



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

Necesidades hídricas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), usando Cropwat y lisímetros de drenaje artesanal, UNA Managua 2024.

Autores

Br. David Abrahan Pilarte Areas

Br. Solange Junieth Olivas Cruz

Asesores

Ing. Joel Isaías Angulo Rocha

Ing. Elvin Lagos Pineda

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2024

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

Ing. David Antonio López
Campos
Presidente

Ing Msc. Edmundo Rafael
Umaña Gómez
Secretario

Ing Msc. Carmen Margarita Castillo Cerna
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 8/Noviembre/2024

DEDICATORIA

A Dios, por otorgarme la vida y permitirme crecer con esfuerzo, dedicación y juicio propio, dotarme de sabiduría para culminar exitosamente mis estudios superiores y brindarme el honor de escalar un peldaño más.

A mi madre ***Cipriana María García Calero*** por ser el modelo y ejemplo de vigor, coraje y valentía, quien con su humildad y gran corazón me formó con valores y deseos de superación.

A mi padre ***Manuel Salvador Pilarte Galán*** quien con su esfuerzo y dedicación por la familia me mostró los caminos de la vida, las batallas y las formas de superación.

A mi familia y amigos más cercanos por brindarme apoyo cuando más lo he necesitado a lo largo de este proceso.

Dr. David Abraham Pilarte Áreas

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas por darme sabiduría, fuerza y dedicación en estos 5 años de carrera, por no rendirme y siempre seguir adelante, cada día pidiéndole a él avanzar en cada propósito que logre en el nombre de Dios.

A mi hijo ***Kendall Jafred Vargas Olivas*** por ser mi motor, mi fuerza y alegría, por ser el motivo de no rendirme y ser mi propósito de lucha para darle una buena vida.

A mi padre ***Freddy Porfirio Olivas Narváez*** por siempre contar con su apoyo incondicional y darle este regalo por ser el mejor padre que Dios me pudo dar.

A mi madre ***Jhaira Auxiliadora Cruz Dávila*** por ser incondicional, por apoyarme y no rendirme y dejar mi carrera en mi proceso de maternidad, este logro no es solo mío sino de ellos también y con mucho amor se los dedico.

Br. Solange Junieth Olivas Cruz

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, que ha velado por mi bienestar llenándome de salud y permitiéndome salir adelante cada día.

A mis padres, que con sus consejos me permiten creer que no hay obstáculos tan grandes que no se puedan enfrentar.

A mis familiares, amigos y seres queridos que con buenos momentos llenos de risas me fortalecen y me dan las energías para seguir adelante.

A mis asesores, el **Ing. Elvin Lagos** y el **Ing. Joel Angulo** por brindarnos sus conocimientos, consejos, tiempo, empeño y dedicación en nuestra investigación y brindarnos las herramientas necesarias para obtener excelentes resultados.

A mi mejor amiga **Solange Junieth Olivas** que me permitió llevar a cabo este proceso de culminación y lograr juntos nuestro objetivo, estando siempre presente y formando lazos que duraran en nuestros recuerdos.

Dr. David Abraham Pisarte Areas

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecida con Dios, a mi familia que siempre estuvieron al tanto de mis estudios, hoy se cumple una meta y no puedo estar más agradecida por las personas que entraron a mi vida, también le agradezco a mi grupo de estudios por estos 5 años, a mis amigos con los que comparto escenario, no puedo estar más agradecida con ellos, y por último y no menos importante a mis asesores, el **Ing. Elvin Lagos** y **Ing. Joel Angulo** por su tiempo y dedicación en nuestro proyecto y agradecerle a mi mejor amigo y compañero de tesis **David Abrahan Pilarte Areas** por estar ahí para mí y ser mi amigo incondicional.

Br. Solange Junieth Olivas Cruz

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
Infiltración ajustada	ix
Curva de velocidad de infiltración	ix
Valores de ET_c por etapas obtenidas por los lisímetros	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Importancia de los lisímetros	4
3.2. Implementación de lisimetría en campos de investigación	6
3.3. Uso de Cropwat para determinar ET _c y ET _o	10
3.3.1. Determinación de la evapotranspiración con el método de Penman-Monteith	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del estudio	12
4.1.1. Condiciones climáticas	13
4.1.2. Suelo	13
4.2. Diseño metodológico	14
4.3. Manejo del ensayo y metodología	14

4.3.1. Parámetros climáticos	14
4.3.2. Determinación de propiedades hidrofísicas	15
4.3.2.1. Prueba de infiltración	15
4.3.2.2. Muestreo de suelo	19
4.3.3. Construcción e instalación de los lisímetros	19
4.3.4. Calibración de los lisímetros	20
4.3.5. Programación del riego	22
4.4. Datos o variables evaluados	23
4.5. Análisis de datos	25
4.6. Manejo de factores no sujetos a evaluación	25
4.6.1. Manejo agronómico aplicado al cultivo de estudio (Maíz).....	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1. Calibración de los lisímetros	27
5.1.1. Volúmenes de agua aplicados por etapas	27
5.2. Relación de ETc estimadas por lisímetros y Cropwat	28
5.3. Curvas del coeficiente del cultivo Kc	30
VI. CONCLUSIONES	34
VII. RECOMENDACIONES	35
VIII. LITERATURA CITADA	36
IV. ANEXOS	39

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Uso de los lisímetros para diferentes campos de investigación	4
2.	Análisis de suelo del área experimental	13
3.	Clasificación de la magnitud de infiltración	15
4.	Volúmenes diarios aplicados de agua por planta	27
5.	Relación de ET _c obtenidas por Cropwat y lisímetros	29
6.	Valores de ET _o , ET _c y K _c del Maíz (<i>Zea mays L.</i>) obtenida por el programa Cropwat	31
7.	Valores de ET _o , ET _c y K _c del maíz (<i>Zea mays L.</i>) obtenida por lisímetros de drenaje	33

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Mapa del área de estudio	12
2. Condiciones climáticas del área de estudio UNA 2024	13
3. Diseño metodológico empleado	14
4. Curva del Kc de maíz (<i>Zea mays L.</i>) obtenida por el programa Cropwat	31
5. Curva del coeficiente del cultivo Kc obtenidas en los lisímetros	32

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Datos prueba de infiltración	40
2. Infiltración ajustada	41
3. Curva de velocidad de infiltración	42
4. Calibración de los lisímetros	42
5. Determinación de la ETo con Cropwat y datos climatológicos de la estación meteorológica Augusto Cesar Sandino, 2014-2023	43
6. Valores de Kc por etapas obtenida por los lisímetros	43
7. Valores de ETc por etapas obtenidas por los lisímetros	44
8. Prueba de infiltración	44
9. Análisis y muestreo de suelos	44
10. Construcción del bloque lisimétrico	45
11. Calibración de lisímetros	45
12. Etapa vegetativa del cultivo	45
13. Formación del fruto	45
14. Drenaje de los lisímetros	45
15. Lectura de volúmenes drenados	45

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el fin de determinar el coeficiente del cultivo K_c de maíz (*Zea Mays L.*) a partir de sus necesidades hídricas mediante un bloque de lisímetros de drenaje en el periodo comprendido de febrero a mayo en el Centro académico de información práctica de la UNA. Para cumplir con este objetivo se calibró el bloque lisimétrico llevándolo a capacidad de campo (CC) y se determinó los volúmenes de agua a aplicar en cada etapa fenológica del cultivo, así como el coeficiente de drenaje que permitió la obtención de volúmenes drenados que facilitaron el proceso de cálculo en la obtención de los valores de K_c . Seguidamente, mediante el programa Cropwat se determinó los valores de ETo a partir de datos climatológicos de la estación meteorológica más cercana, con ayuda de este mismo programa se identificó los valores estándar de K_c del cultivo, permitiendo calcular los valores de ETc del programa. Mediante los volúmenes drenados de los lisímetros y al aplicar una fórmula utilizada por diferentes investigadores en campos de investigación relacionados a la determinación de la evapotranspiración de diferentes cultivos, se determinó las ETc correspondiente a las etapas fenológicas del cultivo, relacionando y comparando estos valores obtenidos por ambos procesos. Finalmente, con los valores de ETo obtenida por Cropwat y la ETc de los lisímetros, se aplicó la fórmula de Penman-Monteith en la determinación de K_c , resultados que permitió la construcción de su curva de crecimiento, cuyo k_c inicial fue de 0.49, k_c medio de 1.21 y k_c final de 0.7; misma que fue comparada con la curva de crecimiento estándar de Cropwat, cuyos valores de k_c inicial es de 0.30, k_c medio de 1.20 y k_c final de 0.35.

Palabras clave: coeficiente del cultivo, capacidad de campo, ETc , ETo .

ABSTRACT

This experimental work was carried out in order to determine the Kc coefficient of the corn (*Zea Mays L.*) from its water requirements by means of a block of drainage lysimeters in the period from February to May at the Academic Center of Practical Information of the UNA. To fulfill this objective, the lysimetric block was calibrated taking it to field capacity (CC) and the volumes of water to be applied in each phenological stage of the crop were determined, as well as the drainage coefficient that allowed obtaining drained volumes that facilitated the calculation process in obtaining the values of Kc. Next, using the Cropwat program, the ETo values were determined from climatological data from the nearest weather station, with the help of this same program the standard Kc values of the crop were identified. allowing the calculation of the ETc values of the program. Using the volumes drained from the lysimeters and applying a formula used by different research fields related to the determination of crop was determined, relating and comparing these values obtained by both processes. Finally, with the ETo values obtained by Cropwat and the ETc of the lysimeters, the Kc formula was applied Penman-Monteith in the determination of Kc, results that allowed the construction of its growth curve, whose initial kc was 0.49, mean kc of 1.21 and final kc of 0.7, which was compared with the standard growth curve of Cropwat, whose initial kc values are 0.30, mean kc of 1.20 and final kc of 0.35.

Key words: Crop coefficient, field capacity, ETc, ETo.

I. INTRODUCCIÓN

Según Vinicius et al (2016) “El conocimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos ayuda a los cultivadores e investigadores a mejorar la gestión de las actividades de campo, tales como los eventos de riego”. (Citado por Rosas 2020, p.17).

