



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL PASTO
GUINEA TANZANIA (*Panicum maximun cv. Tanzania*) A PARTIR DE LA
CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO UTILIZANDO LISIMETRÍA
DE DRENAJE EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA**

**PREVIO AL TÍTULO DE:
INGENIERO HIDRÁULICO**

**AUTOR:
JEAN CARLOS VÉLEZ ESPARZA**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:
ING. JESÚS CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.Sc**

SEPTIEMBRE 2020

CHONE – MANABÍ – ECUADOR

Ing. Jesús Chavarría Párraga, M.Sc

TUTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de director del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Jesús Chavarría Párraga, M.Sc

TUTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Ing. Jesús Chavarría Párraga, M.Sc

PRIMER LECTOR

Ing. Michael Caicedo Toro, Mg.

SEGUNDO LECTOR

Ing. Fabián Espinales Cedeño, Mg.

TERCER LECTOR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad de la autora, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Chone, junio 2020

f. _____

Jean Carlos Vélez Esparza

Dirección: Parroquia Santa Ritha- Calle 10 de agosto y tacheve

Email: he-386@pucem.edu.ec

Celular: 0982973923

Fecha:

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Jean Carlos Vélez Esparza

CI: 131377237-6

DEDICATORIA

A mis queridos padres Alexis Boganow Hernández Loor y Mercy Cecilia Esparza Espinel por forjarme cada día y brindarme la oportunidad de estudiar una carrera, gracias por confiar en mí para culminar esta meta, a mi abuela Monserrate Posligua por todo su apoyo incondicional y constante cariño de inicio a fin y en especial a mi amada esposa María Valentina Loor Santos por ser mi fuente de motivación e inspiración para superarme cada día y poder ser un ejemplo en nuestra familia.

A mis compañeros y amigos que me acompañaron en este camino, compartiendo sus conocimientos, alegrías, tristezas y amistad en cada momento y todas aquellas personas que durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome para lograr a que este gran sueño se haga realidad.

Jean Carlos Vélez Esparza

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Manabí por haberme aceptado y ser sede de conocimiento a lo largo de mi vida universitaria, a todos los docentes que impartieron sus saberes y me supieron apoyar para que este sueño se haga realidad, al Ing. JESÚS CHAVARRÍA PÁRRAGA por su paciencia, confianza y apoyo como tutor en mi trabajo de titulación.

Jean Carlos Vélez Esparza

RESUMEN

Este estudio cuantitativo de tipo experimental determinó las necesidades hídricas del cultivo pasto Guinea Tanzania tomando medidas con lisímetro, con el propósito de evaluar los parámetros ideales y mejorar el desarrollo del cultivo, dada su importancia en la agricultura y en la alimentación de ganado. Así, esta investigación se desarrolló desde diciembre de 2019 a febrero de 2020 en el campus Chone de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) Sede Manabí, e incluyó la aplicación de métodos indirectos como lisímetros y tensiómetro. Posteriormente, se elaboraron ecuaciones que determinaron los valores de evapotranspiración referencial (ET_o), coeficiente de cultivo (K_c), lámina neta (L_n), balance hídrico (B_h), intervalo de riego ajustado (I_r), frecuencia de riego (F_r) y tiempo de riego (T_r), para realizar el programa de riego respectivo. Los resultados revelan que en la época lluviosa, los valores de ET_o (0.86; 0.91; 0.75) son superiores a los obtenidos en la época seca (1.08; 1.15; 0.99), y que los valores de K_c establecen tres fases de riego. Además, los resultados del T_r son menores en diciembre, determinando que las necesidades hídricas del pasto sean mayores (107.16 mm) en la época seca y menores (90.97 mm) en la época lluviosa. Se concluye que el programa de riego guarda relación con la época seca, porque posee un déficit hídrico superior por las condiciones ambientales del cultivo. Para futuras investigaciones, se recomienda probar en otras variedades de suelos de la región.

