y el crecimiento de los mismos.

Ante esta situación insatisfecha se formula el siguiente problema ¿Cuál será el requerimiento hídrico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones óptimas de suelo y agua en el periodo de abril – julio en la estación climatológica José Abelardo Quiñones de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María?, planteándose la hipótesis: “El requerimiento hídrico para el uso consuntivo del maíz (*Zea mays* L.), supera la lámina de agua disponible para su desarrollo fenológico a condiciones óptimas de suelo y agua.

Objetivo principal:

- Estimar el coeficiente de cultivo para el maíz (*Zea mays* L.), utilizando lisímetro de drenaje a partir del mes de abril a julio en la estación meteorológica José Abelardo Quiñones de la UNAS.

Objetivos específicos:

- Monitorear las principales variables de la estación metereológica (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar).
- Determinar la evapotranspiración de referencia según Penman-Monteith y Tanque evaporímetro clase “A”.
- Realizar el balance hídrico en el suelo para obtener el Kc del maíz (*Zea mays* L.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del estudio

A continuación, se presentan algunos precedentes de estudios y evidencias de conocer el coeficiente del cultivo para el maíz en el ámbito internacional, nacional y local.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Abedinpour M. (2015) a través de tres lisímetros de pesada de 3,5 t, contenían monolitos de suelo de 1,5 m de profundidad sin perturbaciones, evaluó el coeficiente del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en sus estados de crecimiento en el Campo de Investigación del Centro de Tecnología del Agua en el Instituto de Investigación Agrícola de la India (IARI), Nueva Delhi, India. Con la relación de la evapotranspiración del cultivo ETC y la evapotranspiración de referencia ETo obtuvo valores de Kc durante la temporada de crecimiento entre 0,53 a 1,21 con un uso estacional acumulado de agua de cultivo de aproximadamente 411 mm. Mientras los Kc para las etapas inicial, desarrollo del cultivo, mitad de temporada y tardía fueron 0,40–0,60, 0,70–0,80, 1,1–1,21 y 0,50–0,65, respectivamente, mientras que los valores reportados para el maíz por la FAO son 0,3, 1,2, 0,3–0,6 para la etapa inicial, media y tardía, respectivamente. Los valores de Kc medidos fueron diferentes en cierta medida de los valores notificados por la FAO; la causa podría ser que los valores de Kc de la FAO son generalizados y recomendados para una amplia gama de condiciones climáticas. Otras causas podrían ser que las diferentes variedades de maíz tienen diferentes patrones de uso de agua de cultivo y evapotranspiración.

De otro lado, De Graft A & Kweku K (2012) estudio los efectos de las variables climáticas y la superficie de cultivo sobre el rendimiento del maíz en Ghana. Los resultados muestran que el rendimiento del maíz está relacionado positivamente con la superficie del cultivo y negativamente con las precipitaciones y la temperatura, un aumento de la temperatura aumenta la variabilidad del rendimiento mientras un aumento de las precipitaciones disminuye la variabilidad del maíz.

Reta S, & Faz C. (2000) evaluaron la respuesta del maíz a diferentes niveles de humedad en el suelo y rendimiento de granos y sus componentes. La cuantificación y efecto de diferentes niveles de humedad en el suelo en varias fases fenológicas del cultivo obtuvo la mejor respuesta del maíz en términos de rendimiento de grano y uso del agua evapotranspirada cuando el cultivo presento condiciones adecuadas de humedad en el inicio de las siguientes etapas fenológicas:

diferenciación de órganos reproductivos [35 a 51 días después de la siembra (dds)], inicio del crecimiento de la mazorca (52 a 65 dds), inicio de emergencia de estigmas (65 a 69 dds) y grano lechoso (85 a 120 dds). Esta respuesta puede ser obtenida con la aplicación de tres o cuatro riegos de auxilio, de acuerdo con la precipitación ocurrida durante el ciclo. Sin embargo, en un año de baja precipitación es necesario aplicar cuatro riegos de auxilio, coincidiendo cada uno de ellos al inicio de las fases fenológicas antes mencionadas. Las deficiencias de humedad durante la diferenciación e inicio de crecimiento de la mazorca provocaron una reducción del rendimiento de grano de 23 a 34 %, debido a la disminución del número de granos por mazorca de 15 a 26 %. Asimismo, una reducción de la evapotranspiración de 13 % durante el llenado del grano.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Se cuenta con estudios del coeficiente del cultivo Kc, clima, producción, distribución, razas y formas del cultivo de maíz en la zona norte centro y sur del país, como sigue:

El SENAMHI (año) evaluó el efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú, encontrándose los híbridos de ciclo tardío fueron de mayor eficiencia de producción de materia seca total e índice de área foliar por unidad de agua evapotranspirada, la mayor eficiencia de los cultivares está en la producción de follaje y otras partes y menor proporción en la producción de granos.

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015), a través del estudio de asesoría prospección, colección, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de conocimientos tradicionales asociados al cultivo de las razas de maíz, para conocer la distribución y concentración de razas nativas de maíz en el Perú como los factores socioeconómico y cultural, ecológico y agroecológico relacionados en trece (13) departamentos. Huánuco además de una agricultura de producción también posee una agricultura tradicional de explotación con cultivos como papa en primer lugar con 33,629.00 ha, maíz amiláceo con 14,211.00 ha, seguidos de maíz amarillo duro, trigo, plátano, arroz, cebada y frijol grano seco que en total ocupan 94,094.50 ha. Las razas de maíz colectadas en la región corresponden a Alemán, Ancashino, Cubano, Amarillo, Cuzco, Chuncho, Granada, Huanuqueño, Marañón, Morocho, Kculli, San Gerónimo, Paro, Perla, Perlilla, Rrienda, Shajatu y Tambopateño, no reportando colectas en las provincias de Huacaybamba, Puerto Inca, Lauricocha y Yarowilca. La intención de siembra para el cultivo de maíz señala para la campaña

agrícola 2014 – 2015 en la región Huánuco de acuerdo con los registros de MINAGRI un total de 28,816 ha, de las cuales 12,002 ha se destinarían al cultivo de maíz amarillo duro, 15,691 ha al cultivo de maíz amiláceo y 1,123 ha al cultivo de maíz choclo. Particularmente este estudio observo el 95% de los distritos tiene cobertura del cultivo de maíz, entre los 70 de ellos, Rupa Rupa ubicado a 648 m.s.n.m. sí práctica el cultivo de maíz. Los productores manejan en parcelas maíz amiláceo y MAD como monocultivo y cultivos asociados a café, plátano, frejol y algodón bajo condiciones mayormente de secano. Emplean tecnologías de producción comercial y autoconsumo en parcelas de 0.5 a 2 Has.

De acuerdo con el Plan Nacional de Cultivos 2018-2019 del MINAGRI, la campaña agrícola de la región Huánuco, periodo junio – setiembre 2018, presentó condiciones climáticas con temperatura media y precipitación normal, el cultivo de maíz ocupó el segundo lugar en mayor superficie cosechada con maíz amiláceo (12 303 ha) y maíz amarillo duro (11 325 ha).

Acerca de estudios orientados a conocer las variables climáticas, la evapotranspiración y el coeficiente del cultivo Kc con lisímetros de drenaje, en particular se cuenta con investigaciones realizadas en la región de Lima y Puno. Neira, H (2019) y Padilla, S (2016) en la Universidad Nacional Agraria la Molina utilizaron lisímetros de drenaje para determinar los coeficientes del cultivo del césped americano (*Stenotaphurum*) y Arroz. De igual modo en la localidad de Illpa, Puno, Canllahui, M (2013) utilizo el método del lisímetro de drenaje para calcular la evapotranspiración del cultivo de papa.

2.1.3. Antecedentes locales.

En la zona de influencia de la UNAS, específicamente en la localidad de Tulumayo, se cuenta con estudios acerca del comportamiento y rendimiento del cultivo de maíz, donde se evidencio durante los últimos días ciclo del cultivo presentaron estrés hídrico los meses de junio, julio y agosto debido a la variación del régimen climático de la precipitación y la temperatura. Asimismo, en Tingo María se ha evaluado la evapotranspiración potencial por los métodos tradicionales y lisímetros de drenaje cuyos valores son significativos comparados con estudios similares en la zona.

Chávez F (2002) evaluó el comportamiento de híbridos y variedad de maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima durante los meses de julio a noviembre 2001 en el centro de investigación y producción Tulumayo de la UNAS, encontró mejores rendimientos del maíz en un híbrido (XB8010), la temperatura media y precipitación mensual fluctuó dentro

del rango óptimo para su desarrollo excepto el mes de agosto con 71.70 mm cuya condición no favorable pudo ser controlada mediante prácticas de manejo del cultivo.

De igual manera López Gaona (2017) evaluó tres densidades de siembra con siete híbridos del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), en un sistema de siembra bajo riego, en la zona del Huallaga Central, San Martín, durante los meses de marzo a julio 2014, obtuvo mayor rendimiento con maíz híbrido Dow 2B688, la temperatura media se encontró dentro del rango, sin embargo las precipitaciones no fue favorable el último mes de julio con 36.20 mm, cuando el cultivo se encontraba en etapa de floración con síntomas de estrés hídrico, se aplicó riego por gravedad.

Arica, M. (2001) determinó la evapotranspiración potencial para la zona de Tingo María según los métodos del lisímetro de drenaje, tanque tipo A y Penman, los mismos no difieren significativamente. Los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre presentaron los mayores valores de evapotranspiración propios de la estación de verano. Los valores obtenidos por el autor son similares con aquellos valores obtenidos de estudios anteriores el año 1986 por el INIPA y el PEAH para la zona de Tulumayo (influencia de 25 Km desde la estación José Abelardo Quiñones).

2.2. El maíz (*Zea mays* L.)

2.2.1. Origen

Según García (2017), el maíz, originario de las Américas, es uno de los cereales más importantes para garantizar la seguridad alimentaria en todo el mundo, junto con el arroz y el trigo. Estos tres cultivos son los más ampliamente cultivados en todo el mundo y desempeñan un papel fundamental en la alimentación humana.

La variedad marginal 28 tropical fue sometida a mejoramiento por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y configurada para adaptarse a las condiciones tropicales de la selva y la costa norte del Perú (INIA, 2007).

2.2.2. Clasificación Taxonómica

De acuerdo (Cabrerizo, 2012), el maíz se clasifica:

Reino : Vegetal

División	: Angiosperma
Clase	: Monocothyledoneae
Subclase	: Monocotiledóneas
Orden	: Poales
Familia	: Gramíneas
Género	: <i>Zea</i>
Especie	: <i>Zea mays</i> L.

2.2.3. Ciclo del cultivo

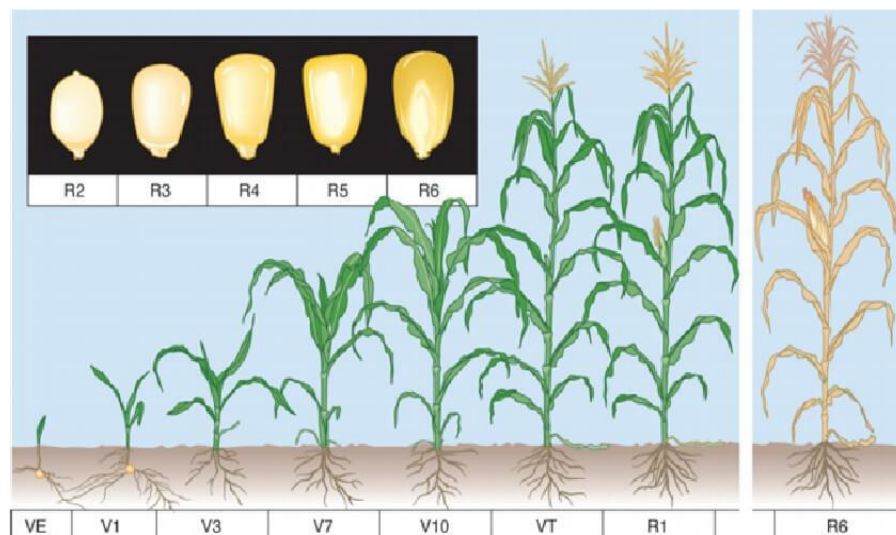
Las variedades de maíz varían de una región a otra. La mayoría de los agricultores suelen cosechar desde finales de septiembre hasta principios de enero, siembran semillas al comienzo de la temporada de lluvias, por lo que el rendimiento es mejor. La variedad mejorada tiene un ciclo vegetativo de hasta 270 días; sin embargo, la duración depende de la variedad y el uso que se le vaya a dar, ya sea para choclo o grano seco (Iniap, 2011).

2.2.4. Fenología

De acuerdo a (Inta, 2012), los eventos importantes ocurren en ciertas etapas del desarrollo fenológico del maíz, como se analiza:

- a) V₃: En este estado se forma la tercera hoja desarrollada, siendo el suelo base de su crecimiento, refleja daños y atrasos las fluctuaciones de temperaturas frías, no se aprecia efecto en elongación y rendimiento.
- b) V₆: En este estado, se debe agregar fertilizante adicional, ya que el sistema radicular es homogéneo en el suelo, por otro lado, se evidencia signos y/o síntomas de baja distribución de macronutrientes o micronutrientes.
- c) V₉: Se forma en el cuello de la novena hoja, encontrándose algunas mazorcas basales y una de ellas prospera deprisa dentro del sistema. También se genera el proceso de acumulación de biomasa el cual genera suministro de alimento y agua, proceso que persiste durante todo el periodo reproductivo.

- d) V₁₂: Se evidencia la formación de la mejor panoja y además la cantidad de óvulos potenciales por panoja, siendo relevante la incorporación de nutrientes y agua.
- e) V₁₅: En esta etapa se evalúa y determina el rendimiento, a su vez se generan casi a diario las hojas y en las mazorcas mas altas van acompañadas se sus sedas o cubiertas.
- f) R₁: En esta etapa, se determina el número de óvulos fertilizados, los no fertilizados llegan a morir sin generar semillas. Durante este tiempo, el estrés hídrico uno de las tensiones ambientales que afectan la fecundación y el cuaje, ocasionado el secado de las sedas y granos del polen. Entre el estado R₁ al R₅ ocurre el llenado de semillas, al igual que las diferentes infecciones por patógenos u otros indicadores lo cual merita realizar los diferentes controles fitosanitarios.
- g) R₅: Etapa donde el peso de los granos se reduce por los factores de estrés y heladas, evidenciando desecación de granos desde la parte superior de la mazorca (capa blanca de almidón).
- h) R₆: Fase vegetativa en el cual el grano alcanza su máximo desarrollo y peso para su cosecha posteriormente.



Fuente: Emerson Nafziger (s/f).

Figura 1. Fases fenológicas del *Zea mays* L.

2.2.5. Requerimientos básicos

2.2.5.1. Clima

El cultivo de maíz para su desarrollo oscila de 15 °C a 30 °C; también resiste a temperatura de al menos 8°C, a 30°C puede haber problemas para absorber minerales y agua. Mientras la temperatura ideal para el crecimiento de la mazorca es entre 20 y 32°C (FAO, 2012).