Para varios autores como (León et al., 2016; Leon et al, 2023) el estudio sobre la estimación de los requerimientos hídricos del cultivo ha sido objeto de estudios en varias partes del mundo con el fin de encontrar una expresión que cuantifique este parámetro, se adapte a las condiciones edafoclimáticas de producción potencial de cultivo en consideración y que, a la vez, sea fácil su aplicación. Con este objetivo se realizan aproximaciones que permitan determinar, de la manera más precisa, la evapotranspiración (ET), a partir de datos de evapotranspiración de referencia (ET_o), utilizando coeficiente único de cultivo (K_c).

Uno de los estudios de lisímetros más antiguos se atribuye a Dalton (1802), quien determinó la cantidad de agua drenada en un lisímetro para establecer un balance hídrico. Kohnke et al. (1940), realizaron una cuidadosa revisión del empleo de lisímetros y discutieron el valor y limitaciones de las técnicas lisimétricas. Citado por: Madueño, (2000).

Según Joffe (1932), los primeros estudios con lisímetros a principios del siglo XIX, tuvieron como finalidad conocer la evolución del agua de lluvia en el suelo Dalton (1802). Muchos han sido los avances metodológicos y tecnológicos desde que De Hire construyera el primer lisímetro en París en 1688 aunque aún en la actualidad siga planteándose la cuestión de cómo medir el movimiento natural del agua en un suelo no alterado (Madueño-Luna 2000, p. 5).

La construcción de lisímetros de drenaje es fundamental en estudios de riego que permitan medir la evapotranspiración y el balance hídrico del suelo, así como el movimiento de solutos en la zona radicular del cultivo, optimizando la gestión del agua en la agricultura y previniendo la contaminación de las aguas subterráneas de la zona, disminuyendo costos energéticos y la determinación del tiempo adecuado de riego en el cultivo.

Dada la necesidad en investigaciones de conocer los volúmenes de agua requeridos en un determinado cultivo, se inicia la construcción de lisímetros de pesada y lisímetros de drenaje utilizándose para medir la percolación del agua a través del suelo y determinar los componentes solubles que se eliminan en el drenaje. Se remonta la historia de los lisímetros a principios del siglo XIX.

No obstante, el uso de los lisímetros para determinar los parámetros hídricos es escaso debido a los altos costos atribuidos a la instalación de ellos mismos así como al desconocimiento del proceso necesario para obtener los resultados esperados. El propósito de esta investigación es presentar la construcción de un bloque de lisímetros volumétricos de drenaje con herramientas y materiales reciclables para la recolección de volúmenes de agua de riego drenadas que nos permitan calcular la evapotranspiración real del cultivo de maíz, para posteriormente determinar su coeficiente del cultivo (K_c).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar las necesidades hídricas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) usando Cropwat y lisímetros de drenaje artesanal, UNA Managua, 2024.

2.2. Objetivos específicos

Construir y calibrar lisímetros de drenaje para determinar la cantidad de agua a aplicar en las etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Relacionar la evapotranspiración del cultivo (ET_c) obtenida en los lisímetros con la ET_c estimada por Cropwat.

Comparar la curva del coeficiente del cultivo (K_c) de maíz (*Zea mays L.*), obtenida con Cropwat y lisímetros de drenaje.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Importancia de los lisímetros

Howell et al., (1991) define que:

La palabra “lisímetro” es derivada de la palabra griega *lysis*, que significa “disolución” o “movimiento” y *metron*, que significa “medida” (Aboukhaled et al., 1982). Podría ser interpretada, entonces, como la medida del agua infiltrada en el suelo (Citado por Gonzáles-Murillo et al., 2020, p.4).

Los lisímetros son dispositivos que permiten estimar de forma directa el balance de masas de agua del suelo y de los solutos solubles y no solubles que son aplicados al suelo. Además, de ser considerado el instrumento adecuado que permite realizar mediciones de volúmenes y flujos de agua y solutos en el suelo. Sin embargo, resultan costosos dado a la alta demanda de personal capacitado que requiere, permitiendo la precisión de información obtenida que facilitara los diferentes procesos investigativos que se realicen. (Gonzáles-Murillo 2020, p.139).

Cuadro 1. Uso de los lisímetros para diferentes campos de investigación.

Campo de investigación	Propósito de investigación
Hidrología, Física de suelos, Edafología, Hidrogeología, Economía del agua.	• Balance hídrico en el suelo (Creutzfeldt et al., 2010). Determinación de la evapotranspiración, infiltración y recarga de las aguas subterráneas en diferentes áreas y usos de suelos para diferentes condiciones climáticas y topográficas. (Tyagi et al., 2000; Tuñón, 2000) • Contenido de agua en el suelo, temperatura del suelo, potencial matricial del suelo, movimiento del agua en el suelo, velocidad de infiltración en la zona no saturada. (Sackschewsky et al., 1995) • Suministro de agua, calidad del agua subterránea y del agua potable.

		• Monitoreo de las aguas de infiltración (Calidad y cantidad) y la fluctuación del nivel freático (Meissner et al., 2010). • Calibración de los modelos de transporte de agua y solutos en el suelo en la zona no saturada (Vander Borgh et al., 1997; Smith et al., 1995). • Experimentos de trazadores (Schoen et al., 1999). • Obtención de muestras de agua del suelo para las investigaciones de procesos químicos del agua. • Comparación de los resultados de diferentes tipos de lisímetros. • Mediciones de infiltración y la interacción con las aguas subterráneas.
Agronomía, agrícola, Economía forestal.	Economía	• Entrada de sustancia antropogénica en los agroecosistemas: movimiento de nutrientes, sales, acumulación de nutrientes y pesticidas, lixiviación de agroquímicos (Vanclooster et al., 1994) • Investigaciones sobre el catabolismo y el destino de los productos fitosanitarios en diferentes cultivos y suelos a diferentes niveles freáticos (Karapanagioti et al., 2004). • Demanda de agua de las zonas agrícolas. • Balances hídricos y de nutrientes para las zonas agrícolas. • Comparación de los diferentes sistemas del cultivo/pastizales/agroforestal y su influencia en la cantidad de agua de infiltración y la calidad (Green et al., 1995). • Calibración los modelos de transporte de nutrientes (Jabro et al., 1997). • Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por algunos herbicidas y pesticidas (Schoen et al., 1999; Vink et al., 1997). • Precisión en la planificación del riesgo.

Ecología y protección del ambiente.

- Predicción de filtración de agua de sitios contaminados.
- Obtención de indicadores de calidad de agua de filtración, para utilizarlos como valores de referencia para la validación de la predicción de las aguas de drenaje de otras áreas contaminadas.
- Efecto de la precipitación en la lixiviación de contaminantes (Stark et al., 1995).
- Investigación de la eficiencia de los sistemas de sellado de superficies para pozos de áreas que fueron de explotación minera.
- Examinar los revestimientos de lodos de aguas residuales.
- Estudios sobre la calidad y cantidad de agua lixiviada, incluyendo la variación del nivel freático en zonas que han sido de explotación minera.
- Determinación de contaminantes liberados de materiales contaminados y modelación del contaminante lixiviado.

Fuente: Adaptado de Lanthaler (2004), citado por: González-Murillo et al., 2020, p.142.

3.2. Implementación de lisimetría en campos de investigación

Huamán, F. (2005) estimó:

El requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros en El Zamorano, Honduras. En este estudio se implementó el método directo de estimación llamado lisímetros, que permitió medir directamente la evapotranspiración de los cultivos bajo condiciones similares de suelo y vegetación. Donde los cuatro tipos de pastos fueron: *Brachiaria* (Híbrido mulato), *Digitaria eriantha* (Transvala), *Panicum máximum* (Tobiatá) y *Cynodon nlemfuensis* (Estrella).

La metodología fue la instalación de cuatro lisímetros por parcela, en cuatro parcelas, una por cada pasto. En el fondo de cada lisímetro se colocó una capa de grava de 15 cm de espesor seguida de una capa de arena de 10 cm, el volumen restante del lisímetro fue

completada con una mezcla de tierra con estiércol de cabra, el suelo utilizado fue franco arenoso.

La recolección de datos la realizó mediante el proceso de medición de volúmenes drenados diariamente a las 6 pm, y utilizando el método de balance hídrico para evaluar las entradas: precipitación (P) y el riego suministrado (R) y las salidas, el drenaje (D). Así mismo, fue monitoreada la humedad del suelo mediante tensiómetros ubicados a una profundidad de 15 y 30 cm; y la medición de materia seca (MS) en cada corte con un intervalo de 21 días, no encontrándose diferencia significativa en la producción entre los distintos pastos.

Torretta, J. (2017) realizó los:

Cálculos de los requerimientos hídricos del maíz y ajuste del coeficiente del cultivo (K_c) mediante el uso de lisímetros de drenaje en el valle inferior de río negro, Argentina. El objetivo de la investigación de Torretta fue hallar los requerimientos hídricos del cultivo de maíz en sus diferentes estadios y el cálculo de sus correspondiente valores K_c , donde utilizó un lisímetro de drenaje en el cual fue agregado un volumen de agua medido a través de un caudalímetro y retirándose el excedente; la diferencia entre ambos constituye el volumen de agua evapotranspirado por el cultivo.

Estos ensayos fueron realizados durante las campañas 2014/15 y 2015/16, con fechas de siembra de diciembre y noviembre respectivamente. En la obtención de datos de Torretta se midieron los volúmenes de agua semanalmente. Los datos obtenidos permitieron estimar los valores de K_c inicial, medio y final, además de estimar el volumen de materia seca producida, el rendimiento y las eficiencias del uso del agua.

Olmedo, G. et al., (SF) menciona el:

Diseño y construyó un lisímetro de pesada para medir la evapotranspiración real en Vid en Mendoza, Argentina. Olmedo considera que las técnicas micrometeorológicas como el método de la relación de Bowen o la covarianza de torbellinos se pueden utilizar para

medir directamente la ETc, pero consideró los lisímetros el método estándar de determinación.

Este lisímetro de pesada lo construyó con las siguientes características: 2.5 m de lado (6.25 m² de superficie) y una profundidad efectiva de 1.5 m. conteniendo en su interior dos plantas de Vid que se mantienen en idénticas condiciones a las plantas de la parcela; consistiendo en un tanque de fibra de vidrio, reforzado mediante una estructura metálica en forma de jaula que lo envuelve, el tanque reposa sobre una base rígida que a su vez apoya sobre 4 celdas de carga y todo el sistema apoyado sobre un soporte de hormigón. La señal de las celdas es leída y almacenada en el recolector de datos (RD).