Palabras clave: evapotranspiración, déficit hídrico, coeficiente de cultivo, pasto de pastoreo

ABSTRACT

This experimental quantitative research study determined the crop water requirements of Tanzania Guinea Grass by taking measurements using lysimeters, with the aim of evaluating the ideal parameters and improving the development of this crop, regarding its importance in agriculture and in livestock feeding. Accordingly, this research study was carried out from December 2019 through February 2020 at Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) Sede Manabí, Chone Campus, and it included the application of indirect methods such as lysimeters and tensiometer. Then, some equations were calculated to determine values such as reference crop evapotranspiration (E_{To}), crop coefficient (K_c), net sheet per irrigation (N_s), water balance (W_b), adjusted irrigation interval (I_i), irrigation frequency (I_f), and irrigation scheduling (I_s), to perform the respective irrigation program. The findings show that during the rainy season, E_{To} values (0.86; 0.91; 0.75) are higher than those obtained during the dry season (1.08; 1.15; 0.99), and that K_c values determine three phases of irrigation. Also, the I_s findings are lower in December, which means that the crop water requirements of this type of grass are higher (107.16 mm) in the dry season and lower (90.97 mm) in the rainy season. It is concluded that the irrigation program is related to the dry season because it has higher levels of water deficit due to the crop environmental conditions. It is recommended using different soil types in this region, to carry out future research studies.

Keywords: evapotranspiration, water deficit, crop coefficient, grazing pastures

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD	iii
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
Equipos y materiales	4
Métodos	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
ANEXOS.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos climatológicos, promedios de 2000 al 2012.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 2: Medidas de la parcela.	4
Tabla 3: Relación del tensiómetro – condiciones de humedad del suelo	6
Tabla 4: Promedio de datos climáticos de Diciembre 2019 – Febrero 2020.....	15
Tabla 5. Prueba de t del Kc Pasto Guinea Tanzania en diferentes épocas de siembra.....	19
Tabla 6. Prueba de t del NHc del Pasto Guinea Tanzania en épocas de siembra.	19
Tabla 7: Necesidades hídricas en época seca.	20
Tabla 8: Necesidades hídricas en época lluviosa.....	20
Tabla 9: Características Pasto Guinea Tanzania (Época lluviosa).....	21
Tabla 10: Características Pasto Guinea Tanzania (Época seca).	21
Tabla 11: Programación de riego para el Pasto Guinea Tanzania	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización PUCEM Chone.	3
Figura 2: Evapotranspiración de referencia Diciembre 2019 – Febrero 2020.....	16
Figura 3: Coeficiente de cultivo Pasto Guinea Tanzania en época seca.	17
Figura 4: Coeficiente de cultivo Pasto Guinea Tanzania en época lluviosa.....	18

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se encuentra situado al suroeste de América, conformado por tres regiones, Costa, Sierra y Amazonía, cada una de ellas con diferentes variaciones climáticas dependientes por factores como la altitud, ubicación geográfica, influencia marítima o época del año, siendo esta la más determinante para los sistemas productivos. La Costa del Pacífico posee una estación lluviosa que va desde diciembre a mayo y una estación seca de junio a noviembre, mientras que en los Andes la época lluviosa va desde noviembre a abril y su época seca de mayo a octubre. Estas condiciones influyen en la topografía de cada zona afectando principalmente las condiciones de riego y provocando deficiencia hídrica que va desde los 1200 a los 400 mm anuales (Manabí G, D, 2004).

El estrés o déficit hídrico es considerado como la falta de agua en relación a un tiempo determinado, se encuentra relacionado con la evapotranspiración (ET_o) considerada como la combinación de la evaporación de la humedad del suelo y la transpiración que producen las plantas en su entorno, se puede medir de forma directa o mediante estudios de balance hídrico en cultivos mediante lisímetros. Se utiliza el coeficiente de cultivo K_c que representa el valor de la evaporación y la transpiración, este coeficiente integra las características del cultivo que se desee estudiar con la evaporación del suelo (Allen, *et.al*, 2006), la variación de este coeficiente expresa la cantidad de cobertura existente en el suelo y el cambio que se puede producir en la vegetación, esta variación se representa mediante la curva de coeficiente de cultivo, por lo tanto una correcta planificación de riego y manejo de cultivos durante su etapa de crecimiento es vital para una producción abundante.

En la actualidad se conoce que la industria agrícola representa un importante recurso económico la cual brinda la alimentación y cultivos de alta calidad para la industria ganadera. Se estima que aproximadamente hay 5'783.420 cabezas de ganado en el Ecuador de especies variadas, de las cuales el 38% se encuentran en la región costa, teniendo un aproximado de 2'215.067 animales; se estima que Manabí es la provincia con mayor participación pecuaria con un 18% de la población animal, con un 1'025.115 cabezas (INEC, 2016). El ganado se alimenta en el consumo del forraje el cual está delimitado por las condiciones climáticas, los períodos de lluvias representan uno de estos factores que afectan en la disponibilidad de nutrientes y su potencial productivo. En la actualidad una de las especies más cultivadas es el

pasto guinea Tanzania (*Panicum máximum cv. Tanzania*), una planta perenne de la familia de las gramíneas que posee una alta producción por sus características de adaptabilidad a diferentes condiciones, puede prosperar en suelos muy fértiles, medianamente fértiles y en extrema sequía, crece en alturas que van desde los 1000 msnm hasta 2000 msnm en zonas con 800 mm de lluvia (Rodríguez, 2016).