2.2.5.2. Temperatura y luminosidad

La temperatura y la luz tienen un impacto directo en la temporada de crecimiento. A registros de temperaturas por debajo a 13 °C, el crecimiento del cultivo de maíz es restringido. Para la obtención de un rendimiento máximo la temperatura promedio debe fluctuar de 20 °C a 22 °C. Si existiera temperaturas muy elevadas, la radicación se usa de manera más clara y eficiente en la fotosíntesis, pero la viabilidad de la hoja su tiempo disponible para absorber la radiación se reduce. (Squire, 1990).

2.2.5.3. Humedad

El intervalo de humedad que requiere el cultivo de maíz es de 80 – 90 % y de 700 a 1300 mm de lluvia. La temperatura ideal para cada etapa fenológica, que se muestra en la Figura 2 a continuación (Manual Agropecuario, 2001).

Etapa Fisiológico	Temperatura en °C		
	Mínima	Optima	Máxima
Germinación	10	20-25	40
Crecimiento	15	20-30	40
Floración	20	21-30	30

Fuente: Manual Agropecuario (2001).

Figura 2. Demanda de temperatura en la etapa fisiológica del maíz.

2.2.5.4. Suelo

Los suelos arcillosos limosos, francos y limosos con pH que oscila de 6.5 a 7.5 se adaptan mejor para el ciclo vegetativo completo del cultivo de maíz. Así mismo los suelos con buen estrato de materia orgánica y un correcto drenaje para evitar la retención de agua y la posterior asfixia de las raíces (Infoagro, 2012).

2.2.5.5. Agua

En cuanto a los requerimientos hídricos, el maíz es sensible a su deficiencia y exceso, de igual forma, la planta requiere máxima humedad durante el período de floración (2 semanas antes y 2 semanas después de la aparición del pistilo), y el efecto de la sequía cuando se reduce

el llenado de grano reduce el tamaño de éste. La demanda de humedad oscila entre 600 y 900 mm de agua bien distribuidos durante el crecimiento de la planta. (Delgado et al., 2003).

El requerimiento de agua durante el ciclo de crecimiento varía entre los 600 mm a 800 mm, no debiendo dicho recurso en el periodo de germinación y floración. En esta etapa tardía se produce la máxima demanda de agua, es decir, 15 días antes de la floración, hasta la formación y llenado de la mazorca. La falta de agua y nutrientes nitrogenados, unas tres semanas antes de que florezca la flor femenina, dañará irreversiblemente la cosecha (Villar, 1995). Para Lafitte (1994) el cultivo de maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante su ciclo del cultivo, llegando hacer insuficiente si la humedad no logra ser almacenada en el suelo a causa de la baja profundidad de este o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande a causa de las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa

2.2.5.6. Riego

El requerimiento importante de agua es de 5 mm diario, en la fase V_e se requiere bajo contenido de humedad, sin embargo durante el crecimiento las necesidades hídricas aumentan por lo que se recomienda regar 10 o 15 días antes de iniciar la floración. La etapa de floración es importante porque un buen suministro de agua ayuda a que la planta forme y llene los granos. Durante la etapa aumento y maduración de la mazorca el requerimiento de agua desciende (Yanez, 2007).

Una cuestión de tiempo es calcular la humedad disponible y qué tan rápido se agota. El problema es determinar volumen de agua que hará que la calidad de humedad del suelo sea más favorable para las plantas. Este suele ser el máximo que el suelo puede contener en la zona radicular. (Bruce & Stanley, 1986).

2.3. Evapotranspiración

Se refiere al descenso del agua por evaporación desde cualquier punto de la superficie (suelo húmedo, superficie de agua, etc.) y transpiración del cultivo existente en el medio. Siendo determinante la calidad del agua que recorre a la superficie terrestre, lo cual es relevante para la determinación de la homogeneidad hídrica y/o balance hídrico. Además, es un indicador del balance hídrico, y un componente importante en la determinación de las necesidades hídricas de las plantas y por consiguiente en la programación de riego (Droogers, 2000). Cuando el suelo

se encuentra en capacidad de campo (CC) se da la mayor capacidad de evapotranspiración del cultivo, sin embargo, si el contenido de humedad del suelo es por debajo de la capacidad de campo, donde las estomas de las hojas de los cultivos se cierran progresivamente, con la finalidad de realizar menor transpiración y así incorporar el agua (Schosinsky, 2007).

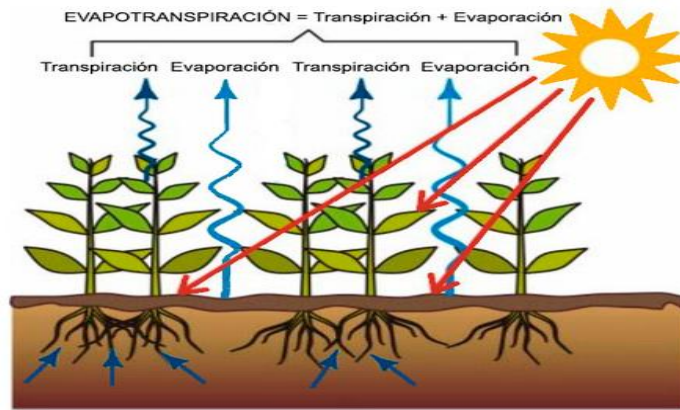
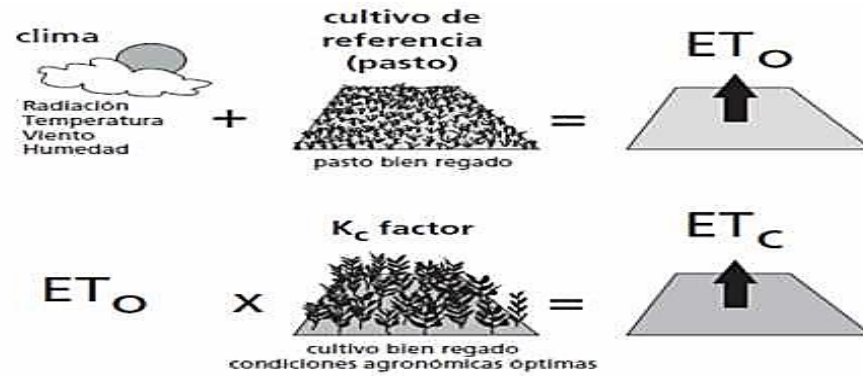


Figura 3. Esquema de evapotranspiración.

2.3.1. Evapotranspiración de referencia (ETo)

Consiste a la cantidad del recurso hídrico que se evapora de una superficie completamente cubierta por un cultivo hipotético (Jaramillo, 2006), en las cuales se tiene como referencias como las que se produce en una extensa superficie cubierta de césped de 0.08 a la 0.15 m en crecimiento activo en la que cubre totalmente la superficie del suelo, con crecimiento activo que cubre la superficie del suelo para el crecimiento de las plantas y un buen riego. Actualmente se encuentran muchas maneras de estimar la ETo como son: Tanque evaporímetro, Blanney.Cridle y Penman-Montieth, el primero por su complicidad, el segundo por su simplicidad y mayor exactitud en el primero, y el tercero por su contribución científico y aceptación en el mundo (López, 2010).

Esta expresión está en relación a la variación de la temperatura del aire que va de 0 °C y 30 °C, que valida el ritmo e intensidad de las etapas fisiológicas de los cultivos, y la medida de evaporación directa del agua presente en la vegetación y el suelo. La Eto está fundamentada por factores climáticos (figura 3). La ETo puede ser medida por lisímetros en las cuales se emplean cultivos de referencia tales como alfalfa o pasturas, o evaluada con tanques de evaporación mediante datos meteorológicos (Otegui, 2009).



Fuente: FAO (2006).

Figura 4. Evapotranspiración del cultivo de referencia.

2.3.2. Etc bajo condiciones estándar

Cuando el cultivo se encuentra libre de enfermedades, con buen manejo de fertilización, las plantas se cultivan en grandes áreas, en condiciones óptimas de suelo y agua, para un rendimiento máximo dependiendo de las condiciones climáticas (Allen, 2006).

En condiciones de buena provisión hídrica, la demanda de agua por la planta (ET_c) se encuentra firmemente relacionado con su cobertura, representada por el índice de área foliar, este consumo que está determinado por dos procesos: las plantas transpiran y el suelo evapora (Otegui, 2009).

2.3.3. Etc bajo condiciones no estándar (Etc aj)

En la FAO, esto se llama ET_c ajustada que regula dónde crecen y se desarrollan las plantas dentro de parámetros ambientales y manejo sin restricciones. En condiciones de campo corregidas puede ser menor que la ET_c requerido a condiciones no óptimas. Se describe a cultivos que crecen y se desarrollan bajo condiciones ambientales y de uso sin restricciones. En condiciones de terreno la ET_c ajustada puede ser menor que la ET_c requerido a condiciones no óptimas, se le denomina evapotranspiración real (E_{tr}) (Texeira, 2013).

2.3.4. Evapotranspiración Potencial (ET_p)

Es la tasa de la evapotranspiración que sucede a partir de una agrupación del suelo húmedo y plantas, cuando no existen limitaciones de agua, con lo cual simboliza la evapotranspiración máxima que podría ocurrir a partir de una superficie de cubierta vegetal. La ET_p es la magnitud máxima de ET en la cual es favorable en condiciones óptimas, su estimación

es muy difícil, por lo que se han propuesto ecuaciones empíricas en muchas partes del mundo (Dole & Vega, 2014).

El agua en la superficie del suelo a través del cual la precipitación y en respuestas a las condiciones atmosféricas se tiene una potencial pérdida del recurso hídrico en el sustrato superficial y subsuperficial (demanda atmosférica), simbolizada por la ET_P (Coral, 2015), que en estos casos va a ser proporcional a la humedad del suelo, que puede ser relacionada con la variación de la humedad a través de la CC y PMP (Schosinsky, 2007).

2.4. Métodos para determinar la Eto

2.4.1. Método de la FAO

La relación de la ET_o hipotética donde se proporciona un dato basal que busca comparar la evapotranspiración de los diferentes estadios del año o en diferentes regiones, al igual que guarda relación con la ET de los diferentes cultivos. (Allen et al., 2006).

$$ET_o = \frac{0.408 (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

Donde:

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

G : Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

γ : Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (ms⁻¹)

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a : Presión real de vapor (kPa)

2.4.2. Método de tanque evaporímetro

El tanque evaporímetro proporciona una escala integrada entre la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el sistema evaporativo de un espacio abierta de agua, siendo los

mismos factores que afectan a la transpiración del cultivo, sin embargo algunos de ellos afectan directamente en la pérdida del recurso hídrico dentro de una superficie libre y otra cultivada. La relación correcta para la determinación de la evaporación está dada por el producto entre la evapotranspiración y un factor que lo determina el tanque (Fao,2006).

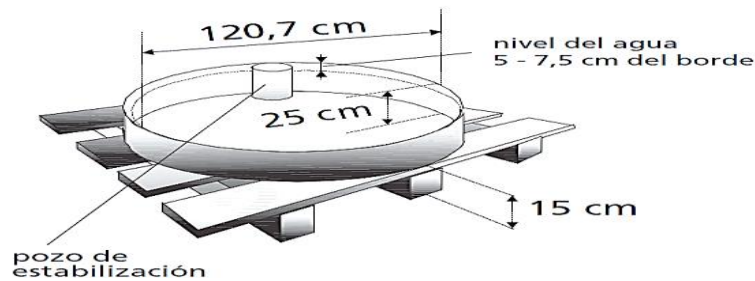
$$E_{To} = K_p \times E \quad (2)$$

Donde:

E_{To} : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

K_p : Coeficiente empírico de tanque

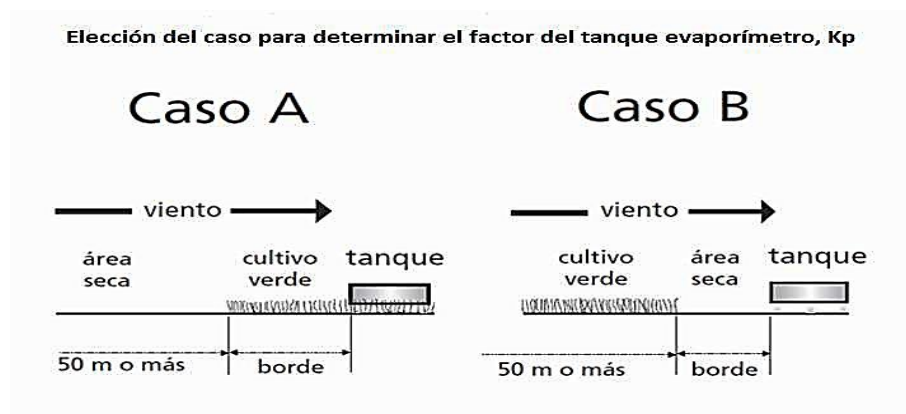
E : Evaporación libre de tanque clase A (mm/día)



Fuente: FAO (2006).

Figura 5. Características del tanque clase “A”.

El factor del tanque (K_p) se considera en función a la localización de las condiciones climáticas, siendo la siguiente figura y cuadro que detalla a continuación los diferentes criterios o parámetros a tener en cuenta para la elección del factor de tanque.



Fuente: Boletín técnico N°2 (2014).

Figura 6. Criterio de ubicación del tanque de evaporación.

Velocidad Viento (m/s)	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
	Distancia del cultivo a barlovento (m)	HR media			Distancia de barbecho al barlovento (m)	HR media		
		baja < 40	media 40-70	alta > 70		baja < 40	media 40-70	alta > 70
Baja < 2	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.6	0.7
Moderada 2-5	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.7	0.8	0.8	1000	0.45	0.55	0.6
Alta 5-8	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
Muy alta >8	1	0.4	0.45	0.5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.55	0.6	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65	1000	0.35	0.4	0.45

Fuente: FAO (2006).

Figura 7. Valores de relaciones del tanque de evaporación.

2.5. Evapotranspiración de cultivo (Etc)

Proceso que ocurre desde la superficie terrestre a la atmósfera del comportamiento de transferencia del agua, tomando en consideración también la evaporación del agua líquida o sólida (precipitación interceptada por el cultivo, el rocío y escarcha), la pérdida del recurso hídrico se da por medio de las hojas del cultivo se le conoce como transpiración (Damario, 1978)

Conjunto de la evaporación desde el suelo y transpiración de la planta o evaporación, siendo necesaria entender, comprender y así desarrollar un programa para riego (Ding et al. 2013). Una cálculo preciso del Etc articula un buen manejo del agua (Gao et al., 2014), de modo que es esencial contar con un prototipo fácil y preciso para la distribución homogénea de la lámina de riego (Zhand et al., 2013).

La Etc es necesario para gestionar el riego de forma eficaz, ajustar la cantidad y frecuencia de riego a los requerimientos del cultivo para un buen manejo para apuntar a rendimientos elevados, realizando la utilización idónea de los recursos de agua y energía (García, 2010).

La ETc necesita de la proporción de agua suministrada a la planta, pese a que la ETc es elevada, sino existe proporciones significativas de agua en el suelo, los cultivos solo suministrarán una mínima fracción directamente disponible. Algunos cultivos son capaces de

sus estomas con el fin de impedir el proceso de evapotranspiración y por consiguiente poder tomar agua (Rojas, 2009). Como resultado, las plantas pueden mostrar síntomas iniciales de marchitez durante los períodos de elevada ETp.