Las informaciones de datos obtenidos se obtuvieron a partir del agua drenada y recolectada por un sistema por gravedad y pesada. Mediante el RD se almacenó información de sensores de humedad y sensores del suelo, ubicados dentro y fuera del lisímetro y los datos de sensores meteorológicos ubicados junto al lisímetro.

Bioagro, 1998 menciona el:

Diseño y estudio del funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medir la evapotranspiración potencial. La construcción del lisímetro hidráulico relativamente económico fue diseñado e instalado con el fin de comprobar su funcionalidad en la medida de la evapotranspiración potencial (ETP). Para esto utilizó 3 tanques cilíndricos de 57 cm de diámetro y 88 cm de altura los cuales fueron utilizados como receptores de suelo; en ellos se sembró pasto pangola (*Digitaria swazilandesis*) debajo de ellos se colocaron sensores en forma de aro, que fueron conectados cada uno a un manómetro de agua.

Dos de los tres lisímetros fueron usados para medir la evapotranspiración y al tercero se le interrumpió el suministro de agua, con el fin de detectar las variaciones del nivel del agua en su manómetro por el solo efecto de la temperatura, donde con estas variaciones se puedan corregir las lecturas.

La experiencia obtenida de Bioagro demostró buena estabilidad de los lisímetros, así como su sencillez y fácil manejo, donde los resultados obtenidos demostraron buena confiabilidad en las mediciones del aparato.

Figueroa, J (2023) destaca la:

Construcción de lisímetros artesanales para estimar el coeficiente del cultivo (K_c) del maíz morado, en la localidad de Cayhuayna-Huánuco-2019. Cuyo objetivo principal fue determinar el K_c de las diferentes etapas de crecimiento del maíz morado, estimándose la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), la evapotranspiración de referencia (E_{To}).

La E_{To} la determinó a partir de fórmulas empíricas con relación a los lisímetros volumétricos donde se recopilaron los datos meteorológicos diarios de la estación SENAMHI Huánuco, el K_c fue determinada mediante las mediciones de volúmenes drenados de los lisímetros. La medición de estos datos se dio a partir de tablas de bases de datos del programa Microsoft Office Excel 2019.

Roncalla, T (2018) determinó:

El coeficiente del cultivo K_c en el cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*) por el método de lisímetros de drenaje libre en la irrigación majes. Esta investigación la realizó en el área agrícola del centro de reconversión Agroganadera del proyecto especial Majes-Siguas AUTODEMA, en los meses de mayo a octubre del 2017.

Determinó los coeficientes del cultivo con lisímetros de drenaje libre, obteniendo datos diarios de evapotranspiración del cultivo, mediante 3 lisímetros y de evapotranspiración potencial (E_{To}) para determinar el K_c diario por la relación de la E_{Tc} entre la E_{To} . Para obtener estos datos instaló una estación agroclimática automática que le proporcionó los datos diarios de E_{To} por el método de la FAO (Penman-Monteith) e instaló un tanque de evaporación clase A también como fuente de evapotranspiración de referencia.

Realizó evaluaciones semanales de los parámetros fisiológicos que presentaban las plantas en cuanto altura, número de hojas, inicio y fin de floración, entre otros. Así mismo, registró de forma diaria las variables climatológicas importantes (temperaturas del aire, humedad relativa, punto de rocío, velocidad del viento y radiación solar). Como resultado determinó 5 etapas fenológicas del cultivo de chíá con sus respectivos valores de K_c . Estos valores obtenidos se pueden ocupar para calcular régimen de riego esencialmente en regiones edafoclimáticas similares a las analizadas en la investigación de Roncalla.

3.3. Uso de Cropwat para determinar ET_c y ET_o

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmosfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET . Se pueden comparar valores medidos o estimados de ET , en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia.

Los únicos factores que afectan la ET_o , son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_o también es un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos, ET_o expresa el valor evaporante de la atmosfera. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación con parámetros climáticos. (Santana 2008, p.8)

3.3.1. Determinación de la evapotranspiración con el método de Penman-Monteith

Santana 2008, menciona que:

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y obtuvo una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de insolación solar (horas sol), temperaturas, humedad atmosférica y velocidad del viento. Este método fue desarrollado posteriormente y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia (p.10).

Una gran cantidad de ecuaciones empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia utilizando datos meteorológicos. Numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de varios métodos de cálculos para diversas localidades.

Como resultado, en mayo de 1990, el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo . La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes del cultivo (Kc) que relacionan la ETc con la ETo . La Et de superficies cultivadas bajo condiciones no estándar se ajusta mediante el coeficiente de estrés hídrico (Ks) o modificando el coeficiente del cultivo. (Santana 2008, p.10)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La presente investigación se realizó contiguo a la granja acuícola perteneciente a la Dirección de Ciencia Animal (DECA), propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el km 12 ½ carretera norte, departamento de Managua, con las siguientes coordenadas geográficas: 12° 08' 59'' latitud norte y 86° 09' 44'' longitud Oeste, una elevación de 56 msnm, con pendiente de entre 0 y 2 %.

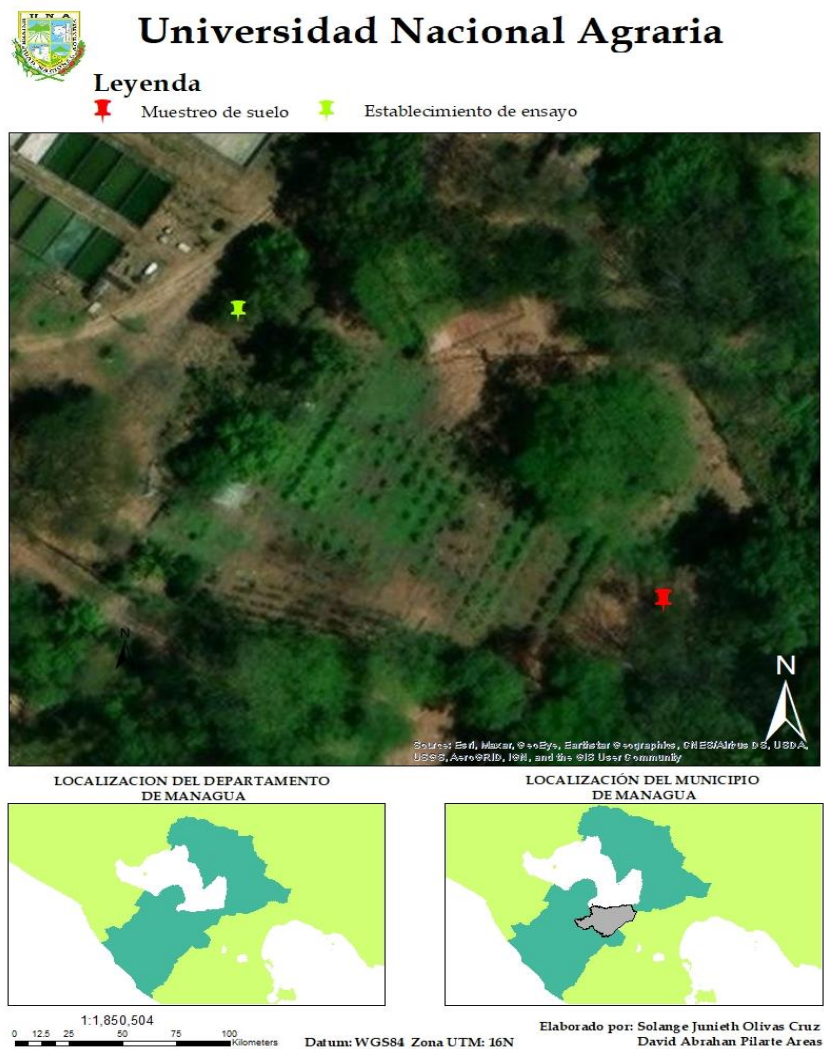


Figura 1. Mapa del área de estudio.

4.1.1. Condiciones climáticas

Managua cuenta con un clima tropical de sabana, la temperatura media anual es de 31°C, y la precipitación media anual es de 1190 mm, no llueve durante 144 días en el año, la humedad media es de 73% y el índice UV es 7. (INETER, 2023).

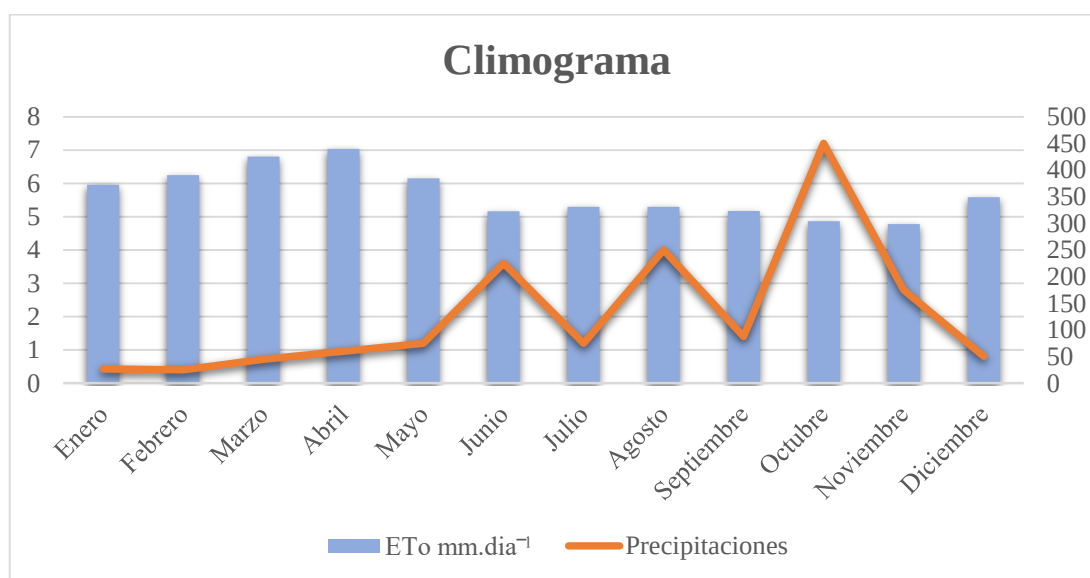


Figura 2. Condiciones climáticas del área de estudio UNA 2024, (INETER 2023).