En los últimos años estudios basados en determinar características agronómicas, componentes nutricionales, crecimiento, déficit hídrico permite generar acciones para alcanzar un potencial de producción máximo y de alta rentabilidad. Se establece que el déficit de calidad de agua se debe a la contaminación por los plaguicidas y fertilizantes aplicados en los cultivos, se estima que el sector agrícola consume un tercio de las reservas de agua dulce en el mundo, (Alvarez y Perez, 2011). La aplicación de prácticas agrícolas correctas con la implementación de normativas legales brinda mejoras en la eficiencia hídrica para la agricultura, obteniendo un mejor manejo de recursos y mayor disponibilidad de agua para otros usos, (Alvarez y Perez, 2011).

Es este contexto todos estos elementos interactúan conjuntamente otorgando efectos en el desarrollo de especies y el crecimiento de variedades de pastos en los distintos meses y épocas del año, provocando inestabilidad estacional, además la mayoría de los suelos donde se cultiva pasto presentan mal drenaje e ineficiente fertilidad que en conjunto con el clima otorgan baja calidad y productividad (Verdecia, *et.al*, 2008).

Con estos antecedentes la presente investigación pretende estimar las necesidades hídricas del pasto guinea Tanzania a partir de la curva de coeficiente de los cultivos (K_c) utilizando el lisímetro de drenaje en época seca y lluviosa, con los siguientes objetivos específicos: Objetivo uno con el fin de determinar la evapotranspiración (E_{To}) con métodos indirectos para la zona de estudio, mientras para el objetivo 2 se establece obtener los valores del coeficiente del cultivo (K_c) en todas las etapas fenológicas (fase de desarrollo) en el pasto Guinea Tanzania con los valores obtenidos del lisímetro de drenaje y para el objetivo 3 corresponde constituir un programa de riego para los cultivos de pasto guinea Tanzania con el lisímetro de drenaje y las condiciones climáticas de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Pontifica Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí, campus Chone, geográficamente está localizada en las siguientes coordenadas latitud de - 00.3951 y longitud de - 80.0211 y cuya altitud es de 36 msnm.

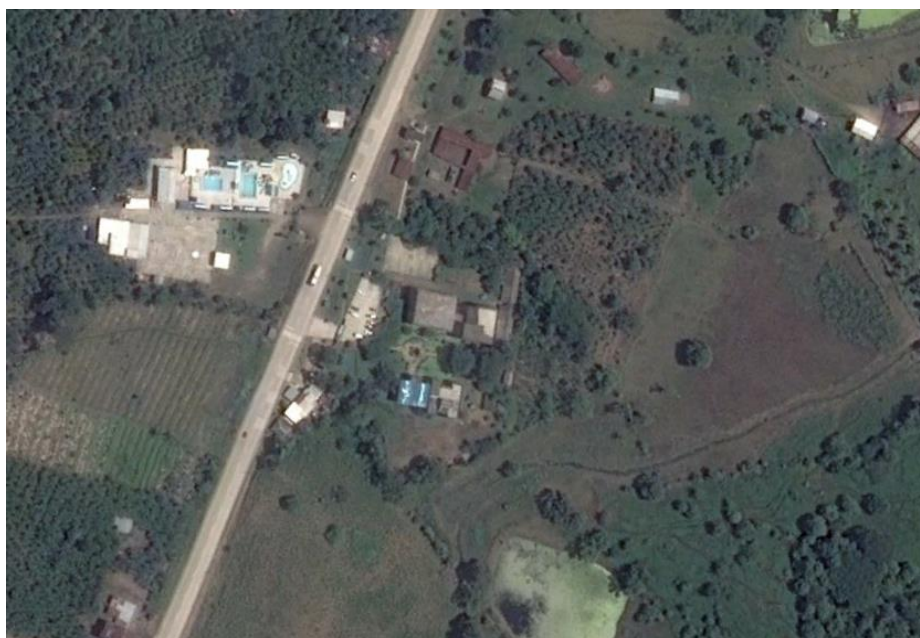


Figura 1: Localización PUCEM Chone.

Fuente: Google Earth 2017.