La Etc guarda relación directa con la sostenibilidad del agua (Soria et al., 2013), además su cambio o afectación depende de los factores climático (temperatura, humedad, radiación y velocidad de viento) (Allen et al., 2006).

Su cálculo directo es por medio del uso del lisímetro, pero también es una relación aritmética del ETo modificada por el Kc del del cultivo (Basso et al., 2016).

Palomino (2009) explica que la evapotranspiración se relaciona con la demanda da hídrica del cultivo creciendo en condiciones ambientales favorables, con buen manejo agrotécnico.

Ordoñez (2012) indica que la evapotranspiración del cultivo ocurre por ausencia del recurso hídrico en la superficie y requiere de estados de la planta, como los atributos de la planta, la tasa de crecimiento de la planta (temporada de crecimiento) además de las diferentes exigencias climáticas de humedad relativa, temperatura y viento se calculan mediante la fórmula:

$$ETc = ETo \times Kc \quad (3)$$

Existen diferentes métodos para calcular la ETc, como la transferencia de masa, el balance energético, el balance hídrico del suelo en tierras de cultivo o lisímetros (Allen et al. 2006).

2.6. Balance hídrico del suelo

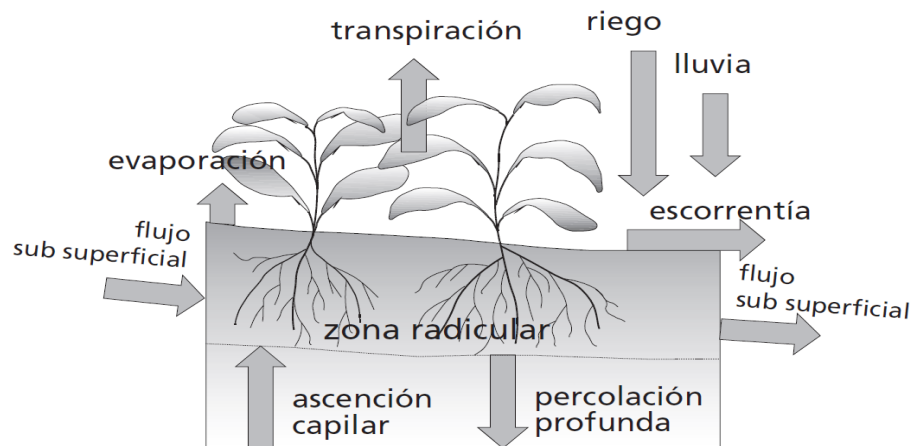
Según Allen *et al.* citado por Padilla (2016) se basa en consideraciones de entrada y salida de los flujos de la zona radicular del cultivo en un tiempo determinado. El riego (R) y la precipitación (P) aportan agua a la zona radicular; Es posible que se pierda algo de R y P debido a la escorrentía superficial (ES), y percolación profunda (D) lo que finalmente conduce a la recarga de las aguas subterráneas. Los parámetros de transpiración y evaporación del cultivo son quienes inducen al agotamiento del agua en el sistema radicular, así mismo los otros flujos pueden ser evaluados parcialmente, la evapotranspiración se determina en función a la variación

de la concentración del contenido de humedad de agua en el suelo (ΔSW) en un intervalo de tiempo.

$$ET_c = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta SW \quad (4)$$

Triana et al. citado por Padilla (2016) muestran que, sin considerar las variables innecesarias, difíciles de encontrar sus escalas y sin exagerar la pendiente, la fórmula de equilibrio dependerá principalmente de las siguientes variables: riego, lluvia, percolación profunda y variación de humedad en el suelo. Por tanto, la ecuación de balance agua en el suelo tomará la siguiente forma:

$$ET_c = R + P - D - \Delta SW \quad (5)$$



Fuente: FAO (2006).

Figura 8. Homogeneidad hídrica en el sistema radicular.

2.6.1. Humedad en el suelo

a) Proceso gravimétrico

Medición directa de la humedad, que se obtiene de la diferencia del peso húmedo y seco a 105 °C en relación con el volumen de la muestra. Aunque este es uno de los métodos tradicionales más utilizados, tiene un impacto negativo en el suelo porque destruye el suelo, imposibilitando tomar nuevas medidas en el mismo lugar, lo que es una gran desventaja cuando no hay una superficie apreciable. para este tipo de experimento. Cabe señalar dicho proceso guarda relación de la resistencia de agua en el suelo determinados por los diferentes sensores de humedad.

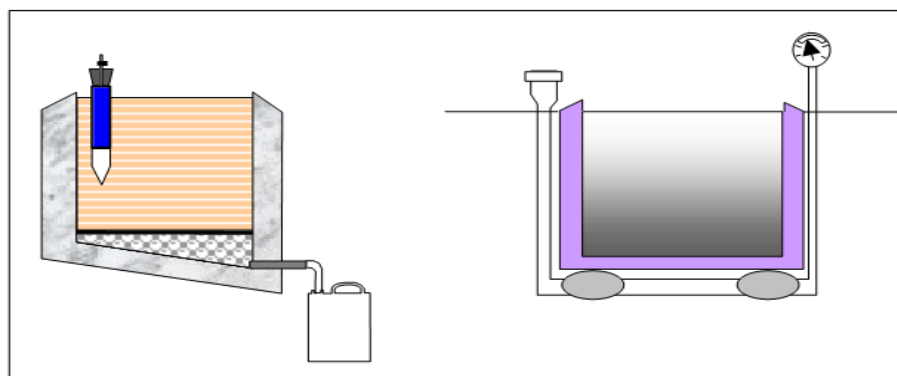
b) Proceso por tensiómetro

Se determina las diferentes tensiones negativas que ejerce las raíces para suministrar del suelo la humedad que necesita la planta. Inhibe como dato el porcentaje de humedad del suelo, pero opta el comportamiento de una raíz artificial. Siendo las partículas secas del suelo suministran liquido del termómetro, creando un vacío parcial en el dispositivo que queda reflejado en el vacuómetro. Cuanto más seca la tierra, más alto el valor registrado en el dial del vacuómetro (Catalogo Irrometer, 2012).

2.7. Lisímetro

Un lisímetro mide la cantidad de agua perdida o liberada debido a la evaporación, la precipitación y el empapado del suelo y la vegetación (Mejía, 2012).

Existen dos tipos de lisímetros con succión y sin succión, la diferencia entre ellos es que los que no tienen succión recolectan agua del suelo que naturalmente se filtra a través de él, es decir, agua que se evapora por gravedad, mientras que los que tienen succión aplican una succión para extraer agua del suelo rápidamente a través de material poroso. Además los medidores de goteo tienen un pico en la mitad inferior que permite recoger el agua infiltrante en un recipiente calculable (Según Tuñóncitado por Bochetti 2010), esta descripción se puede visualizar en la Figura 9.



Fuente: U.F.V.R. Lisímetros y métodos de evapotranspiración

Figura 9. Modelos de lisímetros.

2.8. Coeficiente de cultivo

El K_c juega un papel importante para determinar el E_t en la programación de un riego dentro de diversas prácticas agrícolas (Shirbeny et al., 2014). Al igual que transforma la E_o (evaporación de cultivo de referencia) a E_t (evapotranspiración de cualquier cultivo), tomando en cuenta la fase y/o fenológica del cultivo (Basso et al., 2016).

El valor del cociente entre la evapotranspiración del cultivo y evapotranspiración del cultivo de transferencia es denominado coeficiente de cultivo (K_c), denotado por la ecuación siguiente:

$$K_c = E_{t_c} / E_{t_o} \quad (6)$$

Siendo:

E_{t_c} : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

K_c : Coeficiente de cultivo (adimensional)

E_{t_o} : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Tabla 1. Coeficiente de cultivo según la FAO.

Cultivo	Etapas inicial	Etapas media	Etapas final
Maíz	0.8	1.2	0.2

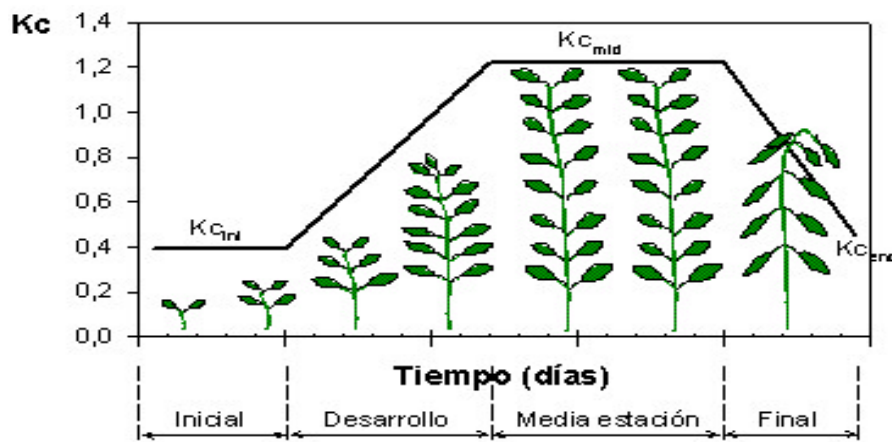
Fuente: Manual 56 de riego y drenaje, citado por Allen et al. (2006)

Según Doorenbos y Pruitt (1987) el K_c representa la variación de agua que las plantas absorben del suelo a medida que se desarrollan, desde el momento de siembra hasta la fase de cosecha. El coeficiente de cultivo (K_c) describe el cambio en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que crecen, desde la siembra hasta la cosecha; de igual manera son dependientes de su fase fenológica y comportamiento del cultivo, llegando a determinarlo por medio del balance hídrico. Para FAO (2006), es un parámetro que permite determinar la E_{t_c} entre la E_{t_o} .

2.8.1. Etapas fenológicas para determinar el “ K_c ”

FAO 56 (2006), menciona que conforme se realice las diferentes etapas fenológicas del cultivo, la cobertura sobre el suelo, elongación del cultivo y el área foliar cambian progresivamente debido a la transpiración en sus diferentes fases fenológicas de crecimiento

del cultivo, así mismo muestra cambios el K_c durante todas sus etapas fenológicas que por lo general se dan de la siguiente manera inicial, desarrollo, medio y final.



Fuente: FAO Guía N° 56.

Figura 10. Variación del K_c en función al estado de desarrollo.

El coeficiente de cultivo se refleja mediante una curva vs las etapas del desarrollo del cultivo, denotados como etapas fenológicas: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedias y final de ciclo (FAO, 2006).

- Etapa inicial: Inicia de la siembra hasta que la índice área foliar alcance un 10 % de cubrir el suelo (FAO, 2006)
- Etapa de desarrollo: Inicia cuando concluye la etapa anterior y se prolonga hasta días antes de la floración (FAO, 2006)
- Fase intermedia: Inicia en la floración hasta que el cultivo alcance un desarrollo de cobertura de 70 a 80% (FAO, 2006)
- Etapa final: se considera desde la madurez hasta cosecha (FAO, 2006).

Por otro lado, los valores o índices del K_c en las diferentes etapas para el cultivo de maíz son: inicial (0.40), desarrollo (0.80), media temporada (1.15) y final (0.70)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la estación meteorológica José Abelardo Quiñones de la UNAS, políticamente ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y departamento de Huánuco. Se encuentra a 1.8 Km de la localidad de Tingo María, localizado en las siguientes coordenadas geográficas a 9° 17' 31'' Latitud Sur, 75° 59' 16'' Longitud Oeste o en coordenadas proyectadas UTM a: 390137 Este y 8970686 Norte, sobre los 660 msnm.

3.1.1. Clima

El clima característico es tropical con los datos del mes de abril a julio del año 2019, donde la temperatura media varía alrededor de los 25.5 °C, máxima de 31 °C y una mínima de 20.20 °C. La precipitación promedio mensual fue de 284.70 mm. La humedad relativa oscila entre 80 a 90%., con una media de 84.70 % y 149.50 horas sol media mensual (Gabinete de Meteorología y Climatología, 2019).

3.1.2. Zonas de vida

De acuerdo al Mapa Ecológico del Perú, el distrito Rupa Rupa “Tingo María” pertenece a la zona de vida denominada Bosque muy Premontano Tropical (bmh – PT), transicional Bosque húmedo tropical (bh - T) (Holdridge, 1997).

3.2. Materiales, herramientas y equipos

3.2.1. Material biológico de estudio

Para la parte experimental, semillas del cultivo de maíz (*Zea mays* L).

3.2.2. Materiales y herramientas

Para las diferentes actividades relacionadas al estudio se utilizó como materiales de campo: libreta de campo, maceta de concreto, 01 timbos, balde de 18 L, Tubo PVC 2”, 7 metros de manguera de 1”, balde de 4L, pegamento, macilla, 5 kg grava fina, 5 kg de cemento y botas. Por otro lado, las herramientas empleadas fueron: rastrillo, wincha, machete, lampa, azadón, pico y carretilla.

3.2.3. Equipos de campo

Se utilizó: probeta de 1000 mL (plástico), bomba manual de succión, 01 tensiómetro marca IRROMETER, tanque evaporímetro Clase “A” y otros.

3.2.4. Equipos y software de gabinete

- Laptop Core i7
- Microsoft Excel

3.3. Metodología

3.3.1. Monitorear las variables climáticas

Para la investigación se recopiló los datos climatológicos de la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones de la UNAS durante el periodo de evaluación que se realizó desde el 01 de abril hasta el 31 de julio del año 2019.

3.3.2. Actividades culturales y preparación del área experimental

- El área de trabajo se procedió a marcar con cal, luego se colocaron postes de tubo galvanizado de 2” y 1/2 sobre un base de concreta circular de 0.20 m de diámetro y un espesor de 0.15 m, circulando con alambre de púa galvanizada en tres niveles, dejando una puerta de una hoja metálica, dentro de ello se marcó con cal un área de trabajo de 1 m x 1 m para el trabajo experimental.
- Periódicamente se cultivó las malezas en la extensión del terreno de 6 m x 6m y en la parte alta del terreno, se apertura canales de forma rectangular para evacuar el exceso de agua.