4.1.2. Suelo

De acuerdo con el análisis de suelo realizado en el laboratorio de suelos y aguas (LABSA) de la UNA, se presentaron los siguientes datos, **Cuadro 2**, además de presentar características como textura franca arcillo-arenoso con consistencia adherible, estructura de bloques sub-angulares y presencia moderada de raíces.

Cuadro 2. Análisis de suelo del área experimental

Prof. (cm)	CC (%)	PMP (%)	Da (g.cm ⁻³)
30 cm	36.11	17.29	1.18

Fuente: Propia, 2024

El área de estudio se localizó en el Centro Académico de Información Práctica (CAFOP) acuícola ubicada en la parte norte de la UNA, con fechas de inicio de la etapa de campo que se extienden desde febrero a mayo del 2024.

4.2. Diseño metodológico

La presente investigación se realizó en cuatro etapas, siguiendo la metodología descrita en la figura 3, teniendo como finalidad el cumplimiento de los objetivos planteados.

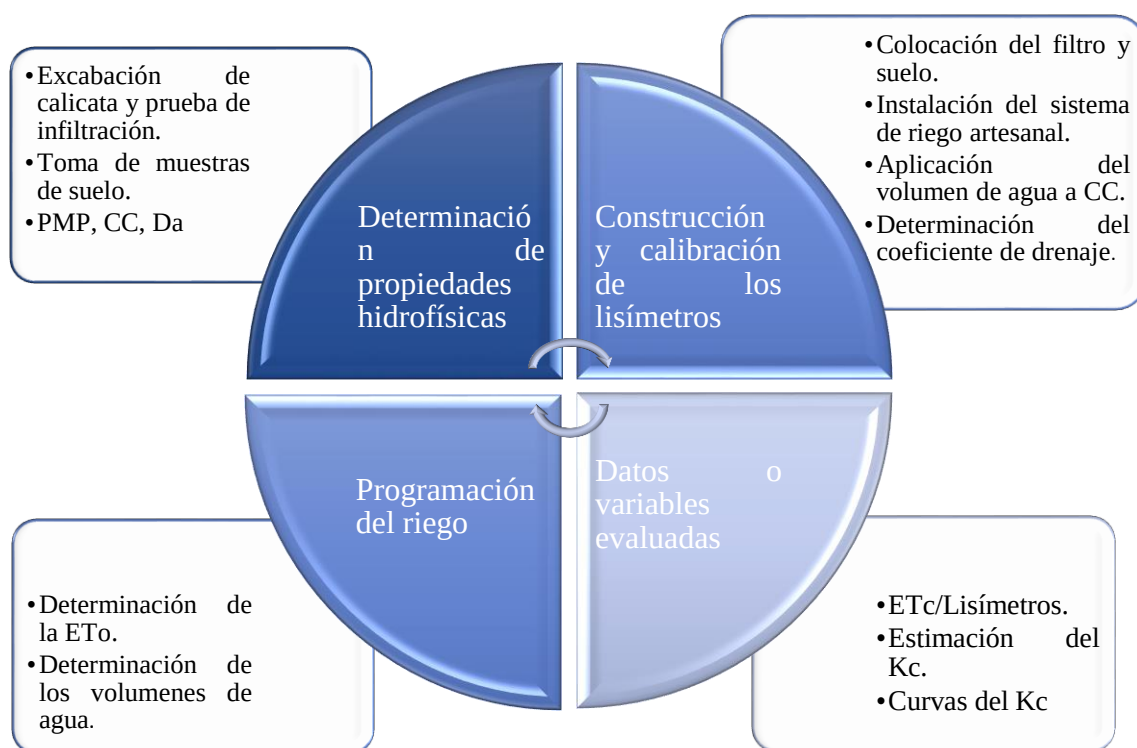


Figura 3. Diseño metodológico empleado.

4.3. Manejo del ensayo y metodología

4.3.1. Parámetros climáticos

Las variables de estudio analizadas fueron obtenidas por medio del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), de la estación meteorológica del Aeropuerto internacional

Augusto Cesar Sandino, Managua, con un periodo comprendido entre los años 2014-2023, siendo las variables climáticas obtenidas la precipitación (P), temperaturas máximas (T máx), temperaturas mínimas (T min), velocidad del viento, humedad relativa y brillo solar (horas sol).

4.3.2. Determinación de propiedades hidrofísicas

4.3.2.1. Prueba de infiltración

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo de agua de riego en el suelo y esta hace referencia a la velocidad de entrada del agua al suelo. Se estimó la velocidad de infiltración del suelo utilizado en los lisímetros, tomando en cuenta que la velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, expresándose generalmente en cm.h^{-1} o cm.min^{-1} .

Cuadro 3. Clasificación de la magnitud de infiltración

Clasificación	Magnitud (cm.hr^{-1})	Características
Muy lenta	<0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
Lenta	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
Media	1.75 – 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos.
Rápida	>2.50	Suelos arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación.

Fuente: Cisneros A. R. 2003

Método de infiltrómetro de doble cilindro

Este método consiste en instalar en el terreno que se desea determinar su infiltración siendo un sitio característico y previamente limpio, dos cilindros concéntricos de acero, huecos en el centro, con medidas aproximadas de 40 cm de alto, de 30 y 45 cm de diámetro respectivamente.

Se colocó una placa de madera sobre ellos golpeándose hasta que estos penetraran el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm quedando a nivel ambos cilindros. Una vez instalados se llena de agua el anillo exterior y se cubre el anillo interior con un plástico lo más adherido a las paredes posibles, se vierte agua y se mide el tirante con la ayuda de un tornillo micrométrico o de una regla.

Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó la ecuación de Kostiakov-Lewis

$$I = k t^n$$

Donde:

I = velocidad de infiltración (cm.hr^{-1})

t = tiempo (min)

k = parámetro que representa la velocidad de infiltración cuando durante el intervalo inicial (cuando $t = 1$)

n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo ($-1.0 < n < 0$)

Para obtener los coeficientes de k y n del modelo de Kostiakov-Lewis utilizamos el método de regresión lineal simple, en el cual necesitamos linealizar la ecuación aplicando logaritmos a ambos términos, de esta forma obtuvimos:

$$\text{Log } I = \text{Log } k + n \text{ Log } t$$

Que corresponde a una ecuación del tipo de una recta:

$$Y = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$Y = \log I$$

$$b_0 = \log k$$

$$b_1 = n$$

$$X = \log t$$

Además:

$$Y = \text{velocidad de infiltración (mm.hr}^{-1}\text{)}$$

$$X = \text{tiempo (min)}$$

b_1 se calcula como:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

Teniéndose luego la siguiente ecuación:

$$\bar{Y} = b_0 + b_1 X$$

Posteriormente se despeja la fórmula de tipo de una recta quedando:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 X$$

Encontrando la media como:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Además, sabiendo que:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

Ahora bien, si consideramos la ecuación linealizada:

$$\text{Log } I = \log k + n \log t$$

Y como ya sabemos:

$$b_0 = \log k$$

por lo tanto:

$$k = \text{antilog } b_0$$

y además:

$$b_1 = n$$

finalmente, el modelo Kostiakov-Lewis será:

$$I = (k) t^n$$

Ahora, para determinar el coeficiente de correlación (r) del modelo obtenido, siendo la medida del grado de asociación de variables se obtiene:

$$r = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}}{\sqrt{[\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}][\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}]}}$$

Se calcula además el coeficiente de determinación (r^2), que está relacionado con (r), significando que la variación de Y es explicada por el modelo linealizado propuesto, de acuerdo con el valor obtenido de (r^2).

Finalmente, con el modelo de Kostiakov-Lewis se calcula la velocidad de infiltración en un tiempo determinado y obtener sus valores ajustados. Posterior a esto se grafica para observar el comportamiento de la velocidad de infiltración, usando los valores ajustados y no ajustados.

4.3.2.2. Muestreo del suelo

Se excavó una calicata de 70 cm de profundidad, la cual permitió identificar los distintos horizontes encontrados en el perfil de suelo y observar los distintos niveles de alteración que puedan tener. Mediante este proceso se extrajeron tres capas de suelo, cada una con un espesor de 10 cm con un orden específico para ser colocados posteriormente en cada lisímetro, permitiendo la similitud del suelo en su estado natural.

Se extrajeron tres muestras de suelo a una profundidad de 30 cm con el fin de realizarle pruebas de laboratorio de los siguientes datos: Capacidad de campo (CC); punto de marchitez permanente (PMP) y Densidad aparente (D_a), se realizó prueba textural por el método del tacto con el fin de conocer el % de arena, limo y arcilla presentes en el suelo.

Con la ayuda de la tabla Munzel se identificó el color del suelo seco, resultando a 10 YR 4/3 café y el color del suelo húmedo de 10 YR 2/2 marrón muy oscuro.

4.3.3. Construcción e instalación de los lisímetros

Para la construcción del bloque lisimétrico se utilizó un total de 10 recipientes plásticos (baldes) con capacidad de 20 lts y un área de 0.070685834 m^2 , además de un volumen de suelo total de 0.016 m^3 por cada lisímetro. Estos fueron perforados en la parte inferior equivalente a la mitad del fondo del balde con distancia entre orificios de 3 cm y diámetro de 2.18 mm.

Posteriormente se le colocó un filtro compuesto por 4 cm de grava y 5 cm de arena, seguido de la colocación de tres capas de suelo de 4 cm, 10 cm y 10 cm para una profundidad en cada lisímetro de 0.24 m, éstas de acuerdo con el orden del perfil del suelo. Como tubería de drenaje se utilizaron tubos PVC de 4 pulgadas cortados por la mitad con longitud de 30 cm de largo; los cuales fueron estacionados en la parte inferior de los lisímetros (baldes).

Los lisímetros se colocaron en dos polines con dimensiones de 1.15 m de largo y 1.12 m de ancho, colocados a 28 cm de altura en una base sobre la superficie del suelo; seguido de la ubicación de los lisímetros, 5 en cada costado del bloque a una distancia de 22 cm entre cada uno.

Para la recolección del agua drenada por los lisímetros se ubicaron embaces plásticos de 1L cortados en la parte superior, colocados a una altura de 3 cm de la tubería de drenaje.