Las características climáticas del lugar de estudio demuestran que anualmente se aprecia una evaporación promedio de 3.530 mm/día, mientras que la humedad relativa suele ser de 90.2 %, con una precipitación promedio de 89 mm/mes y cuya velocidad del viento aproximada es de 2.23 m/s según lo observado en la tabla 1.

Tabla 1: Datos climatológicos, promedios de 2000 al 2012.

Mes	Evaporación (mm/día)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/mes)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	3.310	91	191.17	2.19
Febrero	3.293	92	304.43	2.3
Marzo	3.706	91	244.93	2.4
Abril	3.877	91	148.4	2.12
Mayo	3.135	91	44.15	2.09
Junio	2.817	91	12.08	1.87
Julio	3.171	91	13.12	1.93
Agosto	3.770	89	8.3	2.22

Septiembre	3.906	89	7.77	2.17
Octubre	3.958	89	7.71	2.24
Noviembre	4.041	88	11.15	2.74
Diciembre	3.375	89	69.27	2.44

Fuente: INAHMI, 2017.

Equipos y materiales

Los materiales utilizados fueron el lisímetro de drenajes cuya forma es cuadra y posee unas dimensiones de 1 m de largo con 1 m de ancho y 1 m de altura, para ejecutar la aplicación del lisímetro se requirió del sistema de drenaje para que puedan funcionar de manera correcta en el suelo, la misma que necesita de tratamientos adicionales como los fertilizantes, insecticidas y fungicidas, además de las probetas en las que se va recolectar el agua para los cultivos; para obtener las dimensiones del lisímetro utilizó de manera manual la pala, azadón y flexómetros para conseguir las dimensiones requeridas. Para estimar la humedad del suelo también se aplicó el método del tensiómetro de 45 cm de profundidad el cual realizó medidas diariamente y está ubicada en los cultivos donde está instalado el lisímetro. También se utilizó recipientes de 20 litros en los cuales se recolectó el agua, es importante mencionar que se requiere evidencias del proceso por ello se utiliza la cámara fotográfica. Toda la información cuantitativa de los meses en los que se realizó el análisis debe ser procesada en el software CROPWAT y documentado en hojas de cálculo para tener el análisis comparativo requerida. En base a los equipos y materiales antes mencionados se estimó el crecimiento en época seca y lluviosa del material biológico de cepa de pasto guinea Tanzania. Es importante mencionar que el lisímetro ya se encuentra instalado en el lugar de la investigación en los predios de la finca PUCEM campus Chone.

El presente trabajo experimental fue realizado en el mes de diciembre del 2019 en la cual se considera como época seca y en los meses de enero y febrero del 2020 en las cuales se considera época lluviosa, se determina el área de la parcela de 9 m^2 y cuyas dimensiones son de 3 m de ancho con 3 m de largo, se estima que el número de plantas de la parcela es de 9 unidades como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 1: Medidas de la parcela.

Ancho de la parcela	3 m
Largo de la parcela	3 m

Área de la parcela	9 m ²
Número de plantas de la parcela	9 u

Métodos

Para realizar el siguiente estudio investigativo primero se deber realizar la preparación adecuada del suelo que se llevará acabo extrayendo una capa de suelo de 20 cm con la finalidad de obtener las capas de suelos internas sin mayor intervención de materia orgánica que por lo general se encuentra en la superficie del suelo. En base a ello se establece que la siembra se la realizará con el cultivo de Pasto Guinea Tanzania con separaciones de 1 m entre hileras y 1 m entre planta, posteriormente se realizará la fertilización tomando en consideración las necesidades nutricionales de los cultivos para las diferentes etapas de su crecimiento, adicional el control de malezas será de manera manual y el control de plagas mediante el uso de productos preventivos- curativos para evitar síntomas o presencia de enfermedades. Las reposiciones de agua por riego en el lisímetro de drenaje se llevan a cabo diariamente en función a la lectura tomada por la estación meteorológica la cual con los datos obtenidos se realiza un cálculo para poder reponer el agua que se pierde por día, las precipitaciones fueron restadas de la ecuación que se utilizó para determinar las necesidades hídricas del cultivo por medio de lisimetría. Posteriormente se realizó la cosecha en dos etapas la cual consiste en época seca y lluviosa que se llevaron a cabo en un intervalo de tiempo de 43 días en época seca y 43 días en época lluviosa, después de haberse realizado el corte de igualación del pasto guinea Tanzania.