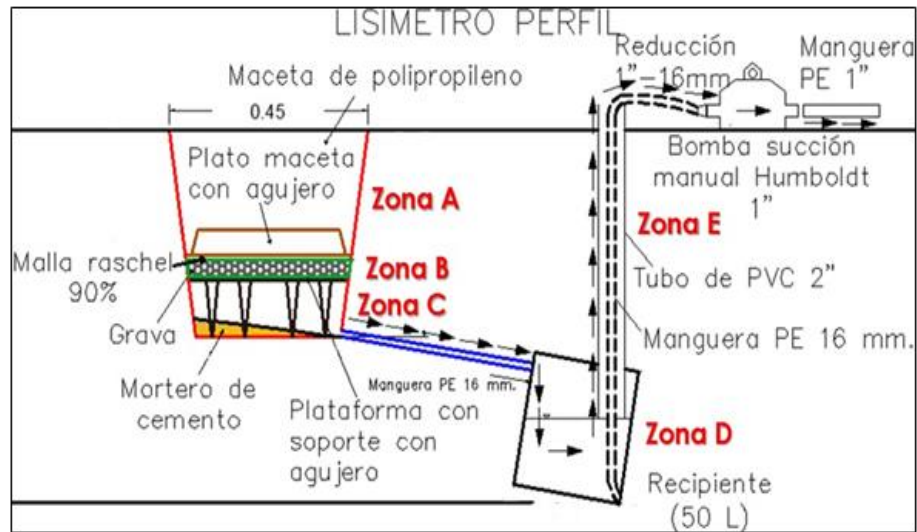
a. Instalación del lisímetro

El lisímetro se colocó en un área despejada para garantizar el ingreso de la radiación solar y el viento, se sembró cultivo de maíz en la parte superficial de la maceta. Para el proceso de instalación del lisímetro se realizaron las siguientes actividades:

- Se realizó labores culturales (excavación) de un área de 1 m x 1 m x 1 m de profundidad para la colocación de la maceta de concreto con dimensiones de 0.45 m

de base mayor, 0.25 m de base menor y 0.85 m de altura. Así mismo para la ubicación del recipiente recolector (timbo) se inició otra excavación desde el nivel del suelo de 1.00 x 1.00 m² x 3.00 m de profundidad, teniendo en consideración una separación de 0.60 m.

- En una de las caras de la maceta de concreto existe un orificio de drenaje de 2” donde se colocó el tubo de PVC de 2” siendo pegado y masillado, donde se conectó un tubo de 0.60 m en el otro orificio realizado en la parte superior del timbo, siendo pegado y masillado para que así pueda evacuar el agua drenada dentro del sistema instalado dentro del recipiente recolector (timbo).
- Dentro de la maceta se colocó una estructura de fierro de 0.15 m de altura donde en la parte superficial cuenta con una placa de fierro de 0.25 mm cubierta por malla raschel ajustada al perímetro de la maceta que soportaba una capa de grava fina, para luego colocar sobre ello una bandeja de plástico boca abajo con orificios en la superficie para la percolación del agua en exceso
- El recipiente recolector (timbo) fue colocado con una leve inclinación para poder succionar el agua drenada, en la parte de la tapa del timbo se realizó un orificio de diámetro de 2” para poder introducir un tubo desde la base de una de las esquinas del timbo hasta 0.25 m fuera de la superficie del nivel de suelo.
- El suelo incorporado a la maceta cumplía con las condiciones mecánicas y físicas ideales para el crecimiento del cultivo de maíz. de dicha porción de tierra se sustrajo una porción para su proceso de análisis.
- La prueba hidráulica se realizó en el sistema del lisímetro ya instalado, en el cual se incorporó una cantidad de agua y evidenciando agua drenada con ayuda de una bomba manual de succión, el cual cuenta con una manguera de 1” conectada a su orificio de succión e introducida por el tubo de PVC de 2” hasta la base del recipiente recolector.



Fuente: Tomado de Padilla (2016).

Figura 11. Lisímetro de drenaje y sus componentes.

La estructura del perfil del lisímetro se da de la siguiente forma:

- Zona A: área donde se desarrollará el sistema radicular del cultivo en evaluación, así como la instalación del tensiómetro de humedad.
- Zona B: área de transición o paso donde se filtra el agua de manera libre, desciende de la zona radicular.
- Zona C: área donde golpea el agua sobre una superficie con mínima pendiente para su posterior paso al ala zona D.
- Zona D: depósito que recolecta el agua drenada que evacua desde el orificio de la parte inferior de la maceta por medio de un tubo PVC 2", la posición del recipiente recolector es con apoyo en una de sus bases generando pendiente mínima.
- Zona E: área donde se asocia el recipiente recolector con el recorrido vertical del agua por medio de una tubería PVC 2" que es succionado por la bomba manual, para su medida posterior del agua recolectada.

b. Siembra del maíz

La siembra del maíz fue de tres semillas por hoyo, descartando uno si lo requiere para evitar la competencia por nutrientes, separación de hoyo a hoyo fue de 0.15 m dentro del área de la maceta.

c. Instalación del tensiómetro irrometer

El tensiómetro irrometer de 0.30 m de alcance se introdujo en la parte central de la maceta. Para el proceso de instalación del Tensiómetro se realizaron las siguientes actividades:

- Se retiró la tapa del tensiómetro para humedecer la cápsula de cerámica en un recipiente con agua durante una noche, luego se colocó el tensiómetro sobre el suelo presionando lentamente y quede al nivel del manómetro, a continuación, se enrazó con agua el tubo de cuerpo, finalmente para la eliminación de burbujas de aire se utilizó la bomba de succión.

Interpretación de las lecturas:

- De 0-10 (cb): Indican un suelo con agua libre llegando a cero (saturado)
- De 10-20 (cb): Humedad a disposición de la planta con un esfuerzo mínimo.
- De 30-60 (cb): Rango de inicio de riego de acuerdo a la textura que predomina en el suelo.
- De 70 (cb) o superiores: Indican que la planta está padeciendo stress y se acerca al punto de marchitamiento. Puede ser que exista todavía humedad en el suelo, pero a la planta le resulta muy difícil extraerla.

3.3.3. Evapotranspiración de referencia (ET_o) por FAO Penman – Monteith y tanque evaporímetro Clase “A”

Para la determinación de la evapotranspiración, se han utilizado dos métodos directos, el método de tanque evaporímetro y Penman-Monteith.

Para el método de FAO Penman – Monteith se recolectaron los datos meteorológicos de la estación José Abelardo Quiñones de la UNAS de los meses de abril a julio de 2019, tales como: temperatura mínima y máxima (°C), humedad relativa (%), temperatura bulbo seco y húmedo (°C), horas sol, velocidad del viento (Km/h), así como información de latitud, longitud y altitud de la ubicación de la estación meteorológica, los cuales fueron introducidos a una hoja de cálculo de Excel para calcular el ET_o por FAO Penman- Monteith.

$$ET_o = \frac{0.408 (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

Para el método del tanque Clase “A” las lecturas de los datos del tanque fueron diarias durante el periodo de evaluación (abril – julio) del cultivo, como primera lectura a las 7:00 a.m. y la segunda lectura a 19:00 p.m., el cálculo de evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque tomando en consideración los criterios respectivos, se utiliza la siguiente fórmula:

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

3.3.4. Balance hídrico del suelo

a. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

La determinación del E_{Tc} se realizó mediante un balance hídrico de la zona A del cultivo, diariamente se midió en campo el drenaje (D), variación de humedad (ΔSW) y la precipitación. (P). El riego se realizó por las mañanas (6–7 a.m.), considerando las variaciones de contenido de humedad de agua en el suelo y las características fisiológicas del cultivo, la precipitación se considera como un aporte hídrico. La recolecta del agua de drenaje se realizó con la ayuda de una bomba manual de succión, para su conversión a unidades milimétricas se consideró el área de la maceta.

Dentro del balance hídrico para el suelo se despeja la incógnita de la evapotranspiración, mediante la siguiente fórmula:

$$E_{Tc} = R + P - D - \Delta SW \quad (5)$$

Mediante el lisímetro de drenaje sin succión se puede conocer o contabilizar la E_{Tc} del cultivo en la zona A de la maceta, a través de un balance hídrico de las masas de agua, como los cambios de agua que han sucedido por la evaporación y transpiración de la planta, para ser transferidos a la atmósfera y el suelo, esto debido al control del contenido agua en el suelo por la planta por las variables que integran el sistema.

b. Coeficiente de cultivo

Para la determinación del coeficiente de cultivo se realiza por un paso matemático con los datos obtenidos de E_{Tc} por el método del lisímetro dividido por el E_{To} determinado por el método Penman-Monteith.

El K_c depende directamente del tipo de cultivo, del área foliar desarrollado y la cobertura sobre el suelo, es importante mencionar que los valores de K_c determinados en este

estudio son para condiciones meteorológicas propias de la estación José Abelardo Quiñones – UNAS. La relación se detalla en la ecuación:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (7)$$

Recordar que el ET_o es un indicador de la demanda climática, el valor de K_c cambia principalmente por los efectos combinados de ciertas características del cultivo.

Luego que el K_c se determinó, se graficó la curva en el Microsoft Excel tabulando en el eje de abscisas días después de siembra con etapa fenológica, y en el eje de las ordenadas el valor del k_c .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Monitorear las variables climáticas

Durante el periodo o ciclo largo del cultivo de 120 días desde el 01/04/19 al 31/07/19, se observó como variables climáticas a la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, que se sintetiza en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las variables climáticas durante el periodo de evaluación.

Mes	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Prom. (C)	Vel. del viento (m/s)*	Hum. Rel. (%)	Rad. Solar (MJ m ⁻² /día)	Precipitación (mm)
Abril	30.56	21.19	25.88	1.36	83.67	10.38	212.00
Mayo	31.04	20.90	25.97	1.54	84.54	12.51	214.20
Junio	30.78	20.38	25.58	1.37	83.67	12.90	128.20
Julio	30.26	20.24	25.25	3.77	84.08	12.03	230.60
Promedio	30.66	20.68	25.67	2.01	83.99	11.95	196.25

(*) Velocidad del viento a 2 m de altura

Fuente: Elaboración propia.

Las precipitaciones durante los tres primeros meses, abril, mayo y junio estuvieron por debajo del promedio mensual histórico con 58.29 mm, 14.22 mm y 18.37 mm como se observa en la tabla 2. El mes de julio con 130.06 mm conto con una variación positiva respecto a la histórica cuyos déficits tuvieron que ser cubiertos por el contenido de agua del suelo con una variación positiva al final de 9.66 mm. De acuerdo con FAO (1987) y Egli y Hatfield (2014), el cambio debido a la variación y el régimen de la precipitación como la temperatura media influyen sobre el ciclo vital del maíz.

Según la Figura 12 la precipitación alcanzo los 785.10 mm repartidos durante el periodo de evaluación, mientras la distribución por etapa y/o fase fenológica ha sido la siguiente: inicial con 62.40 mm, desarrollo 299.80 mm, medio con 236.70 mm y en la final con 186.20. Para Lafitte (1994) el maíz requiere una precipitación por lo menos 500 a 700 mm distribuidas adecuadamente durante el ciclo vegetativo, evidenciando un ligero exceso de 5.10 mm. Sin embargo oscila entre 600 y 900 mm de agua bien distribuidos durante el crecimiento de la planta. (Delgado et al., 2003), encontrándose la precipitación acumulada de la investigación

dentro del intervalo, lo cual se puede afirmar que posiblemente existió un equilibrio parcial de la demanda evaporativa.

Durante la etapa media (floración y llenado de granos) se evidencia siete días sin precipitación desde 27/05/19 al 02/06/19, etapa donde el cultivo necesita demanda de agua, lo cual afirma Lafitte (1994) no es suficiente si el suelo no almacena la humedad necesaria, esto debido al escurrimiento o a la tasa de evaporación, debido a las altas temperaturas y mínima humedad en el suelo.

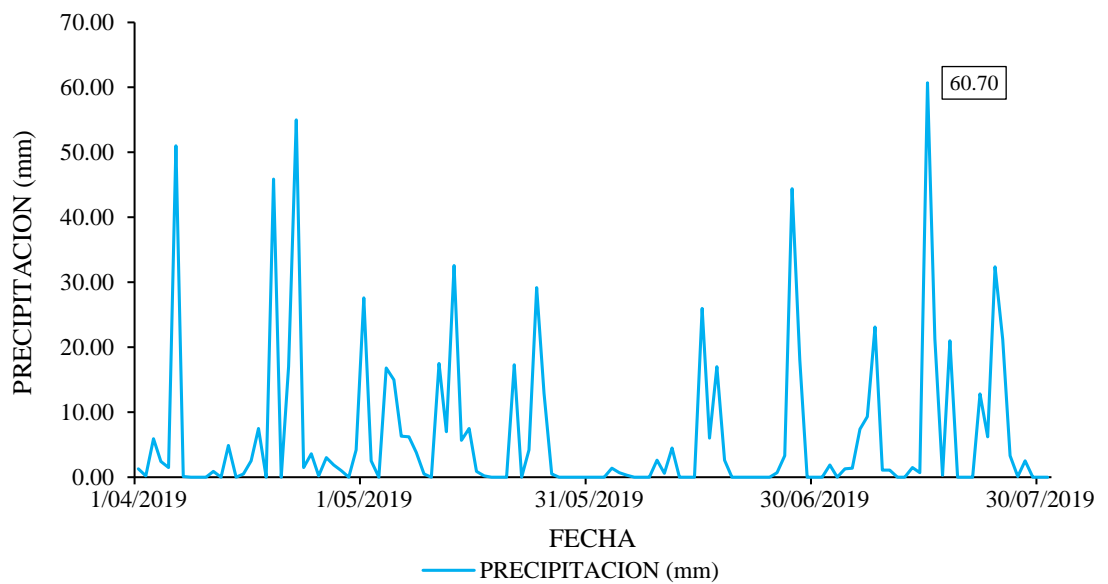


Figura 12. Variable de precipitación.

En la Tabla 2, la temperatura máxima fue para el mes de junio de 30.78 °C, una mínima en julio de 20.24 °C mm y precipitación promedio mensual de 25.67 °C.

La temperatura promedio en el periodo de evaluación del cultivo fue 25.67 °C, por tanto, de acuerdo con (Badu et al.,1983), (Kiniryet al., 1991) y Ortas (2008) la fase vegetativa del maíz se encontró dentro del rango de 8 a 38 °C, pero fuera del optimo debido que se evidenció anteriormente la existencia de un exceso de precipitación el cual tiende alterar debido a que guarda una relación inversa.

Por otro lado, en la etapa de fructificación (floración y llenado de granos) la temperatura alcanzó los 26.06 °C, según (Muchow et. al., 1990) y Ortas (2008) esta etapa de fructificación el cultivo de maíz se encontró dentro del intervalo de temperatura de 20 a 32 °C.

La precipitación y temperatura en la etapa de fructificación fueron críticos para el clima del cultivo según señala Hatfield et al. (2011), así mismo evidencia necesidades de riego a causa

de existir cero precipitaciones por un periodo de 7 días consecutivos. (Wang et al., 2016) señala que el estrés hídrico por sequía durante las etapas reproductivas tempranas y medias son las más sensibles durante el desarrollo del cultivo afectando el rendimiento de los granos.