4.3.4. Calibración de los lisímetros

Para la calibración de los lisímetros fue indispensable conocer los datos de laboratorio como CC, PMP y Da, donde luego se aplicaron las fórmulas para conocer los volúmenes de agua aplicar.

Volumen aplicado para capacidad de campo:

$$H_{cc} = 100 * Da * \Delta h * CC$$

Donde:

H_{cc} = volumen a capacidad de campo (mm)

Da = densidad aparente (g.cm^{-3})

Δh = profundidad del suelo en los lisímetros (m^2)

CC = capacidad de campo (%)

La lamina aplicada en los lisímetros se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$La = \frac{Vol}{A}$$

Donde:

La = lámina de agua aplicado a cada lisímetro en (m)

Vol = volumen de agua aplicada a los lisímetros en (m³)

A = área de los lisímetros en (m²)

El área de los lisímetros se calculó con la fórmula:

$$A = \frac{\pi (d)^2}{4}$$

Donde:

A = área de los lisímetros en (m²)

d = diámetro de los lisímetros en (mm)

El volumen de agua a aplicar para elevar la humedad a capacidad de campo se obtuvo mediante la ecuación:

$$Vol = La * A$$

Determinación de la lámina de riego a aplicar

En cada lisímetro se sembró una planta de maíz. Se calculó la lámina de riego diaria a aplicar en el cultivo por cada lisímetro, con la siguiente ecuación:

$$Va = (ET_o * ND * AL) * Cd$$

Donde:

V_a = volumen aplicado en cada lisímetro en (L)

E_{To} = evapotranspiración de referencia en ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$)

N_D = número de días

A_L = área del lisímetro en (m^2)

C_d = coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje se cambió de su valor inicial de calibración a partir de la segunda etapa al observar que no drenaba, en la etapa final también se realizó cambio dados los requerimientos hídricos del cultivo.

Determinación del coeficiente de drenaje (C_d)

Para conocer el C_d de los lisímetros se aplica un volumen de agua al suelo contenido en el lisímetro para garantizar el drenaje interno del mismo.

Para ellos en los lisímetros se incorpora el volumen correspondiente a CC lo que equivaldría a un C_d del 1. En caso que no drenaran todos los lisímetros, se deberá incrementar un 25% del volumen aplicado a CC, hasta lograr que drenen todos los lisímetros. El C_d aumentara su valor conforme avance el desarrollo vegetativo del cultivo con valores de (1.5, 3, 4 y 5)

4.3.5. Programación del riego

Para determinar la E_{To} se utilizó el programa Cropwat que tiene incorporado el algoritmo del método de Penman-Monteith.

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético de pasto, con altura de 0.12 m, con resistencia superficial de $70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ y un albedo de 0.25, que representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activa y adecuadamente regado, con este método

se realizaron los cálculos de la evapotranspiración de referencia (ET_o), usando la siguiente ecuación:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta (R_n - G) \frac{900}{T + 273} u_2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día)

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 psicométrica (kPa °C⁻¹)

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

U₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m.s⁻¹)

Es: Presión de vapor de saturación (kPa)

Ea: Presión real de vapor (kPa)

Instalación del sistema de riego

Se instaló un sistema artesanal de riego por goteo, en la parte superior de cada lisímetro, los cuales constaron de botellas plásticas de 3 lts, con una perforación en los tapones usados como goteros con diámetro de 0.2 mm, además de ser colocados sobre una barra de madera como soporte por encima del bloque lisimétrico.

4.4. Datos o variables evaluados

Se realizó una vez culminada la recolección de volúmenes drenados de los lisímetros los cálculos correspondientes de los valores de ET_c los cuales fueron determinados por la formula siguiente:

$$ET_c = \frac{(V_a - V_D)}{A_l * IR}$$

Donde:

V_a = volumen aplicado en los lisímetros en (L)

VD = Volumen drenado en (L)

Al = área del lisímetro en (m²)

IR = intervalo de riego en (días)

Medición de volúmenes drenados

La medición de estos volúmenes se realizó cada uno, dos o tres días de acuerdo al riego y su intervalo de riego aplicado. Fueron medidos en un horario específico de 1 a 2 pm en un periodo correspondiente entre (7 febrero al 10 de mayo del 2024), con ayuda de una probeta de 250 ml, agregados posteriormente a una base de datos para su análisis.

Determinación del intervalo de riego

El intervalo de riego se aplicó primeramente de forma diaria equivalente a 1; con el poco resultado de volúmenes drenados se determinó un intervalo de riego de cada dos y tres días, el cual generó mayor significancia en la obtención de resultados respectivamente.

Estimación de la ETo

Mediante los datos climatológicos obtenidos de (INETER), se determinó la ETo en el programa Cropwat del método Penman-Monteith. La cual se utilizó en la fórmula de estimación del Kc del cultivo de maíz en conjunto con los valores de ETc obtenida mediante los lisímetros.

Estimación del Kc

El Kc fue determinado por dos métodos para luego ser comparadas sus respectivas curvas de crecimiento.

Por medio del programa Cropwat 8.0 se estimó los valores del Kc dados como referencia de la FAO. Obteniendo la primera curva de referencia.

Mediante el bloque lisimétrico se determinó los valores de la ETc, en conjunto con el valor de la ETo de Penman-Monteith se procedió a aplicar la fórmula de estimación de los segundos valores del Kc:

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

Donde:

K_c = coeficiente del cultivo

E_{Tc} = evapotranspiración del cultivo por medio de los lisímetros en (mm.dia^{-1})

E_{To} = evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith en (mm.dia^{-1})

4.5. Análisis de datos

Las recolecciones de datos se incorporaron en una base de datos del programa Excel, donde se analizaron y se realizaron los procesos correspondientes de cálculos de los valores obtenidos durante la etapa de campo. Así como el análisis y procedimientos del programa Cropwat 8.0.

4.6. Manejo de factores no sujetos a evaluación

4.6.1. Manejo agronómico aplicado al cultivo de estudio (Maíz)

Selección de la variedad de semilla utilizada

En Nicaragua existe una gran cantidad de variedades de semillas de maíz. En este caso utilizada la variedad NB6, electa por sus características físicas como floración femenina de 56-58, altura adecuada de entre 230-235 cm, mazorcas rollizas con granos semi-dentados de color blanco, además de contar con fácil adaptabilidad climática a la zona en las distintas partes del país.

Realización de prueba de germinación.

Se realizó prueba de germinación con 10 días antes del montaje del cultivo en los lisímetros, muy sencilla y rápida en la cual se obtuvo un 88 % de germinación total, resultando aceptable en la implementación de esta variedad.

Preparación del suelo

Como se mencionó anteriormente en la preparación del suelo se extrajo muestras de suelo de 10 cm de profundidad en tres diferentes capas las cuales fueron ubicadas en los lisímetros en el orden del perfil de suelo respectivamente, simulando el estado natural del mismo.

Siembra

La siembra del cultivo se realizó en el mes de febrero correspondiente a la época de riego verano 2024 en 1 bloque de 10 lisímetros con 30 granos de maíz (3 granos) para cada lisímetro, su establecimiento fue de forma manual colocándose cada grano en forma triangular a una distancia de 8 cm entre grano. De los 10 lisímetros las semillas germinaron solo en 8. De cada lisímetro se seleccionó la planta con mejor estado fisiológico, y las demás fueron eliminadas.

Fertilización

A los 8 días ya germinados los granos de maíz se seleccionó la plántula de mayor vitalidad y se le aplicó el fertilizante 18-46-0 que le brindó los nutrientes efectivos en la estimulación del desarrollo radicular y su desarrollo balanceado, con una dosis de 5 gr por planta.

Control de malezas

Se controló las malezas en cada lisímetro de forma manual dado a que se generaba en poca intensidad.

Aplicaciones fitosanitarias

A los 20 dds se le aplicó Urea 46% con dosis de 3 gr por planta.

A los 35 dds se le aplicó el fungicida Amistar en una dosis de 3 cc por litro de agua, previniendo las enfermedades en el cultivo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Calibración de los lisímetros

El coeficiente de drenaje puede tener valores de 1, 1.25 a más. El valor de 1 equivale al volumen de agua para elevar la humedad del suelo a capacidad de campo. El volumen a capacidad de campo aplicado fue de 7.228 L, con este volumen aplicado drenaron el 60% de los lisímetros.

Se aumentó al volumen aplicado un 25% más del volumen aplicado a capacidad de campo, equivalente a 1.807 L para un volumen total de 9.035 L correspondiente a un coeficiente de drenaje de 1.25. Con este volumen de agua aplicado drenaron el 100% de los lisímetros, este fue el coeficiente de drenaje inicial usado para determinar el riego aplicado al cultivo.

Cuando se aplicó el volumen a capacidad de campo (7.228 L), se obtuvo una media de volumen drenado correspondiente al 70% de los lisímetros de 0.480 L equivalente al 6.64% de la CC. Quedando un volumen retenido de 6.748 L correspondiente al 93.35% de la CC.

5.1.1. Volúmenes de agua aplicados por etapas

En el cuadro 4, se presentan los volúmenes de agua aplicados por medio de riego en las distintas etapas del cultivo, así también, los valores de ETo y los coeficientes de drenaje implementados por etapa con los intervalos de riego en el bloque lisimétrico.

Cuadro 4. Volúmenes diarios aplicados de agua por planta

Etapas	IR (días)	C de drenaje (%)	(L. día ⁻¹)	ETo (mm.día ⁻¹)
E. Inicial	1	1.25	0.55	6.25
	1		0.55	
E. Desarrollo	1	1.25	0.55	6.25
	1	1.5	0.6	6.8
E. Intermedia	1	3	1.4	6.8
	1	4, 5	1.9	7.04
E. Final	1	1.5	0.75	7.04
	1		0.75	6.15

Fuente: Propia, 2024

Las etapas fenológicas del cultivo se estimaron de acuerdo con la calendarización obtenida en el programa Cropwat; tomada la fecha inicial ingresada al programa a partir de la germinación de las plantas. La etapa inicial se extendió desde el 7 al 26 de febrero con una duración de 20 días la temperatura media para este mes fue de 35.2 °C. La lámina de agua aplicada en la etapa inicial por planta fue de 0.55 L.día⁻¹ y el volumen total aplicado en esta etapa fue de 11.04 L. Según Ibañez, 2016 en un ensayo realizado bajo condiciones de invernadero en la universidad técnica de Machala, Ecuador, realizó un estudio con lisímetros de pesada en el cultivo de maíz, encontró que las necesidades hídricas fueron 0.4 L.día⁻¹.