El método para calcular la humedad del suelo es mediante el tensiómetro el cual se instala según el método de riego requerido como puede ser por surcos en la cual se instala en el interior del lomo del surco y los cultivos son sembrados en líneas a los largo de los mismo, también puede ser para riego por aspersión en la cual los cultivos son sembrados en hileras y la última para riego localizado en frutales en la cual es tensiómetro es colocado en la parte soleada del árbol y a unos 30 o 45 cm de los emisores de goteo.

Para su correcta instalación se procede a realizar el preparado antes de instalarse en el campo, el agua que se utilizó es destilada o agua hervida, la cual sirve para evitar la propagación de algas y bacterias se añadió un acondicionador que puede ser de color verde o azul, la solución consta de 1 cm³ para el tensiómetro.

Se mantuvo el tensiómetro sumergido en agua limpia por dos o tres días antes de la instalación. Se volvió con la sustancia, posteriormente se aplicó succión para sacar el aire en copa de cerámica, se pueden presentar grandes burbujas de aire lo que indica que la copa de

cerámica o su conexión al tubo no tiene suficiente ajuste. Si las burbujas aparecen sobre el indicador vacío, entonces la conexión entre el indicador y el tubo no está herméticamente sellada. Cualquier condición de filtración del tensiómetro debe ser corregida. La lectura debe disminuir rápido hasta alcanzar cero lo cual prueba que la conductividad fue desarrollada satisfactoriamente.

El tensiómetro se inserta y se ajusta de arriba hacia abajo, se establece que debe estar separada de 2.5 cm entre el indicador y el suelo, a nivel de la tierra se coloca suelo alrededor del tubo plástico y se aprieta con el fin de evitar que ingrese agua mediante las paredes del tubo y en el hoyo. Luego de la instalación se llenó el compartimiento de reserva con la solución de campo preparada con agua destilada o hervida y el preservativo o colorante, es importante considerar que una buena extracción de aire aumenta la sensibilidad del tensiómetro y da mayor precisión a las lecturas. Luego de la instalación se requirió de un día para que el agua del tensiómetro llegue a un equilibrio con la de suelo que lo rodea. Se debe realizar la lectura por las mañanas debido a que la infiltración es casi nula en las mañanas, así también se tomó la lectura todos los días a la misma hora.

Los resultados que se pueden obtener de las lecturas del tensiómetro indican la cercanía de saturación en un intervalo de 2 – 10 cbar lo que indica que el suelo está cerca a saturarse, también se tiene la capacidad de campo en un intervalo de 11-20 cbar en la cual el riego debe discontinuarse para evitar pérdidas por percolación y lavado de nutrientes; se menciona el intervalo de riego de 30-60 cbar que indica el intervalo para comenzar a regar; se considera el seco cuyo intervalo es de 60-70 cbar el cual considera intervalo de estrés, es decir el cultivo posiblemente presente un rendimiento reducido y por último se tiene la tensión rompe con un valor de 8 cbar. Se establece que las lecturas de 80 son posibles, tensión rompe la columna de agua entre 80 y 85 cbar, según se observa en la tabla 3.

Tabla 2: Relación del tensiómetro – condiciones de humedad del suelo

Lectura de tensiómetro en centibares (cbar)	Condición de humedad del suelo
0 a 10	Saturado por riego reciente
10 a 25	Capacidad de campo
25 a 50	Humedad intermedia, buena disponibilidad de agua
50 a 80	Debería regarse

Fuente: (Briceño, Álvarez, & Barahona, 2012)

Se establece que de debe detener el riego cuando los valores bajan 0-15, además en suelos con pobre drenaje los valores suelen ser 30, los valores de 0-20 también establecen suelos pobres de riego o suelo saturado. Se deben reducir los riesgos hasta que se corrijan este estado (Chavarría, Guía de instalación y calibración de un tensiómetro, 2011).

Se aplicó la ecuación en la cual requiere determinar la evapotranspiración de referencia (ET_o) con métodos indirectos para la zona de estudio.

Para determinar la evaporación de referencia se la realiza mediante dos métodos indirectos en la cual se tiene el método de la cubeta evaporimétrica en la cual se realiza por la multiplicación de dos variables que son la evaporación de la cubeta medida en mm/día por el coeficiente de la cubeta, este coeficiente depende del tipo de cubeta, el clima y el medio que rodea la cubeta, por tanto, la fórmula que se aplicó es:

$$ET_o = E_p * K_p$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

E_p = Evaporación de la cubeta (mm/día).

K_p = Coeficiente de la cubeta, que depende del tipo de cubeta, clima y del medio que rodea la cubeta.