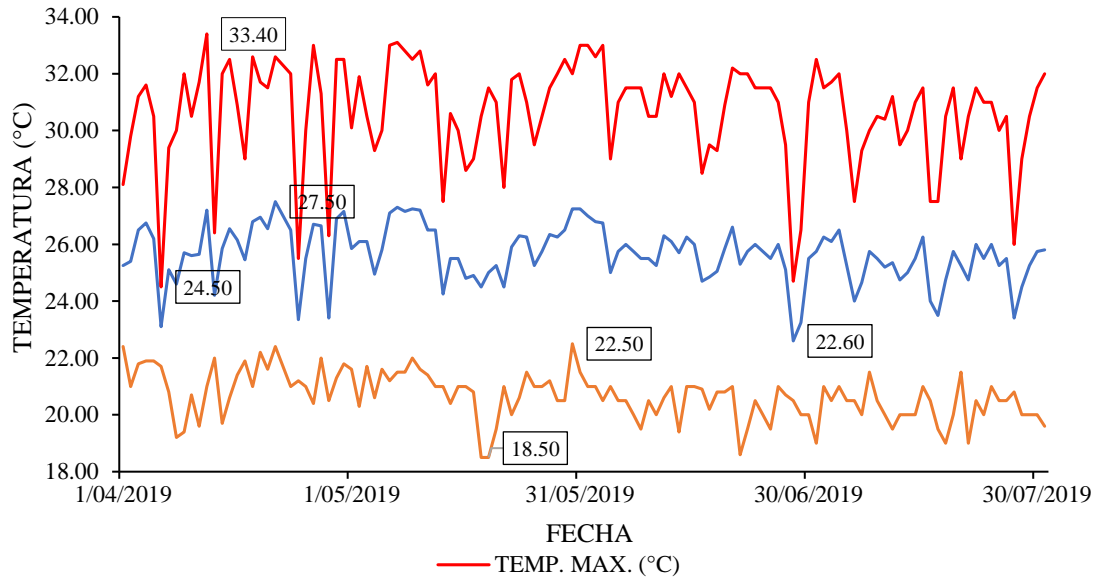


Figura 13. Variable de temperatura.

En el mes de julio ocurrió la máxima velocidad de viento ya que se encuentra directamente relacionado con la temperatura y humedad relativa, los parámetros de temperatura y humedad relativa guardan una relación inversa. Para el periodo de evaluación en las cuatro fases del cultivo se observó vientos de 2.17 m/s para la fase inicial, 3.90 m/s para la fase de desarrollo, 3.67 m/s para la fase media y 3.75 m/s en la fase final.

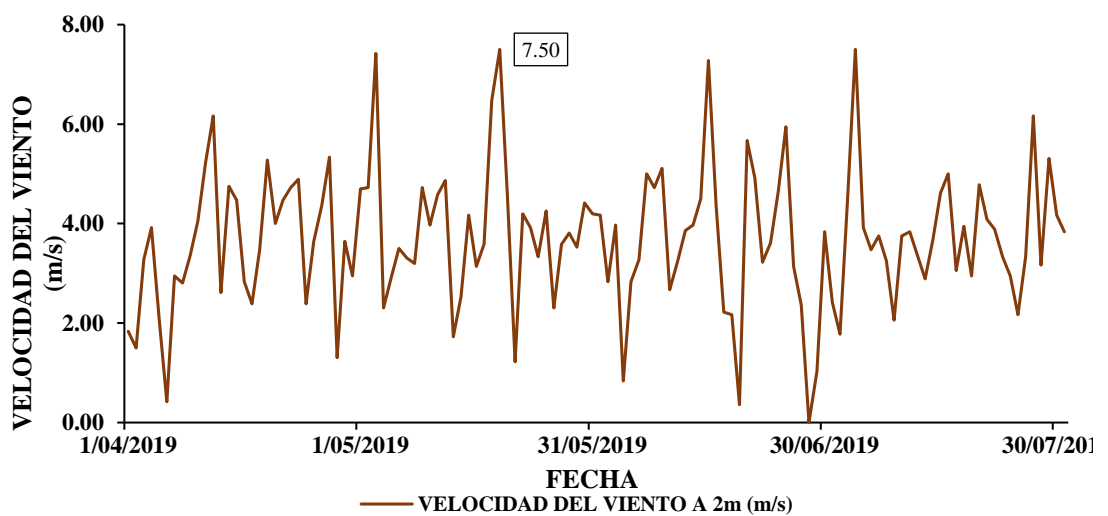


Figura 14. Variable de velocidad del viento.

La humedad relativa promedio mensual varió entre 83.67 % a 84.54 %., así mismo se observó en la fase inicial 83.72 %, fase desarrollo 84.09 %, fase intermedia 83.92 % y en la fase final 84.04%

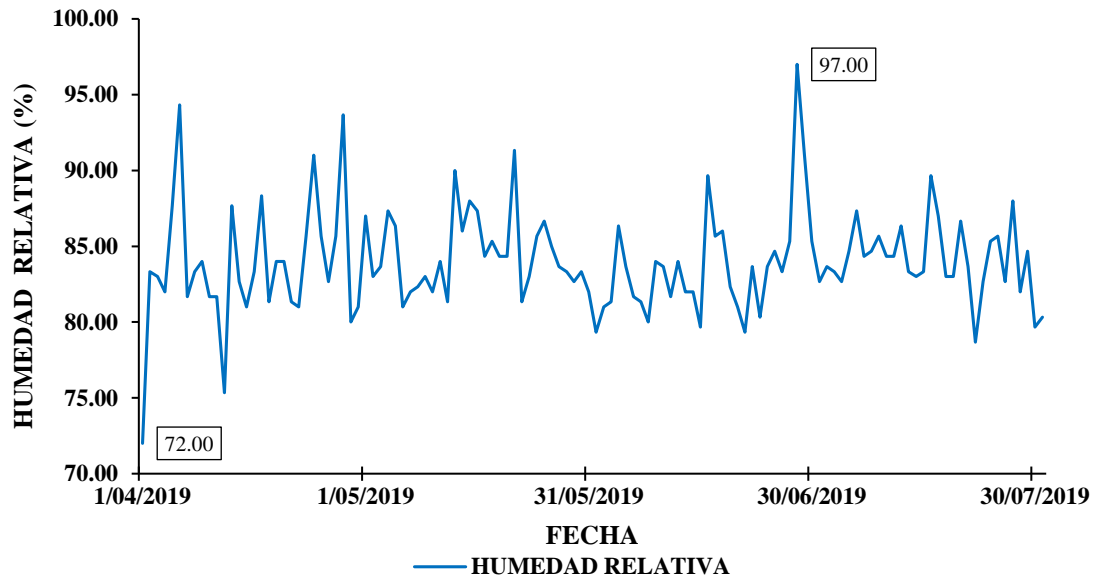


Figura 15. Variable de humedad relativa.

La radiación solar fluctuó de forma ascendente del mes de abril a junio, sin embargo, en el mes de julio existe un descenso con un valor de 12.03 MJm-2/día. La radiación solar obtenida durante el proceso de evaluación promedio fue de 11.96 MJ m²/día, considerando lo afirmado por Muchow y Sinclair (1994) se encuentra en el rango adecuado de 10 a 25 MJ m²/día.

Según Villaseca & Novoa SA (19879) el maíz necesita una adecuada luminosidad, 10 horas al día como mínimo y tolerar un máximo de 12 a 14 horas luz, encontrándose el requerimiento hídrico del cultivo a nivel regular.

Así mismo se determinó en la fase vegetativa siendo para la etapa inicial 5.38 MJm-2/día, fase desarrollo 11.63 MJm-2/día, fase intermedia 13.03 MJm-2/día y en la fase final 11.89 MJm-2/día.

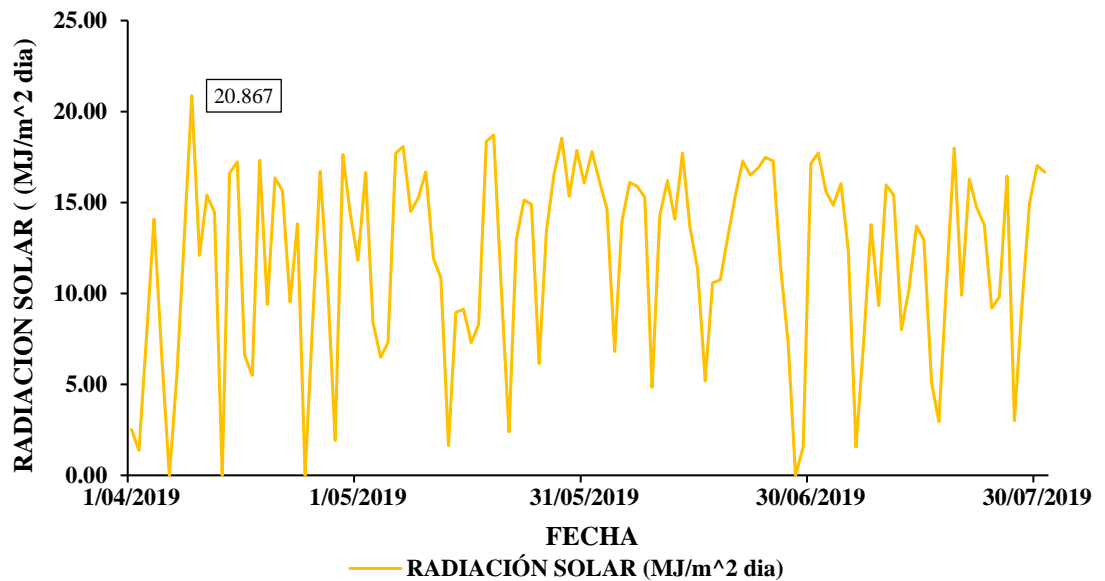


Figura 16. Variable de radiación solar.

4.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia

4.2.1. Método del tanque evaporímetro clase A

Resaltar que se consideró como coeficiente del tanque el valor de 0.75, el cual guarda relación con la humedad relativa, velocidad del viento a 2m y el borde, lo cual es mencionado por la FAO. El factor escogido hace aproximaciones a las lecturas del tanque conforme a las situaciones meteorológicas que se presentaron en la etapa de valuación.

Tabla 3. Registro mensual del ETo por método del tanque clase “A”.

Mes	ETo mensual (mm/mes)	ETo promedio (mm/día)	ETo máxima (mm/día)	ETo mínima (mm/día)
Abril	77.55	2.59	3.75	0.98
Mayo	86.10	2.78	4.05	0.90
Junio	75.60	2.52	3.75	1.28
Julio	83.70	2.70	3.75	1.20

En la Tabla 3 se observa que el comportamiento de la ETo se encuentra dentro de una estación calurosa, evidenciando como valor máximo en el mes de mayo 4.05 mm/día y valor mínimo de 0.90mm/día. A una escala mensual se observa que la ETo durante el proceso de evaluación ascendió y descendió parcialmente desde mes de abril a julio, debido a que no existe agua aun dentro del campo experimental, aduciendo un riego, sin embargo, en el mes de mayo

a junio surge una caída, debido a que se evidencia que la reposición de agua que fue cubierta por la precipitación.

La ETo acumulada durante la investigación fue de 322.95 mm equivalentes a 3229.5 m³/ha.

Según Arica, M (2001), el comportamiento de la evapotranspiración determinado por tanque evaporímetro es relativamente elevados durante los meses de mayo a septiembre para la zona de Tulumayo, de acuerdo al periodo de evaluación en la investigación guarda estrecha relación debido a que los meses con mayor ETo fueron mayo y julio.

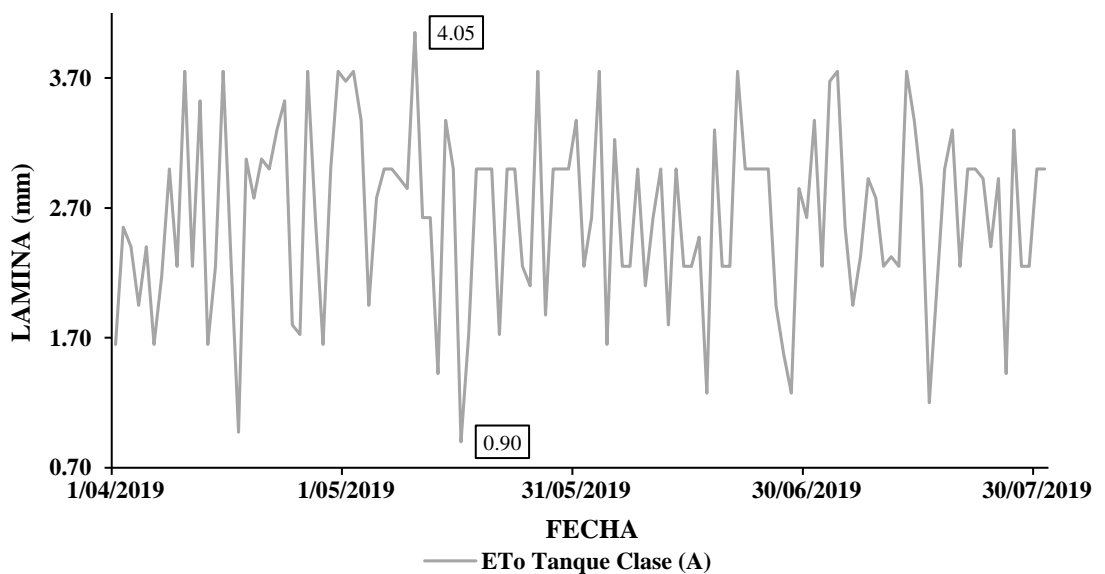


Figura 17. Evapotranspiración potencial diaria, por el método del tanque Clase "A".

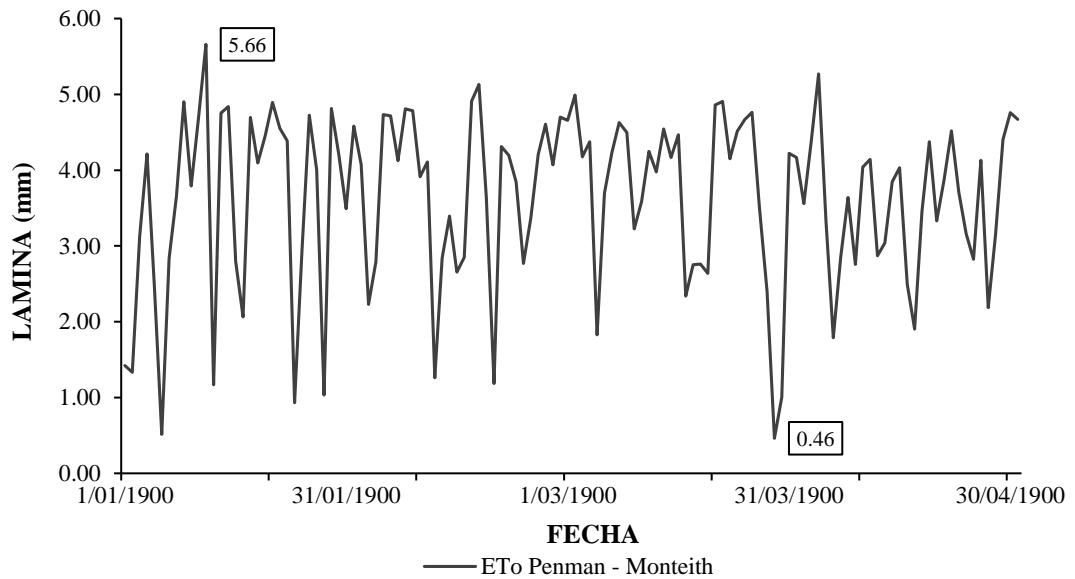
4.2.2. ETo por el método de FAO Penman - Monteith

En la Tabla 4 se observa que la ETo ha variado dentro de una estación calurosa, donde la estimación máxima ocurrió en los meses de abril y mayo y junio con 4.39 y 4.27 mm/día, y como valores mínimos en los meses de junio y abril con 0.46 y 0.48 mm/día respectivamente. Para ETo promedio mayor, fue en los meses de mayo y julio y valores mínimos en los meses de junio y abril.