En la etapa de desarrollo las temperaturas medias fueron 35.2 °C en el mes de febrero, 36.4 °C mes de marzo. Esta etapa comprende entre el 27 de febrero al 22 de marzo, con una duración de 25 días. La lamina aplicada fue de 0.55 L.día⁻¹ para febrero con un coeficiente de drenaje para los lisímetros de 1.25 y 0.60 L.día⁻¹ en marzo con Cd de 1.5 respectivamente. El volumen aplicado para esta etapa fue de 15.07 L.

La etapa Intermedia se extendió del 23 de marzo al 11 de abril con temperaturas medias de 36.4 °C en marzo y 37.6 °C para abril. Las láminas de agua aplicadas fueron para marzo de 1.4 L.día⁻¹ con Cd de 3 y 1.9 L.día⁻¹ con Cd de 4; para abril la lámina fue de 2.4 L.día⁻¹ para un Cd de 5 y un volumen total aplicado de 44.44 L. Los requerimientos hídricos se alcanzaron con Cd de 5 y lamina de 2.41 L.día⁻¹. Ibañez 2016, en su estudio con lisímetros de pesada en maíz determinó que la necesidad hídrica para la etapa media del cultivo es de 2.45 L.día⁻¹.

La etapa final se extendió del 8 de abril al 10 de mayo, cuyas temperaturas medias fueron 37.6 °C en el mes de abril y 37.2 °C en mayo. La lámina aplicada en esta etapa fue de 0.75 L.día⁻¹ con un volumen total de 26.25 L con un Cd de 1.5. Para Ibañez 2016, la necesidad hídrica en la etapa final es de 0.74 L.día⁻¹.

5.2. Relación de ETc estimadas por lisímetros y Cropwat

En el cuadro # se presentan los valores correspondientes a la evapotranspiración del cultivo ETc estimadas por el método directo implementado Lisímetros y Cropwat.

Cuadro 5. Relación de ETc obtenidas por Cropwat y los lisímetros

Valores ETc				
Etapas	Fechas	Lisímetros mm	Cropwat mm	Necesidades hídricas (L.planta ⁻¹) Lisímetros
Inicial	7 al 26/2/24	3.1	1.9	4.4
Desarrollo	27/2 al 22/3/24	3.93	7.8	6.9
Intermedia	23/3 al 11/4/24	14.6	8.3	20.6
Final	12/4 al 10/5/24	4.3	2.3	9.1
Total				41

Fuente: Propia, 2024.

Durante la etapa inicial el valor de ETc del cultivo de maíz por Cropwat es de 1.9 mm.planta.día⁻¹, que en necesidades hídricas es de 0.13 L.día⁻¹ y el valor medio obtenido en los lisímetros fue de 0.21 L.día⁻¹ con valor de ETc 3.1 mm.planta.día⁻¹ respectivamente. Las estimaciones hídricas con Cropwat en la fase inicial es de 2.6 L.planta⁻¹ y los requerimientos hídricos obtenidos de los lisímetros fue de 4.4 L.planta⁻¹.

En la etapa de desarrollo el valor de ETc obtenido por Cropwat fue 7.8 mm.planta.día⁻¹, la cual corresponde a necesidades hídricas de 0.55 L.planta.día⁻¹, el valor de ETc en los lisímetros fue de 3.93 mm.planta.día⁻¹, con necesidades hídricas de 0.27 L.planta.día⁻¹ respectivamente. El volumen total de agua estimada por Cropwat es de 13.75 L.planta⁻¹ y el volumen total por los lisímetros fue de 6.9 L.planta⁻¹.

En la etapa intermedia el valor de ETc por Cropwat fue de 8.3 mm.planta.día⁻¹ cuyas necesidades hídricas fue 0.58 L.planta.día⁻¹, por otro lado, la ETc obtenida en los lisímetros fue de 14.6 mm.planta.día⁻¹ con necesidades hídricas de 1.03 L.planta.día⁻¹, respectivamente. Los valores totales de volúmenes aplicados por Cropwat seria 11.6 L.planta⁻¹ y por los ,lisímetros fue 20.6 L.planta⁻¹.

En la etapa final el valor de ETc por Cropwat fue de 2.3 mm.planta.día⁻¹ y presentó necesidades hídricas de 0.16 L.planta⁻¹, sin embargo, el valor de ETc de los lisímetros fue de 4.3 mm.planta.día⁻¹ y su necesidad hídrica de 0.30 L.planta⁻¹ respectivamente. El volumen total de agua estimado por Cropwat fue de 4.8 L.planta⁻¹ y el volumen de agua medio requerido por los lisímetros de 9.1 L.planta⁻¹.

Comparando con los valores de (Tarazona-Meza et al., 2021), en su investigación de Determinación de las necesidades hídricas del maíz blanco mediante lisímetros de drenaje para la revista de ciencias agropecuarias en Ecuador, el requerimiento hídrico para la etapa Inicial fue de 1.47 mm.día^{-1} , en la etapa desarrollo de 2.9 mm.día^{-1} , en la tercera etapa un valor de 3.85 mm.día^{-1} y en la etapa Final de 3.01 mm.día^{-1} . Necesitando un requerimiento hídrico total de 225.73 mm durante todo el ciclo vegetativo del cultivo comprendido de 80 días.

De acuerdo con (Ureña Ordoñez, 2017) en su investigación de Determinación de las necesidades hídricas del maíz (*Zea Mays L.*) por lisímetro volumétrico en el sector El Porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos, Ecuador; encontró que los valores de ET_c en la E. Inicial fue de 2.98 mm.día^{-1} , en la E. de desarrollo de 3.45 mm.día^{-1} , 4.31 mm.día^{-1} en su tercera etapa y 3.08 mm.día^{-1} . Con un requerimiento hídrico de 422.22 mm durante los 117 días correspondiente a su ciclo vegetativo.

5.3. Curvas del coeficiente del cultivo K_c

En la figura # se presenta la curva del K_c , obtenida por Cropwat del cultivo de maíz, con fecha de inicio de siembra el 7 de febrero y fecha de finalización el 10 de mayo del 2024.

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo se utilizó el programa Cropwat por el método de Penman-Monteith los cuales se dieron a partir de datos climatológicos de la estación meteorológica Augusto Cesar Sandino de Managua en un periodo correspondiente de 10 años desde el año 2014 al 2023, donde las temperaturas máximas oscilaron en 35.4 °C ; temperaturas mínimas de 21.2 °C ; humedad relativa de 70%; brillo solar de $246.3 \text{ (horas.dec}^{-1})$ y vientos medios de 3.4 m.sec^{-1} . Los valores de ET_o fueron utilizados en la determinación del K_c del cultivo por Cropwat como en el bloque lisimétrico.

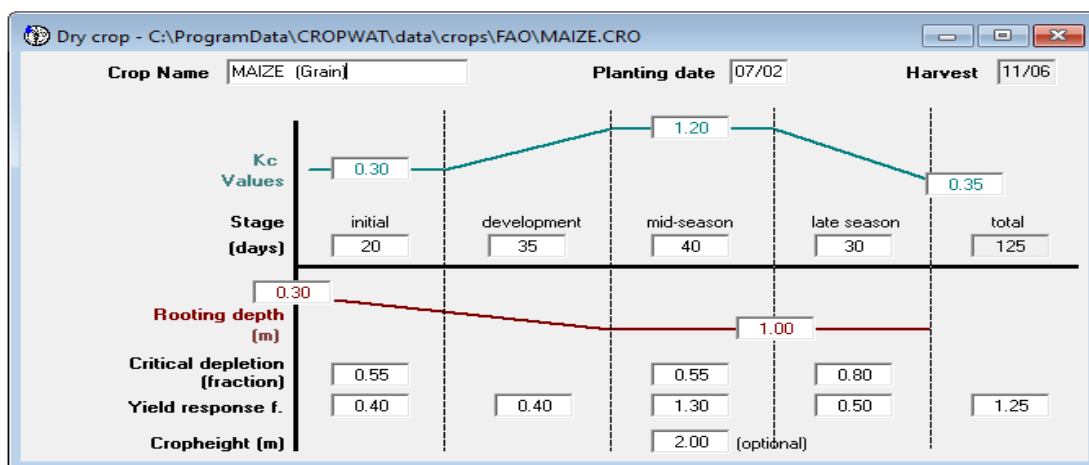


Figura 4. Curva del Kc de maíz (*Zea mays L.*) obtenida por el programa Cropwat.

En la primera etapa según necesidades hídricas determinadas por Cropwat la evapotranspiración potencial supera la evapotranspiración del cultivo, debido a la poca biomasa del cultivo lo que repercute en la poca transpiración por las estomas y el mayor componente de evaporación desde el suelo y en una baja demanda hídrica.

En la segunda etapa es mayor la evapotranspiración del cultivo que la evapotranspiración potencial debido al aumento de la transpiración por incremento de biomasa del cultivo, reflejándose en un aumento de las necesidades hídricas del cultivo en un 446% con respecto a la etapa inicial.

La tercera etapa las demandas hídricas del cultivo disminuyen en un 29% con respecto a la etapa media debido a que la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración del cultivo ya que el cultivo ha entrado en la etapa de senescencia y necesita poca agua para sus necesidades fisiológicas.

Cuadro 5. Valores de ETo, ETc y Kc del maíz (*Zea mays L.*) obtenida por el programa Cropwat.

Valores correspondientes (Cropwat)			
Etapas	ETo	ETc	Kc
E. Inicial	6.25	1.9	0.3
E. Media	6.7	8.0	1.2
E. Final	6.595	2.4	0.35

Fuente: Propia, 2024.

Curva del coeficiente del cultivo K_c por lisímetros

Los valores del coeficiente del cultivo (K_c), se determinaron mediante la fórmula de Doorembos y Pruitt (1977), estimados por etapas fenológicas correspondiente al cultivo de maíz, en esta fase se utilizaron registros de entradas (Riego) y salidas (Drenaje) seguidamente por el levantamiento de datos para su proceso de cálculo, donde, se determinó un valor de K_c inicial de 0.50, en el desarrollo de 0.60, en la etapa intermedia de 2.10 y un K_c final de 0.65, durante un periodo comprendido de 95 días.