El otro método indirecto para calcular la evaporación de referencia es mediante el método de Penman Monteith modificado por la FAO, el cual consiste en la aplicación de la ecuación que consta de algunas variables como la radiación neta de la superficie del cultivo medida en MJ/m²/día, la densidad del flujo de calor del suelo medida en MJ/m²/día, la temperatura del aire en °C a 2 m de altura , la velocidad del viento medida en m/s a 2 m de altura y por último la representación de la presión de vapor actual medida en KPa, además de otras variables como la la representación de la presión de vapor del aire saturado con agua, la bajada de la curva de la presión de vapor y la constante psicométrica en base a lo anteriormente expuesto se establece que la fórmula que se utilizó es:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} U^2(es - ea)}{\Delta + y(1 + 0.34U^2)}$$

Donde:

ET₀= Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

R_n= Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día).

G=Densidad del flujo del calor del suelo (MJ/m²/día).

T= Temperatura del aire a 2 m de la altura °C.

U₂= Velocidad del viento a 2 m de la altura (m/s).

e_a= Representa la presión de vapor actual (KPa).

e₂= Erosión de vapor de saturación (KPa).

Δ= Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa, °C⁻¹).

Es importante mencionar que los datos requeridos para la aplicación de las fórmulas son de manera indirecta y en algunos casos son tomados de manera bibliográfica acercándose a medio en el que se está realizando el estudio y obtener los valores lo más cercano posible a la realidad.

Para utilizar adecuadamente el lisímetro se debe realizar el mantenimiento y operación, se menciona que deben estar aislados de todo contacto con el suelo exterior con el fin de que el suelo que este dentro de los lisímetros no tenga ningún contacto con el mismo, ocasionando infiltraciones a través de los intersticios del suelo. Como se menciona anteriormente el proceso de instalación empieza por la excavación para empotrarla, dicha excavación tiene que ser mayor a las dimensiones del equipo antes mencionado, todo esto para poder desplegar el sistema de drenaje y el recipiente que recolectara el agua drenada a través del lisímetro de drenaje. Para lograr aislar las paredes de los lisímetros de drenaje del suelo exterior ubicaremos columnas de concreto, además se rellenarán con gravilla la zona donde se recolectará el agua drenada, todo esto para poder facilitar la toma de datos y obtener óptimos resultados.

Después de haber instalado los lisímetros de drenaje se deberá esperar dos días antes de proceder a sembrar los cultivos que serán evaluados en la investigación, para que el suelo que se encuentra dentro de los lisímetros de drenaje tenga las mismas condiciones de compactación del suelo exterior, también está involucrado el despliegue de los tensiómetros para tomar las lecturas de la humedad del suelo, en el caso de la presente investigación los tensiómetros que

utilizaremos serán 2 a 45 cm de profundidad debido a que la profundidad de raíces del cultivo no son mayores a la profundidad del tensiómetro.

La toma de datos se realizó en periodos de 24 horas en el cultivo que fueron sembrados en el lisímetro de drenaje respectivamente, teniendo en cuenta el comportamiento de la planta en el período de la investigación y así poder evaluar la altura del pasto en la época seca y lluviosa agregando también las observaciones de su peso en relación tallo a hoja para poder comparar la producción del pasto guinea Tanzania en las dos épocas logrando determinar el área foliar del follaje de esta gramíneas ya antes mencionada.

Las variables que se registraron fueron las siguientes:

- La altura de la planta, la misma que fue determinada tanto en época lluviosa como seca en el período de 43 días, la medición se realizó desde la base del tallo hasta el final de la hoja con la cinta métrica, por tanto la unidad de medida es en metros.
- Número de tallos, el cual se determinó cuando se realizó el corte y posterior a la aplicación del volumen de agua, se contabilizaron los tallos permitiendo relacionar la capacidad de rebrote que tiene el pasto.
- Número de hojas por tallo, se contabilizaron una a una las hojas presentes para cada tallo en cada planta.
- Área foliar, se basó en la división del área de la hoja para el pasto Guinea Tanzania, consistió en la separación de la hoja del tallo de cada planta, se fotografió con la ayuda de cámara de alta resolución, posterior mediante a la aplicación del programa se determina el área de la hoja en m², este proceso es aplicado para cada hoja.
- Rendimiento de la materia seca y verde, se determinó en el período de cosecha, consistió en la utilización de las plantas establecidas en cada parcela, se realizó la separación de las hojas, tallo y el material muerto, posteriormente se calculó el peso en kg de la biomasa de la cosecha; el rendimiento de la materia seca se determinó en el período de 90 días, se tomó la muestra de hojas, pasto, tallos, las cuales fueron almacenadas en funda de papel para que no perdiera su humedad, posterior se pesó y se calentó a la temperatura promedio de 60° C por 72 horas con el fin de secar completamente el material y determinar la materia seca. La ecuación que se aplicó fue:

$$MS = \frac{PS * 100}{PH}$$

MS= Materia seca expresada en porcentaje

PS= Peso seco de la muestra expresado en gr.