Según Arica, M (2001), el comportamiento de la evapotranspiración determinado por FAO Penman - Monteith es relativamente elevados durante los meses de mayo a septiembre para la zona de Tulumayo, de acuerdo al periodo de evaluación en la investigación guarda estrecha relación debido a que los meses con mayor ETo fueron mayo y julio.

Tabla 4. Resumen del ETo por FAO Penman – Monteith.

Mes	ETo mensual (mm/mes)	ETo promedio (mm/día)	ETo máxima (mm/día)	ETo mínima (mm/día)
Abril	103.96	3.47	5.66	0.52
Mayo	116.96	3.77	5.13	1.19
Junio	110.57	3.69	5.27	0.46
Julio	110.66	3.57	5.27	1.79

**Figura 18.** Evapotranspiración potencial diaria, por el método de FAO Penman – Monteith.

En la fase de fructificación en los siete días consecutivos de ETo sin precipitación, satisface la humedad almacenada en el suelo.

4.3. Balance hídrico en el suelo

4.3.1. Evapotranspiración de cultivo (Etc)

La determinación del Etc del maíz se realizó por medio del balance hídrico del suelo, con variables monitoreadas que se muestran en la Figura 19 y datos tabulados en la Tabla 5 se puede observar el comportamiento de las variables. El balance de se realizó diariamente, evidenciando anomalías (valores elevados) durante el periodo de evaluación en sistema del lisímetro juega un papel importante la precipitación es mayor a drenaje generando inconsistencia.

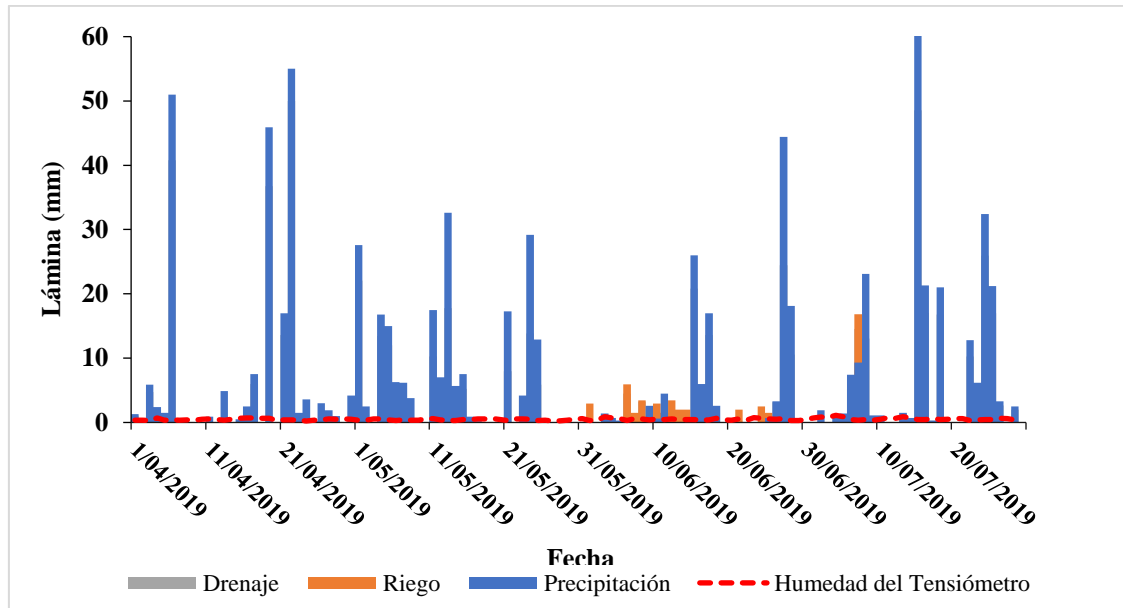


Figura 19. Variables para el balance hídrico en el suelo.

Tabla 5. Variables registradas para la determinación del Etc y Kc (decadarios).

MES	DECE NA	P (mm)	SW (mm)	DSW (mm)	R (mm)	D (mm)	ETo (mm)	ETc (mm)	Kc
Abril	1	62.40	4.03	-0.15	0.00	50.15	28.26	13.62	0.48
Abril	2	62.20	5.56	0.13	0.00	45.33	39.22	20.32	0.52
Abril	3	87.40	4.29	-0.11	0.00	65.49	36.48	24.54	0.67
Mayo	4	78.70	4.18	-0.05	0.00	49.15	40.33	27.13	0.67
Mayo	5	71.40	4.74	0.08	0.00	41.18	34.71	29.58	0.85
Mayo	6	64.10	3.94	-0.03	0.00	25.67	37.26	37.51	1.01
Junio	7	5.00	5.33	0.10	14.81	-14.08	40.29	22.01	0.55
Junio	8	56.70	4.72	-0.03	11.85	35.82	35.48	32.70	0.92
Junio	9	66.50	4.96	0.11	7.41	42.22	35.24	37.30	1.06
Julio	10	45.50	6.53	-0.06	16.83	31.87	35.96	31.31	0.87
Julio	11	106.60	5.99	-0.12	0.00	86.58	34.21	22.81	0.67
Julio	12	4.85	0.14	0.14	0.00	-7.40	44.72	16.73	0.37

(P): Precipitación, (SW): Humedad del suelo, (DSW): Variación de humedad, (D): Drenaje, (R): Riego, (ETo): Evapotranspiración, (ETc): Evapotranspiración de cultivo, (Kc): Coeficiente de cultivo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se observa que el valor máximo del Etc son 37.51 y 37.30 mm/día ocurren en el mes de mayo y junio respectivamente, con valores de ETo de 37.26 y 35.24 mm/día, ocurriendo dentro de floración y maduración de la etapa fenológica del maíz. El promedio del Etc decadiario durante el periodo de investigación fue de 26.30 mm/día. El riego total aportado al sistema fue de 50.90 mm, la precipitación de 711.35 mm, el drenaje de 451.96 mm y una

variación de humedad positiva de 0.01 mm, resultando un Etc total para el periodo evaluativo de 315.56 mm/día, equivalente a 315.56 m³/ha.

Para la variación de humedad que se monitoreo con las lecturas registradas por el tensiómetro se presentan en la Tabla 5 para el balance, indicando si la variación es positiva existe una disminución del agua almacenada en el suelo por efecto de la Etc, valores negativos representa que el suelo ha incorporado agua del día anterior. Entonces si variación de humedad para el balance hídrico es positivo, se suma y para caso negativo se resta.

Asi mismo el en la Figura 20 se observa el comportamiento del Etc decadiario (10 días) está afectado con la variabilidad del ETo, por tanto, siguen igual comportamiento de variación estando sujeto al cambio del clima y a las características del cultivo. Entonces el Etc está relacionado directamente al requerimiento hídrico del cultivo y al ETo.

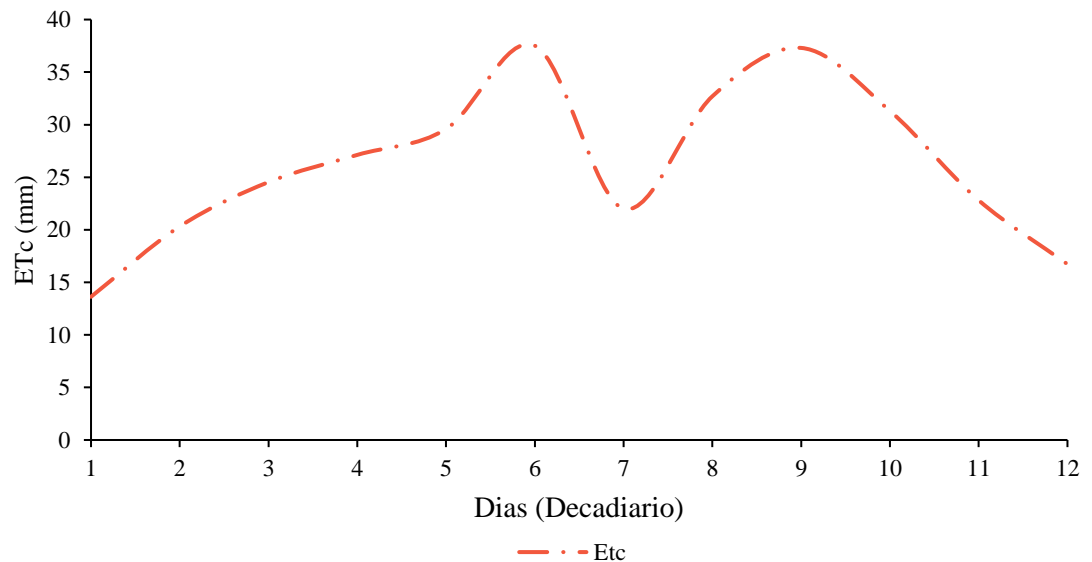


Figura 20. Evapotranspiración del cultivo (Etc) por periodos cada diez días.

4.4. Coeficiente de cultivo (Kc)

La determinación del Kc se obtuvo de la relación del Etc y el ETo, en la Tabla 6 los valores de Kc decadiarios conforme a la etapa del cultivo, observado un crecimiento ascendente del Kc en la etapa inicial (siembra, germinación y emergencia) y desarrollo, en la etapa final (maduración y cosecha) un descenso de dicho valor, para la parte media existe una anomalía, sin embargo ajustando a valores promedios los Kc por cada etapa del cultivo como lo muestra la Tabla 7, si existe un comportamiento conforme a los valores de Kc por cropwat generando una similitud a la gráfica curva real y teoría del Kc para el cultivo.

Tabla 6. Comportamiento del Kc del maíz decadiario por el método de cropwat y observado (campo).

Etapa	CROPWAT		OBSERVADO	
	Etc	Kc	Etc	Kc
Inicio	12.1	0.40	13.62	0.48
	17	0.50	20.32	0.52
	21.8	0.68	24.54	0.67
Desarrollo	29.5	0.86	27.13	0.67
	30.3	1.03	29.58	0.85
	38.4	1.06	37.51	1.01
	34	1.06	22.01	0.55
Medio	32.7	1.06	32.70	0.92
	31.8	1.06	37.30	1.06
	30.4	1.00	31.31	0.87
Final	19.9	0.69	22.81	0.67
	12.4	0.36	16.73	0.37

Tabla 7. Variación del Kc del maíz conforme a la fase del cultivo

Etapa	Kc	
	CROPWAT	OBSERVADO
Inicio	0.40	0.48
Desarrollo	0.83	0.74
Medio	1.06	0.84
Final	0.68	0.64

Así mismo cabe resaltar que el ETo se valida como un indicador de la demanda climática, los valores de Kc y Etc se encuentran en relación a las características fisiológicas del cultivo, existiendo una leve variación en relación al clima, dicho cambio del valor del Kc representa cambios en el cultivo (Allen et. al, 2006).

En la Figura 21, se observa el comportamiento diario del Kc durante la etapa vegetativa del cultivo, no evidenciando una curva representativa del Kc, esto debido a que el drenaje es menor a la precipitación dentro del sistema del lisímetro, lo cual genera inconsistencia de valores diarios del Kc. En la Figura 22. se observa la variación del Kc decadiario se ajusta al comportamiento normal del Kc obtenido por cropwat, en la parte de desarrollo existió un problema fitosanitario causando enfermedad sobre el cultivo, pero el cual se superó con la aplicación de fungicidas e insecticidas, sin embargo, es posible que haya repercutido en el Kc

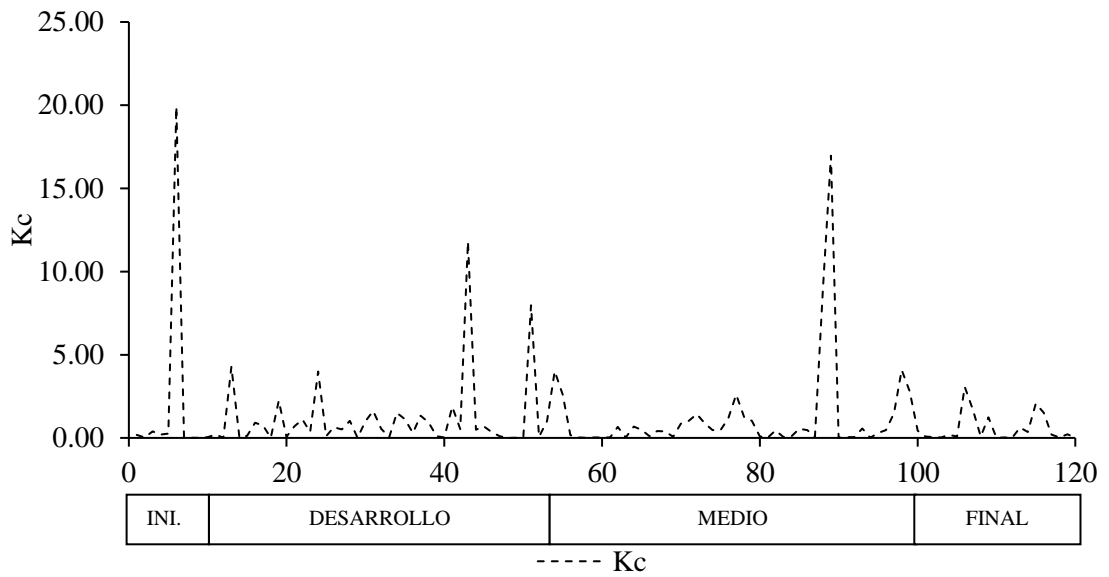


Figura 21. Variación diaria del coeficiente del cultivo del maíz (K_c) en la etapa de evaluación del maíz.

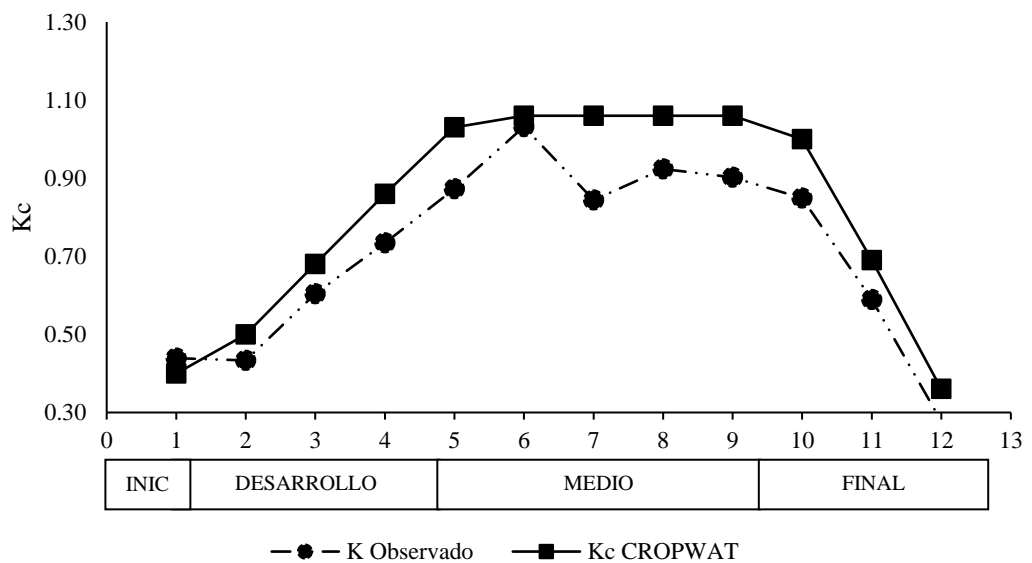


Figura 22. Valores de K_c por método de CROPWAT y datos observados (decadarios).