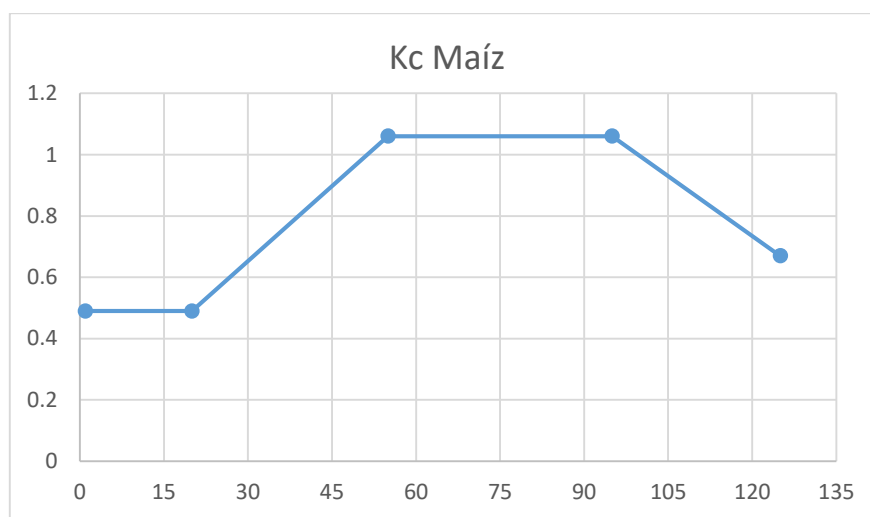


Figura 5. Curva del coeficiente del cultivo K_c obtenida en los lisímetros.

Dados los valores obtenidos en la primera etapa y a las necesidades hídricas aplicadas en cada lisímetro se obtuvo que la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración del cultivo, debido a la poca transpiración por parte de las plantas y a su estado inicial de vegetación además de la alta evaporación del suelo producto y su demanda hídrica aplicada.

Durante la etapa de desarrollo aumentó la transpiración de las plantas en cada lisímetro debido a su incremento de biomasa, generando que la evapotranspiración del cultivo sea mayor que la evapotranspiración de referencia.

Por otro lado, durante la etapa intermedia el aumento en los valores de ET_c se ven mayormente en comparación con la ET_o , ya que en este momento se da el crecimiento, desarrollo y floración del cultivo necesitando mayores volúmenes de agua aplicados.

En la etapa final las necesidades hídricas disminuyen debido a la senescencia del cultivo, disminuyendo la transpiración de la planta, por lo tanto, la evapotranspiración de referencia es mayor que la evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 7. Valores de ETo, ETc y Kc del maíz (*Zea mays L.*) obtenida por lisímetros de drenaje.

Etapas de crecimiento	Días	ETc promedio (mm. día⁻¹)	ETo promedio (mm. día⁻¹)	Kc promedio
Inicial	20	3.1	6.25	0.50
Desarrollo	25	3.93	6.53	0.58
Intermedia	20	14.6	6.92	2.10
Final	30	4.3	6.60	0.6

Fuente: Propia, 2024.

Los valores obtenidos en esta investigación difieren con los valores obtenidos en las investigaciones de (Vivar, 2022) y (Figueroa, 2023). Vivar en su investigación de Diseño de necesidades hídricas de maíz morado mediante un bloque lisimétrico en Guayaquil-Ecuador, determino que el Kc ajustado de su etapa inicial fue de 0.4, en su etapa media de 1.14 y en su etapa final un valor de Kc de 0.28.

Por otro lado, Figueroa en su investigación de Uso de lisímetros artesanales en la determinación del Kc de maíz morado en Huánuco-Perú, encontró que el valor de Kc inicial fue de 0.69, Kc en su desarrollo de 1.10 Kc medio de 1.28 y un valor de Kc final de 0.99. observándose diferencias significativas entre ambas investigaciones debido a características de la zona de estudio donde se llevó a cabo cada investigación.

Falcón 2020, en su estudio de maíz amarillo estimo los valores de Kc, indicando el valor de Kc inicial de 0.30, un valor de 0.49 en la etapa de desarrollo, 0.82 en la etapa intermedia y 0.55 en la etapa final respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

El proceso de calibración de lisímetros tuvo una duración de cuatro días con un volumen de suelo de 0.018 m^3 necesario para aplicar el volumen de agua correspondiente a capacidad de campo, obteniendo un coeficiente de drenaje inicial de 1.25 para el total de lisímetros drenados.

Los valores de ET_c según Cropwat para el ciclo del cultivo de maíz fue de $468 \text{ mm.planta}^{-1}$ para un volumen de agua de 33 L.planta^{-1} . Sin embargo, el valor de ET_c mediante lisímetros para el ciclo del cultivo fue de $1246.15 \text{ mm.planta}^{-1}$ para un volumen de agua de 88 L.planta^{-1} .

El valor del comportamiento del K_c obtenido por Cropwat es similar al obtenido a través de los lisímetros de drenaje; ambos muestran que en la etapa inicial es mayor la ET_o que la ET_c , en la etapa media es mayor la ET_c que la ET_o , mostrándose en la última etapa el mismo comportamiento de la etapa inicial por ambos métodos.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar prueba de germinación en condiciones similares a las condiciones mismas del bloque de lisímetro que será instalado.

Poseer una fuente o institución de financiamientos económicos para la realización y construcción de este tipo de investigaciones a las futuras generaciones profesionales.

VIII. LITERATURA CITADA

- Cisneros-Almazan, R. (2003). *Apuntes de riego y drenaje*. Universidad nacional autónoma de San Luis Potosí. <https://es.slideshare.net/slideshow/curso-y-apuntes-de-riego-y-drenajepdf/251547042>
- Falcón-Cáceres, S. (2020). *Determinación de la demanda hídrica y parámetros biométricos para aplicación del riego del maíz amarillo DK7088 (Zea Mays L.) en La Molina*. Universidad nacional agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/browse?type=subject&value=Par%C3%A1metros+biom%C3%A9tricos>
- Figuerroa-Ramírez, J., Díaz-Salas, A., Jacobo-Salinas, S., Vizcarra-Arbizu, W., Alvarez-Benaute, L. & Espinoza, D. (2023). Lisímetros artesanales para estimar el coeficiente del cultivo de maíz morado (Zea Mays L.). *Revista de investigación en ciencias agronómicas y veterinarias*, 8 (22), 95-109. <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/334/820>
- González-Murillo, C., Flores-Roncancio, V., Quinteros-Castellanos, M & Quintero, Q. (2020). Lisímetros volumétricos. En: Flores, R., V.J. (Ed.). *Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 135-166. https://www.researchgate.net/publication/341273194_Lisimetros_volumetricos
- Howell, T.A., Schneider, A.D. & Jensen, M.E. (1991). *History of lysimeter desing and use for evapotranspiration measurements* (Historia del diseño del uso de lisímetros para mediciones de evapotranspiración). American Society of Civil Engineers. https://www.researchgate.net/publication/279560720_History_of_Lysimeter_Design_and_Use_for_Evapotranspiration_Measurements#:~:text=Lysimeters%20have%20been%20used%20for,to%20suite%20individual%20research%20requirements.
- Huamán-Febres, F. (2005). *Estimación del requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano, Honduras*. Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/items/d791e786-50ac-4881-b388-ca344586aec6>
- Ibañez-Uchuari, C. (2016). *Determinación del coeficiente del cultivo Kc de maíz (Zea Mays L.) bajo invernadero en la granja Santa Inés*. Universidad técnica de Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7644>
- Khan, L., Gil, J. & Acosta, R. (1998). Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. *Biagro* 10(1): 11-17. [http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/REV10\(1\)/2.%20Dise%C3%B1o%20y%20funcionamiento.pdf](http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/REV10(1)/2.%20Dise%C3%B1o%20y%20funcionamiento.pdf)
- Lanthaler, C. (2004). *Lysimeter stations and soil Hydrology Measuring Sites in Europe. Purpose, Equipment, Research, Results, Future developments* (Estaciones de lisimetría y sitios de medición de hidrología del suelo en Europa. Proposito, equipos, resultados, desarrollos futuros). Karl-Franzens-University Graz. https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Tagungen/Lysimetertagung/Lysimetertagung_2005/21_2005_lanthaler.pdf
- Madueño, A. (2000). *Influencia del suelo y el riego en la percolación de lisímetros monolíticos de suelo inalterado*. Universidad de Córdoba. <https://core.ac.uk/download/pdf/60852998.pdf>
- Mendoza, A. (2018). Utilización de abonos verdes Canavalia, como alternativa de manejo ecológico del suelo para el establecimiento de un banco de semilla de maíz criollo (Zea