PH= Peso húmedo de la muestra expresado en gr.

Así también se puede obtener los valores de la evapotranspiración del cultivo (Etc) mediante la aplicación del lisímetro de drenaje en la cual se la obtiene mediante la resta del valor de agua de riego por precipitación medida en mm menos el valor de la evapotranspiración del cultivo medida en mm/día por lo tanto se tiene la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Etc = R - D}$$

Donde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

R = Agua de riego o por precipitaciones (mm).

D = Agua drenada durante el periodo de análisis.

Después de realizar la instalación de los lisímetros de drenaje utilizaremos la siguiente ecuación dada por Garay (2009) que nos servirá para estimar el volumen de agua necesario en los respectivos lisímetros. Cabe recalcar que los lisímetros ya se encuentran instalados en el lugar de la investigación en los predios de la finca PUCEM campus Chone.

$$\mathbf{Va = (Eto * ND * AL)c}$$

Donde:

Va= Volumen de agua a aplicar en mm

ETo= Evapotranspiración de referencia en mm/día

ND= Número de días de un riego a otro

AL=Área del lisímetro en m²

c= Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

Para el primer riego se utilizará el valor de ETo, después será reemplazado por el valor de la Etc estimada por el lisímetro de drenaje.

Para la obtención del coeficiente del cultivo (Kc) mediante la aplicación de la fórmula de Penman Monteith modificado por la FAO, se necesita saber la duración total del ciclo de los

cultivos (c) que serán evaluados. Además, se debe considerar que se realizará el ajuste de los valores de K_c para todas las etapas de crecimiento de los cultivos, a través de la fórmula (Garay, 2009), en base a ello se establece que K_c es la diferencia de la evapotranspiración real de los cultivos con la evapotranspiración de referencia. Por tanto, la ecuación es:

$$K_c = \frac{E_{tc}}{E_{to}}$$

Donde:

K_c = Coeficiente de los cultivos.

E_{tc} = Evapotranspiración real de los cultivos.

E_{to} = Evapotranspiración de referencia.

En base a lo anteriormente expuesto se obtiene la evapotranspiración de cultivo según lo establecido por FAO, evapotranspiración del cultivo, 2006, en la cual se establece que es la multiplicación de K_c con E_{to} , por lo tanto se tiene:

$$E_{Tc} = K_c * E_{To}$$

Donde:

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional).

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

También se requiere la precipitación efectiva P_e , en la cual se debe considerar la precipitación y se pueden obtener en dos rangos, por tanto, se presenta:

$$P_e = 0.8 P - 25 \quad P > 75 \text{ mm}$$

$$P_e = 0.6 P - 10 \quad P < 75 \text{ mm}$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva (mm).

P = Precipitación (mm).

Se deben considerar las variables que integran el diseño agronómico para el riego por aspersión el cual fue diseñado para el pasto Tanzania, tomando en consideración los valores de K_c y E_{tc} obtenidos del lisímetro de drenaje.

Otro aspecto que debe considerarse es el Balance Hídrico en cual se lo obtiene como la diferencia de la E_{tc} de la P_e anteriormente calculada, por tanto, se tiene:

$$\mathbf{BH = E_{Tc} - P_e}$$

Donde:

BH = Balance hídrico (mm)

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

P_e = Precipitación efectiva (mm).

El agua que se dispone para el cultivo debe ser calculado como dato referencial y consta de la ecuación en la cual se toman las variables de capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y profundidad radicular del cultivo, por tanto, se deduce:

$$\mathbf{AFD = \frac{Cc - Pm}{100} * Da * Prec}$$

Donde:

AFD = Agua fácilmente disponible para el cultivo (mm).

Cc = Capacidad de campo (%).

Pm = Punto de marchitez (%).

Da = Densidad aparente.

Prec = Profundidad radicular del cultivo (mm).

Continuando se debe calcular la lámina neta con la multiplicación del agua fácilmente disponible para el cultivo con el factor de agotamiento, por tanto, tenemos:

$$\mathbf{Ln = AFD * FAC}$$

Donde:

Ln = Lámina neta (mm).

AFD = Agua fácilmente disponible para el cultivo (mm).