La comparación del K_c , se puede visualizar que difiere uno del otro, esto debido a la variedad del cultivo, los cambios en las condiciones edafoclimáticas y diferencias estacionales en la etapa del cultivo. Para la FAO (2006) el K_c del cultivo de maíz en su fase del cultivo determina unos valores, en la fase inicial de 0.40, desarrollo de 0.80, media de 1.15 y por último

la maduración de 0.70, lo cual difiere de los valores estimados en la investigación con una diferencia porcentual del 20%, 7.5%, 26.96% y 8.57% para las etapas inicial, de desarrollo del cultivo, de media estación y tardea o final respectivamente. Las variaciones se atribuyeron principalmente a las diferencias tanto en la variedad (factor genético del cultivo), como en las diferentes condiciones climáticas o ambientales. Por otro lado, el contraste de los diferentes valores de Kc calculados con el estudio basado en el lisímetro de drenaje por succión en la zona de estudio de la investigación (Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez – UNAS) se dio una diferencia porcentual máxima de 26.96% en la fase media que involucra la etapa de floración, durante lo cual el riego terminal ya está en vigor. La ligera diferencia puede atribuirse a la diferencia en la variedad y el método utilizado para determinar el ETo. Los valores de Kc calculados en el estudio son más aplicables a las condiciones locales en sí, que los valores recomendados por la FAO y pueden utilizarse para calcular las necesidades hídricas del cultivo de maíz dentro de la jurisdicción de Leoncio Prado.

Sin embargo, para Castellanos (2020) los valores de Kc los distribuye en etapas como: etapa inicial de 0.40, desarrollo de 0.88, medio de 1.14 y final de 0.63. lo cual difiere de los valores estimados en la investigación con una diferencia porcentual del 20%, 15.90%, 26.31% y 1.58% para las etapas inicial, de desarrollo del cultivo, de media estación y tardea o final respectivamente. De la misma manera existe una diferencia porcentual máxima de 26.31% en la fase media que involucra la etapa de floración, etapa donde es importante porque un buen suministro de agua ayuda a que la planta forme y llene los granos (Yanez, 2007).

Además, la variación de 1.58 % siendo la mínima con respecto a la fase final donde se genera maduración de los frutos. Durante la etapa aumento y maduración de la mazorca el requerimiento de agua descende (Yanez, 2007).

V. CONCLUSIONES

1. El curso de las variables meteorológicas durante el periodo vegetativo del maíz fue temperaturas ascendentes de abril a mayo y descendentes de mayo a julio, con una temperatura máxima de 31.04 °C (mayo) y la mínima de 20.24 °C (julio). La radiación solar presentó un valor máximo de 12.90 MJm⁻²/día (junio) y mínimo de 10.38 MJm⁻²/día (abril). La humedad relativa tuvo un comportamiento variado de dos ascensos entre abril a mayo y junio a julio, con descenso de mayo a junio, obteniendo un valor de máximo de 84.54 % y el mínimo de 83.67 % para abril y junio. La velocidad del viento a 2 metros de altura se obtuvo un valor máximo de 3.77 m/s para julio y un valor mínimo de 1.36 m/s para abril.
2. La evapotranspiración de referencia Eto por el método del tanque evaporímetro clase “A” reflejan una variación en la estación evaluada, siendo el mínimo de 0.90 mm/día y el máximo 4.05 mm/día ambos en el mes de mayo con fluctuaciones de 2.52 a 2.78 mm/día, con un promedio de 2.64 mm/día y un total de 322 mm durante todo el periodo vegetativo. La evapotranspiración de referencia por el método de Penman – Monteith vario entre 3.47 a 3.69 mm/día, con un promedio de 3.62 mm/día y un total de 110.54 mm para todo el periodo vegetativo.
3. La evapotranspiración total del cultivo de maíz durante su proceso vegetativo alcanzo 315.56 mm/día. En tanto, la Etc diaria fue 0.00 mm/día en la etapa final del desarrollo vegetativo, 21.57 mm/día en la etapa de maduración. Mientras por cada diez días, la evapotranspiración del cultivo fue 13.62 mm/día en la etapa inicial del cultivo y 37.51 mm/día en la etapa media del cultivo (floración y llenado de granos).
4. Los coeficientes de cultivo del maíz (*Zea mayz* L.) kc obtenidos en las fases de inicio, desarrollo, media y maduración fueron de 0.48, 0.74, 0.84 y 0.64 respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Utilizar intervalos de tiempo menores a un día en la estación meteorológica para el registro consistente de la temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad y precipitación capaces de evitar el desfase del valor observado en el tiempo siguiente.
2. Determinar la evapotranspiración de referencia con los modelos matemáticos Thornthwaite modificado, Hargreaves, Jensen – Haise, Makkink, Priestley and Taylor, Turc, FAO Radiación que mejor representan la condición climática de la zona de estudio.
3. Medir simultáneamente con las variables meteorológicas, la evapotranspiración de referencia con gras y la evapotranspiración del cultivo con lisímetro de pesada y la variación del contenido de humedad del suelo con sensor capacitancia (autónomo) sobre una extensión de cultivo de maíz.
4. Utilizar los valores obtenidos de K_c para estimar el requerimiento hídrico y desarrollar la programación del riego en la región.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abedinpour M. (2015): Evaluación de los coeficientes de cultivo de maíz específicos de la etapa de crecimiento utilizando un lisímetro de pesaje. *Soil & Water Res.*, 10: 99-104.
- 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.
- Badu-Apraku B, Hunter RB, Tollenaar M. Effect of temperature during grain filling on whole plant and grain yield in maize (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. 1983; 63:357-363
- Basso, C., Villafaña, G., y Villafaña, R. (2016). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo (kc) de Stevia bajo condiciones parcialmente protegidas. *BIOAGRO*, 28(2), 131–136.
- Cabrerizo, C. (2012). El maíz en la alimentación Humana. Recuperado a partir de <http://www.infoagro.com>.
- Castellanos, J. Z. (05 de Junio de 2020). Conferencia ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? Celaya, Guanajuato, México. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/el-cultivo-del-maiz-cuanto-y-cuando-regarlo>
- Chavez, F.J.L.2022. Comportamiento agronómico de cinco híbridos de maíz(*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en Tulumayo. Tesis Ing. Agronomo Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Peru. 86p.
- Coral, A. (2015). Cálculo de balance hídrico usando modelamiento de datos espaciales. *Farmacao*, 22 (1).
- Damario EA, (1989). Catt CL. En la argentina segun el metodo de penman 1948. 1948;3(1):271–292p. - M., H. E. Balance hidirico y necesidades de agua para los cultivos mas importantes en la cuenca del rio Cienega.
- Delgado, Mario.et.al. (2003). Tesis para optar al título de ingeniero en agroecología tropical. Comparación de costos del manejo de una parcela convencional y una parcela con VPN para el manejo de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). León, julio 2004.

- Dole, L., & Vega, A. (2014). Revisión y validación de la evapotranspiración potencial (ETP) media anual y media mensual en Honduras obtenida por métodos ambientales de percepción remota. *Ciencia y Tecnología*(14).
- Doorenbos W. O. y Pruitt (1987), “Las Necesidades de agua de los cultivos”. Estudio FAO riego y drenaje manual 24, Roma - Italia.
- 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.
- Droogers, P. (2000). A quantitative soil hydraulic map of the world at high resolution. (to be submitted to *Computer and Geosciences*).
- Duarte, D., Carmen, E., & Zamora, H. (2012). Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21 (4), 42-47.
- Egli DB, Hatfield JL. Yield gaps and yield relationships in central U.S. maize production systems. *Agronomy Journal*. 2014; 106:2248-2256
- FAO Manual N° 56, (2006), “Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. Estudio FAO Riego y Drenaje; Boletín N° 56. Roma.
- FAO. (2012). “Mejoramiento de Maíz con objetivos especiales”. [En línea]: www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/x7650s21.com.
- 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. C. (2020). El maíz es el cultivo más importante en extensión para el Perú. Agraria.pe (Agencia Agraria de Noticias) [En línea]: <https://agraria.pe/noticias/el-maiz-es-el-cultivo-mas-importante-en-extension-para-el-pe-22033#:~:text=En%20promedio%20se%20siembran%20unas,de%20semillas%20de%20Hortus%2C%20Ing.>

- García Mendoza. P. J. (2017) El cultivo del maíz en el mundo y en Perú “The cultivation of corn in the world and in Peru” NOTA CIENTIFICA pag 2 DICIEMBRE
<https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/download/65/234/>
- Hatfield JL, Boote KJ, Kimball BA, Ziska LH, Izaurralde RC, Ort D, Thomson AM, Wolfe DW. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agronomy Journal*. 103:351-370
- Hatfield J.L., Prueger J.H., Reicosky D.C. (1996): Evapotranspiration effects on water quality. In: Proc. ASAE Int. Conf. Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, Nov 3–6, 1996, San Antonio: 536–546.
- Hortus (2020). El maíz es el cultivo más importante en extensión para el Perú noticia. [En línea]:
<https://www.hortus.com.pe/detalle-noticia/el-maiz-es-el-cultivo-mas-importante-en-extension-para-el-peru>
- INFOAGRO. 2012. “El cultivo del maíz”. [En línea]:
www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp.
- INEI, 2018. Informe Técnico N° 3 Panorama Económico Departamental – Marzo 2018. [En línea]: https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/03-informe-tecnico-n03_panorama-economico-departamental-ene2018.PDF
- 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. (2011). Guía para la producción de maíz en la sierra sur del Ecuador
- INTA. (2012). “Fenología del maíz”. [En línea]: <http://riap.inta.gov.ar>.
- Jaramillo, A. (2006)). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia. *Cenicafe*, 57(4).
- Kiniry JR, Bonhomme R. Predicting maize phenology. In: Hodges T, editor. *Predicting Crop Phenology*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1991. pp. 115-131
- Lafitte, H.R. y Edmeades, G.O. 1994. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. II. Grain yield, biomass accumulation, and N accumulation. *Field Crops Res.*, 39: 15-25.

- Lopez, J. (2010). Necesidades hídricas de los cultivos. Universidad de Sinaloa, (pág.28). Mexico.
- MANUAL AGROPECUARIO. 2001. “Cultivo de maíz”. 3ra Edición. Editorial Idea Books. Barcelona-España. 471-476 pp.
- Muchow RC, Sinclair TR, Bennett JM. (1990). Temperature and solar-radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*.;82:338-343
- Muchow, R.C. y Sinclair, T.R. 1994. Nitrogen response of photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Sci.*, 34:721-727.
- Ortas, A.2008. El cultivo de maiz fisiologia y aspectos generales Boletin N°7.(Em línea). Consultado 15 de mayo de 2022. Disponible em: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6982/1/27776_1.pdf
- Otegui, M. (2009). Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. *Informaciones Agronomicas*, 44.
- Padilla Soldevilla, J.G. (2016). Coeficiente del cultivo para Césped americano utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño. Tesis Ing. Agrícola Ciudad de Lima, Perú, UNALM. 144 p.
- Proyecto Especial CHAVIMOCHIC BOLETÍN TÉCNICO N° 2. (2014). USO DEL TANQUE EVAPORIMETRO
- Pupo, L., & Garcia, M. (2010). Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(1).
- Rojas, M. (2009). Las relaciones agua suelo planta atmósfera. Centro de estudios forestales y ambientales de postgrado de la universidad de los Andes (Mérida). *Boletin Informativo*.
- Schosinsky, G. (2007). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Geológica de América Central*, 13 (35).
- 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.
- Squire, G.R. (1990). *The physiology of tropical crop production*. Oxon, UK, CAB International, 236 p.

- Texeira, P. (2013). Impacto del fenómeno “El Niño – Oscilación del Sur” sobre la evapotranspiración de la localidad de San Pedro, Buenos Aires, Argentina, para el periodo 2005-2011. *Revista Climatología*, 13.
- Villar Vera, Luis. (1995). Manejo y conducción del cultivo de Maíz, Santa Fé Bogotá – Colombia. ET. Vol 2
- Wang R, Bowling LC, Cherkauer KA. (2016). Estimation of the effects of climate variability on crop yield in the Midwest USA. *Agricultural and Forest Meteorology*.216:141-156
- Yanez, C.; Zambrano, J.; Caicedo, M.; Heredia, J. 2005. “Inventario Tecnológico del Programa del Maíz”. INIAP-EESC. Quito-Ecuador. 2-25 pp.
- Yanez, C. (2007). “Manual de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras”. FAO, INAMHI, MAG. Proyecto de emergencia para la rehabilitación Agroproductiva de la Sierra del Ecuador. FAO/TCP/ECU/3101 (E). Quito-Ecuador. 23 p.
- 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>

ANEXOS

Tabla 8. Variables registradas para la determinación del Etc y Kc.