- Mays L.) en la comunidad del Caño Central municipio de el Cuá, Jinotega. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3680>
- Ministerio agropecuario. (2023). Ciclo agrícola 2022 reportó 8.4 millones de quintales en la producción de maíz. Brochures técnicos. <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=68:produccion-de-maiz-nicaraguense&catid=11>
- Olmedo, G., Vallone, R. & Tozzi, F. (s.f). *Diseño y construcción de un lisímetro de pesada para la medición de evapotranspiración real en Vid en Mendoza, Argentina*. INTA EEA Mendoza, San Martín. <https://www.ina.gob.ar/cra/riego/fertirriego/pdf/Olmedo.pdf>
- Reinoso, L. (2014). *Rendimiento de maíz en el Valle inferior del Río negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada*. Universidad nacional del sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2410>
- Roncalla-Chacón, T. (2018). *Determinación de coeficientes del cultivo (Kc) para el cultivo de chí (Salvia hispánica L.) por el método de lisímetros de drenaje libre en la irrigación majes*. Universidad católica de Santa María. <https://core.ac.uk/download/pdf/198132554.pdf>
- Rosas, J. M. (2020). *Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) de la papa Canchan (Solanum tuberosum L.) INIA-303 utilizando lisímetro de drenaje en el anexo Incapu del distrito de Shilla – Carhuaz, 2020* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”. [Informe Final Tesis Final | PDF | Evapotranspiración | Agua](#)
- Ruiz, J. E. y Ruiz, J. E. (2023). *Evapotranspiración de cultivos y lisimetría*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf
- Salazar-Badillo, F. (2020). *Diseño, instalación y calibración de bloque de siete lisímetros de drenaje para ajuste de coeficientes de cultivo (Kc)*. Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14319>
- Santana-Pérez, L. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith*. Agro Cabildo. <https://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Tarazona-Meza, N., Chavarría-Párraga, J. & Moreila-Santos, J. (2021). Necesidades hídricas del cultivo de maíz blanco utilizando el lisímetro de drenaje. *Revista de ciencias agropecuaria “ALLPA”*: 4 (8). ISSN: 2600-5883. <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/348/560>
- Torretta-Bassi, J. (2017). *Cálculo de los requerimientos hídricos del maíz y ajuste del Kc mediante el uso de lisímetros de drenaje en el Valle Inferior del río Negro*. Universidad nacional Río negro, Argentina. <https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/496?mode=simple>
- Ureña-Ordoñez, G. (2017). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (Zea Mays) mediante el lisímetro volumétrico, en el sector el Porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos*. Universidad nacional de Loja. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UNL_4385bccc5769b1a01a82726fdeaa6c87
- Vivar-Aviles, G. (2022). *Diseño de las necesidades hídricas de maíz y frijol de palo, mediante el uso de un bloque de lisímetros de drenaje e instrumentos de medición de la humedad del suelo*. Escuela superior politécnica del litoral.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55849/1/T-112348%20Vivar%20Avil%C3%A9s.pdf>

IV. ANEXOS

Anexo 1. Datos prueba de infiltración.

Datos de campo de la prueba						
Tiempo (H)	Intervalo/ lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (min)	Dif/lectura (cm)	Inf Acumulada (cm)	Inf calculada (cm.hr ⁻¹)
09:14	—	—	12.7	—	—	—
09:15	1	1	12.5	0.2	0.2	12
09:16	1	2	12.1	0.4	0.6	24
09:17	1	3	11.8	0.3	0.9	18
09:18	1	4	11.6	0.2	1.1	12
09:19	1	5	11.4	0.2	1.3	12
09:24	5	10	10.8	0.6	1.9	7.2
09:29	5	15	10.3	0.5	2.4	6
09:34	5	20	9.7	0.6	3	7.2
09:39	5	25	9.3	0.4	3.4	4.8
09:44	5	30	9	0.3	3.7	3.6
09:54	10	40	8.3	0.7	4.4	4.2
10:04	10	50	7.8	0.5	4.9	3
10:14	10	60	7.2	0.6	5.5	3.6
10:24	10	70	6.7	0.5	6	3
10:34	10	80	6.3	0.4	6.4	2.4
10:49	15	95	5.6	0.7	7.1	2.8
11:04	15	110	4.9	0.7	7.8	2.8
11:05	—	—	12.7	—	—	—
11:20	15	125	11.8	0.9	8.7	3.6
11:35	15	140	10.9	0.9	9.6	3.6
11:50	15	155	10.1	0.8	10.4	3.2
12:05	15	170	9.4	0.6	11.1	2.8
12:20	15	185	8.6	0.6	11.9	3.2
12:35	15	200	8	0.9	12.5	2.4
12:50	15	215	7.4	0.8	13.1	2.4
01:10	20	235	6.5	0.7	14	2.7
01:30	20	255	5.7	0.8	14.8	2.4
01:50	20	275	5	0.7	15.5	2.1
02:10	20	295	4.2	0.8	16.3	2.4
02:11	—	—	12.7	—	—	—
02:41	30	325	11.1	1.6	17.9	3.2

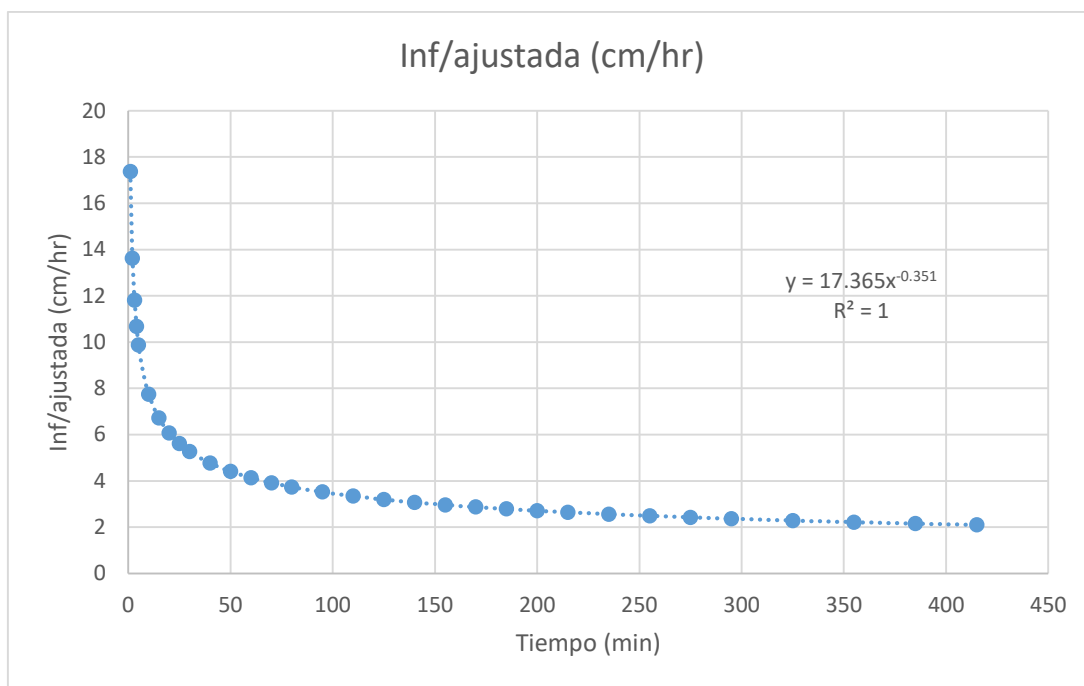
03:11	30	355	9.5	1.6	19.5	3.2
03:41	30	385	8.1	1.4	20.9	2.8
04:11	30	415	6.7	1.4	22.3	2.8

Anexo 2. Infiltración ajustada.

Tiempo (min)	Inf/ajustada (cm/hr)
1	17.366
2	13.6194
3	11.8147
4	10.6811
5	9.8747
10	7.7464
15	6.7199
20	6.0752
25	5.618
30	5.2701
40	4.7645
50	4.406
60	4.1331
70	3.916
80	3.7366
95	3.5181
110	3.3419
125	3.1954
140	3.0709
155	2.9633
170	2.8688
185	2.785
200	2.7099
215	2.6421
235	2.5609
255	2.4887
275	2.4236
295	2.3647
325	2.2857
355	2.2161
385	2.154
415	2.098

Fuente: Propia.

Anexo 3. Curva de velocidad de infiltración. (colocar la gráfica con las dos curvas)



Anexo 4. Calibración de los lisímetros.

Calibración				
Muestras	Volumen apli. a CC (L)	Drenaje a CC (L)	Cd (1.25%)	Drenaje de Cd (L)
Muestra #1	7,228	367	1,807	1442
Muestra #2	7,228	0	1,807	1307
Muestra #3	7,228	430	1,807	1115
Muestra #4	7,228	590	1,807	1307
Muestra #5	7,228	0	1,807	1252
Muestra #6	7,228	0	1,807	1288
Muestra #7	7,228	0	1,807	1230
Muestra #8	7,228	774	1,807	1259
Muestra #9	7,228	590	1,807	1370
Muestra #10	7,228	554	1,807	1393
Total		3,305		12,963
% de Drenaje		60		100

Fuente: Propia

Anexo 5. Determinación de la ETo con Cropwat y datos climatológicos de la estación meteorológica Augusto Cesar Sandino, 2014-2023.

Meses	Temp Min (°C)	Temp Máx (°C)	Humedad (%)	V. viento (m.s ⁻¹)	Horas Sol	Rad (MJ.m ² .día ⁻¹)	ETo (mm.día ⁻¹)
Enero	19	34.2	67	4.3	9.2	20.3	5.96
Febrero	19.8	35.2	65	4.6	6.9	18.4	6.25
Marzo	20.4	36.4	61	4.9	5	16.8	6.81
Abril	21.7	37.6	62	4.2	6.9	20.1	7.04
Mayo	23.1	37.2	71	3.4	7.5	20.9	6.15
Junio	22.7	35.4	76	3	6.4	18.8	5.16
Julio	22.4	35.1	76	3.4	6.7	19.3	5.3
Agosto	22.4	35.6	78	3	7.3	20.5	5.3
Septiembre	22.5	35.2	72	2.2	7.2	20.2	5.17
Octubre	22.2	36.4	73	1.9	7	18.8	4.86
Noviembre	20.8	34	69	2.3	7.8	18.6	4.78
Diciembre	19.8	35.5	65	3.3	8.4	18.6	5.59

Anexo 6. Valores de Kc por etapas obtenida por los lisímetros

Promedio de muestras Kc				
Muestras	Etapas Inicial	Etapas Desarrollo	Etapas Floración	Etapas Final
Muestra #1	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #2	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #3	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #4	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #6	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #7	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #9	0.50	0.58	2.10	0.6
Muestra #10	0.50	0.58	2.10	0.6
Prom. Total	0.50	0.58	2.10	0.6

Fuente: Propia

Anexo 7. Valores de ETc por etapas obtenidas por los lisímetros

Promedio de muestras ETc				
Muestras	Etapa Inicial	Etapa Desarrollo	Etapa Floración	Etapa Final
Muestra #1	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #2	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #3	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #4	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #6	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #7	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #9	3.10	3.93	14.60	4.3
Muestra #10	3.10	3.93	14.60	4.3
Prom. Total	3.10	3.93	14.60	4.3

Fuente: Propia



Anexo 8. Prueba de infiltración.



Anexo 9. Análisis y muestreo de suelos.



Anexo 10. Construcción del bloque lisimétrico



Anexo 11. Calibración de los lisímetros.



Anexo 12. Etapa vegetativa del cultivo



Anexo 13. Formación de fruto.



Anexo 14. Drenaje de los lisímetros



Anexo 15. Lectura de volúmenes drenados