FECHA	P (mm)	SW (mm)	DSW (mm)	D (mm)	R (mm)	ETo (mm)	ETC	Kc
01/04/2019	1.30	0.35	0.00	1.04	0.00	1.42	0.26	0.18
02/04/2019	0.20	0.35	0.00	0.16	0.00	1.33	0.04	0.03
03/04/2019	5.90	0.30	0.05	4.72	0.00	3.12	1.23	0.39
04/04/2019	2.40	0.68	-0.38	1.92	0.00	4.21	0.86	0.20
05/04/2019	1.50	0.35	0.33	1.20	0.00	2.47	0.63	0.26
06/04/2019	51.00	0.42	-0.07	40.80	0.00	0.52	10.27	19.90
07/04/2019	0.10	0.34	0.08	0.08	0.00	2.84	0.10	0.03
08/04/2019	0.00	0.39	-0.05	0.00	0.00	3.66	0.05	0.01
09/04/2019	0.00	0.36	0.04	0.00	0.00	4.90	0.04	0.01
10/04/2019	0.00	0.50	-0.15	0.00	0.00	3.79	0.15	0.04
11/04/2019	0.90	0.53	-0.02	0.00	0.00	4.69	0.92	0.20
12/04/2019	0.00	0.48	0.05	0.00	0.00	5.66	0.05	0.01
13/04/2019	4.90	0.37	0.10	0.00	0.00	1.17	5.00	4.29
14/04/2019	0.00	0.52	-0.14	0.00	0.00	4.76	0.14	0.03
15/04/2019	0.50	0.65	-0.13	0.00	0.00	4.84	0.63	0.13
16/04/2019	2.50	0.68	-0.03	0.00	0.00	2.79	2.53	0.91
17/04/2019	7.50	0.71	-0.03	6.00	0.00	2.06	1.53	0.74
18/04/2019	0.00	0.64	0.07	0.00	0.00	4.69	0.07	0.01
19/04/2019	45.90	0.63	0.01	36.72	0.00	4.10	9.19	2.24
20/04/2019	0.00	0.37	0.25	0.00	0.00	4.45	0.25	0.06
21/04/2019	17.00	0.42	-0.04	13.60	0.00	4.89	3.44	0.70
22/04/2019	55.00	0.42	0.00	50.00	0.00	4.55	5.00	1.10
23/04/2019	1.50	0.35	0.07	0.00	0.00	4.39	1.57	0.36
24/04/2019	3.60	0.23	0.12	0.00	0.00	0.93	3.72	3.99
25/04/2019	0.20	0.35	-0.12	0.00	0.00	2.93	0.32	0.11
26/04/2019	3.00	0.42	-0.07	0.00	0.00	4.73	3.07	0.65
27/04/2019	1.90	0.57	-0.15	0.00	0.00	4.00	2.05	0.51
28/04/2019	1.00	0.51	0.06	0.00	0.00	1.03	1.06	1.02
29/04/2019	0.00	0.55	-0.04	0.00	0.00	4.81	0.04	0.01
30/04/2019	4.20	0.48	0.07	0.00	0.00	4.21	4.27	1.01
01/05/2019	27.60	0.34	0.14	22.08	0.00	3.49	5.66	1.62
02/05/2019	2.50	0.35	-0.01	0.00	0.00	4.58	2.51	0.55
03/05/2019	0.00	0.55	-0.20	0.00	0.00	4.07	0.20	0.05
04/05/2019	16.80	0.54	0.02	13.44	0.00	2.23	3.38	1.51
05/05/2019	15.00	0.41	0.12	12.00	0.00	2.79	3.12	1.12
06/05/2019	6.30	0.29	0.12	5.04	0.00	4.73	1.38	0.29
07/05/2019	6.20	0.42	-0.14	0.00	0.00	4.71	6.34	1.34
08/05/2019	3.80	0.37	0.05	0.00	0.00	4.12	3.85	0.93
09/05/2019	0.50	0.37	0.01	0.00	0.00	4.81	0.51	0.11

10/05/2019	0.00	0.54	-0.17	0.00	0.00	4.78	0.17	0.04
11/05/2019	17.50	0.60	-0.06	10.25	0.00	3.91	7.31	1.87
12/05/2019	7.00	0.42	0.18	5.00	0.00	4.11	2.18	0.53
13/05/2019	32.60	0.32	0.10	17.80	0.00	1.26	14.90	11.80
14/05/2019	5.70	0.30	0.03	4.35	0.00	2.84	1.38	0.48
15/05/2019	7.50	0.44	-0.14	5.25	0.00	3.39	2.39	0.71
16/05/2019	0.90	0.46	-0.02	0.00	0.00	2.65	0.92	0.35
17/05/2019	0.20	0.56	-0.10	0.00	0.00	2.85	0.30	0.11
18/05/2019	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	4.91	0.00	0.00
19/05/2019	0.00	0.61	-0.05	0.00	0.00	5.13	0.05	0.01
20/05/2019	0.00	0.46	0.15	0.00	0.00	3.64	0.15	0.04
21/05/2019	17.30	0.31	0.15	7.98	0.00	1.19	9.47	7.98
22/05/2019	0.00	0.56	-0.25	0.00	0.00	4.31	0.25	0.06
23/05/2019	4.20	0.57	-0.01	0.00	0.00	4.20	4.21	1.00
24/05/2019	29.20	0.49	0.08	13.85	0.00	3.85	15.43	4.01
25/05/2019	12.90	0.31	0.19	5.89	0.00	2.77	7.20	2.60
26/05/2019	0.50	0.37	-0.06	0.00	0.00	3.37	0.56	0.17
27/05/2019	0.00	0.23	0.14	0.00	0.00	4.20	0.14	0.03
28/05/2019	0.00	0.25	-0.03	0.00	0.00	4.61	0.03	0.01
29/05/2019	0.00	0.37	-0.12	0.00	0.00	4.07	0.12	0.03
30/05/2019	0.00	0.48	-0.11	0.00	0.00	4.70	0.11	0.02
31/05/2019	0.00	0.59	-0.10	0.00	0.00	4.66	0.10	0.02
01/06/2019	0.00	0.28	0.31	0.00	2.96	4.99	3.27	0.66
02/06/2019	0.00	0.37	-0.08	0.00	0.00	4.18	0.08	0.02
03/06/2019	1.40	0.92	-0.55	0.00	0.99	4.37	2.94	0.67
04/06/2019	0.70	0.71	0.20	0.00	0.00	1.83	0.90	0.49
05/06/2019	0.30	0.59	0.12	0.00	0.00	3.69	0.42	0.11
06/06/2019	0.00	0.31	0.29	4.46	5.93	4.23	1.75	0.41
07/06/2019	0.00	0.61	-0.31	0.00	1.48	4.63	1.79	0.39
08/06/2019	0.00	0.57	0.04	3.23	3.46	4.50	0.27	0.06
09/06/2019	2.60	0.38	0.19	0.00	0.00	3.22	2.79	0.86
10/06/2019	0.60	0.53	-0.14	0.00	2.96	3.58	3.71	1.03
11/06/2019	4.50	0.46	0.07	0.00	1.48	4.25	6.05	1.42
12/06/2019	0.00	0.57	-0.11	0.00	3.46	3.98	3.57	0.90
13/06/2019	0.00	0.43	0.14	0.00	1.98	4.54	2.11	0.46
14/06/2019	0.00	0.45	-0.02	0.00	1.98	4.17	1.99	0.48
15/06/2019	26.00	0.48	-0.03	20.80	0.00	4.47	5.23	1.17
16/06/2019	6.00	0.37	0.10	0.00	0.00	2.34	6.10	2.61
17/06/2019	17.00	0.38	-0.01	13.60	0.00	2.75	3.41	1.24
18/06/2019	2.60	0.64	-0.25	0.00	0.00	2.76	2.85	1.03
19/06/2019	0.00	0.41	0.22	0.00	0.00	2.64	0.22	0.08
20/06/2019	0.00	0.37	0.04	0.00	0.00	4.86	0.04	0.01

21/06/2019	0.00	0.57	-0.20	0.00	1.98	4.91	2.17	0.44
22/06/2019	0.00	0.34	0.23	0.00	0.00	4.15	0.23	0.06
23/06/2019	0.00	0.73	-0.39	0.00	0.00	4.51	0.39	0.09
24/06/2019	0.00	0.64	0.09	0.00	2.47	4.67	2.56	0.55
25/06/2019	0.70	0.57	0.07	0.00	1.48	4.76	2.25	0.47
26/06/2019	3.30	0.49	0.08	3.15	0.00	3.52	0.23	0.06
27/06/2019	44.40	0.62	-0.13	24.44	1.48	2.40	21.57	8.98
28/06/2019	18.10	0.32	0.30	10.55	0.00	0.46	7.85	16.97
29/06/2019	0.00	0.31	0.02	0.00	0.00	1.00	0.02	0.02
30/06/2019	0.00	0.48	-0.17	0.00	0.00	4.22	0.17	0.04
01/07/2019	0.00	0.71	-0.23	0.00	0.00	4.17	0.23	0.06
02/07/2019	1.90	0.84	-0.14	0.00	0.00	3.56	2.04	0.57
03/07/2019	0.00	0.82	0.02	0.00	0.00	4.38	0.02	0.00
04/07/2019	1.30	1.11	-0.29	0.00	0.00	5.27	1.59	0.30
05/07/2019	1.40	0.92	0.20	0.00	0.00	3.34	1.60	0.48
06/07/2019	7.40	0.44	0.48	5.20	0.00	1.79	2.68	1.49
07/07/2019	9.30	0.37	0.07	14.56	16.83	2.85	11.63	4.08
08/07/2019	23.10	0.48	-0.10	13.05	0.00	3.64	10.15	2.79
09/07/2019	1.10	0.37	0.11	0.00	0.00	2.76	1.21	0.44
10/07/2019	1.10	0.51	-0.14	0.88	0.00	4.04	0.36	0.09
11/07/2019	0.00	0.73	-0.22	0.00	0.00	4.14	0.22	0.05
12/07/2019	0.00	0.64	0.09	0.00	0.00	2.87	0.09	0.03
13/07/2019	1.50	0.92	-0.28	1.20	0.00	3.04	0.58	0.19
14/07/2019	0.70	0.71	0.20	0.56	0.00	3.85	0.34	0.09
15/07/2019	60.70	0.45	0.27	48.56	0.00	4.03	12.41	3.08
16/07/2019	21.30	0.48	-0.03	17.04	0.00	2.50	4.29	1.72
17/07/2019	0.30	0.59	-0.12	0.24	0.00	1.91	0.18	0.09
18/07/2019	21.00	0.48	0.12	16.80	0.00	3.46	4.32	1.25
19/07/2019	0.00	0.48	-0.01	0.00	0.00	4.37	0.01	0.00
20/07/2019	0.00	0.59	-0.10	0.00	0.00	3.33	0.10	0.03
21/07/2019	0.00	0.61	-0.03	0.00	0.00	3.87	0.03	0.01
22/07/2019	12.80	0.32	0.29	10.24	0.00	4.52	2.85	0.63
23/07/2019	6.20	0.42	-0.10	4.96	0.00	3.71	1.34	0.36
24/07/2019	32.40	0.48	-0.05	25.92	0.00	3.16	6.53	2.07
25/07/2019	21.20	0.48	0.00	16.96	0.00	2.82	4.24	1.50
26/07/2019	3.30	0.64	-0.16	2.64	0.00	4.13	0.82	0.20
27/07/2019	0.10	0.59	0.04	0.08	0.00	2.19	0.06	0.03
28/07/2019	2.50	0.38	0.21	2.00	0.00	3.16	0.71	0.23
29/07/2019	0.00	0.34	0.04	0.00	0.00	4.40	0.04	0.01

(P): Precipitación, (SW): Humedad del suelo, (DSW): Variación de humedad, (D): Drenaje, (R): Riego, (ETo): Evapotranspiración, (Etc):

Evapotranspiración de cultivo, (Kc): Coeficiente de cultivo.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A. Panel fotográfico

Figura 23. Limpieza de parcela e instalación del cerco perimétrico.



Figura 24. Excavación y presentación del lisímetro de drenaje de succión.



Figura 25. Instalación de los dos lisímetros de drenaje de succión.



Figura 26. Germinación de las plántulas de maíz en las diferentes macetas.



Figura 27. Crecimiento de las plántulas de maíz a la segunda semana.



Figura 28. Abonamiento de las plantas de maíz a los 15 días.



Figura 29. Control de plagas y hongos en las plántulas de maíz.



Figura 30. Aplicación de fungicida al cultivo de maíz.



Figura 31. Preparación de los tensiómetros.



Figura 32. Medición de humedad del suelo con tensiómetro Irrometer.



Figura 33. Crecimiento del maíz a la tercera semana.



Figura 34. Crecimiento del maíz a los dos meses.



Figura 35. Crecimiento del maíz.



Figura 36. Inicios de floración del maíz.



Figura 37. Crecimiento del choclo en las diferentes macetas.



Figura 38. Formación del choclo en el cultivo de maíz.



Figura 39. Equipos para sacar el agua de drenaje del lisímetro de drenaje.



Figura 40. Extracción y medición del agua drenada del lisímetro.

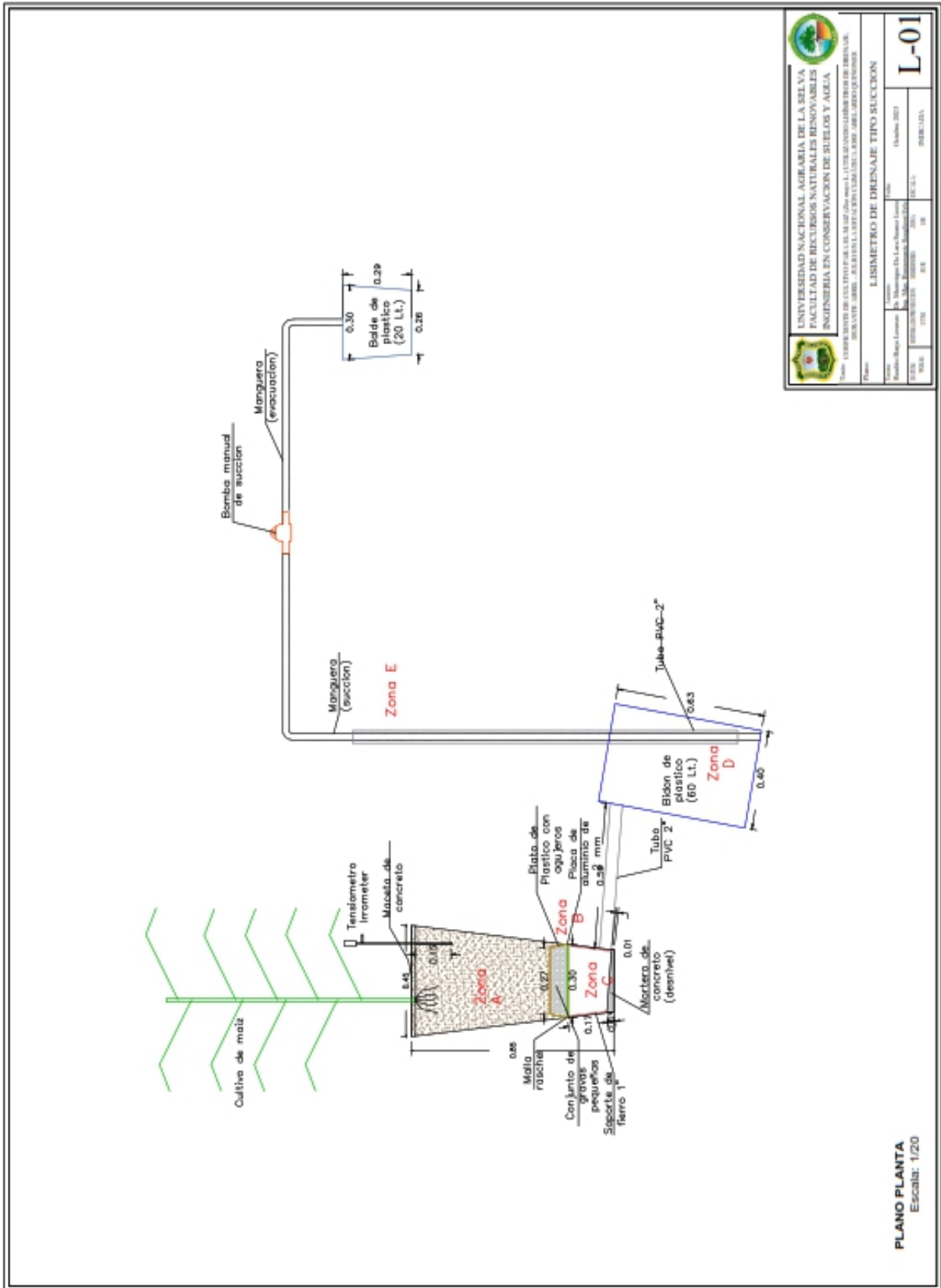


Figura 41. Plano lisímetro de drenaje tipo succión.