FAC = Factor de agotamiento.

Con lo anteriormente expuesto se tiene que los datos para determinar la lámina total se requieren de la ecuación en la que se considera el valor de la lámina neta, la eficiencia del sistema de riego utilizado y el requerimiento de lavado, por tanto, tenemos:

$$L_t = \frac{L_n}{E_a * (1 - R_l)}$$

Donde:

L_t = Lámina Total (mm).

L_n = Lámina neta (mm).

E_a = Eficiencia del sistema de riego utilizado.

R_l = Requerimiento de lavado.

El requerimiento de lavado consiste en la aplicación de la fórmula de Ayers and Westcott, FAO 29, en la cual considera la conductividad eléctrica.

$$R_l = \frac{C_{Ea}}{5C_{Es} * C_{Ea}}$$

Donde:

R_l = Requerimiento de lavado

C_{Ea} = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

C_{Es} = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para la producción deseada (dS/m)..

La lámina neta ajustada consta de la multiplicación del intervalo de riego ajustado por la evapotranspiración diaria del cultivo, por tanto, la ecuación es:

$$L_{n_{ajustada}} = ET_{c \text{ diario}} * I_{R \text{ AJUSTADO}}$$

Donde:

L_n = lámina neta (mm/riego).

I_R = Intervalo de riego ajustado (días).

ET_{c diario} = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/días).}

El intervalo de riego en la cual se debe considerar las variables de lámina neta y evapotranspiración diaria del cultivo por lo tanto tenemos:

$$I_R = \frac{Ln}{ET_{c\ diario}}$$

Donde:

Ln = Lamina neta (mm/riego).

IR = Intervalo de riego ajustado (días).

ET_{c diario} = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/ días).

El tiempo de riego es muy importante para la época seca y se consideran variables de lámina total ajustada y aportación de emisor, por tanto, se tiene:

$$Tr = \frac{Lt_{ajustada}}{V_i}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego.

Lt_{ajustada} = Lámina total ajustada.

V_i = Velocidad de infiltración del suelo

Mientras que la velocidad de infiltración es calculada mediante la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, por tanto

$$V_i = \frac{Lt_{parcial} * 60}{Tiempo\ parcial}$$

Donde:

L_{parcial} = Lámina parcial

T_{parcial} = Tiempo Parcial

Para conocer la diferencia estadística en los resultados obtenidos, se realizó una prueba de “t” al Kc del pasto en sus diferentes etapas con respecto a sus épocas de siembra; y a las necesidades hídricas totales del pasto en las épocas de siembra. Así mismo se determinó el coeficiente de variación obtenido en la investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos climáticos registrados mostraron variaciones en los tres meses que se realizó la investigación, donde enero fue el mes en la cual la humedad relativa presenta el mayor valor respecto a los otros meses y febrero el mes donde el resto de valores son mayores para cada variable, según lo evidenciado en la tabla 4.

Tabla 3: Promedio de datos climáticos de Diciembre 2019 – Febrero 2020.

Meses	Temp máx (°c)	Temp min (°c)	H. R. (%)	Vel viento (m/seg)	Insolación (horas)	ETo penman(mm/día)	Evaporación de la cubeta (mm/día)	ETo cubeta (mm/día)
Diciembre	25.84	24.64	83.44	2.00	2.59	2.3	2.790	2.620
Enero	25.3	24.26	86.46	1.67	2	2.353	2.76	2.069
Febrero	24.25	30.47	84.89	2	3.1	2.494	4.089	3.067

La comparación entre métodos demostró cambios significativos en cuanto a los meses en los cuales se formuló la investigación, siendo diciembre el valor más bajo para Penman con 2.3 mm/día y un valor medio de 2.62 mm/día para el método cubeta, por su parte enero tubo un valor medio de 2.353 mm/día para Penman y el valor más bajo para el método de cubeta con 2.069 mm/día , mientras que febrero constituyo los valores más altos en ambos métodos con 2.494 mm/día para el método cubeta y 3.067 mm/día para Penman respectivamente, dado que su temperatura promedio supera los 25 grados centígrados y la insolación es de 3.1 horas, según se evidencia en el gráfico 2.

Los métodos de cubeta evaporimétrica y Penman Monteith modificado por la FAO, representan una herramienta fiable, es decir son precisos, fáciles de emplear y utilizados con frecuencia, sin embargo, requieren de un procedimiento extenso y medidas exactas para obtener lecturas confiables y valores que representen la realidad de cada cultivo (Ortiz & Chile, 2020).

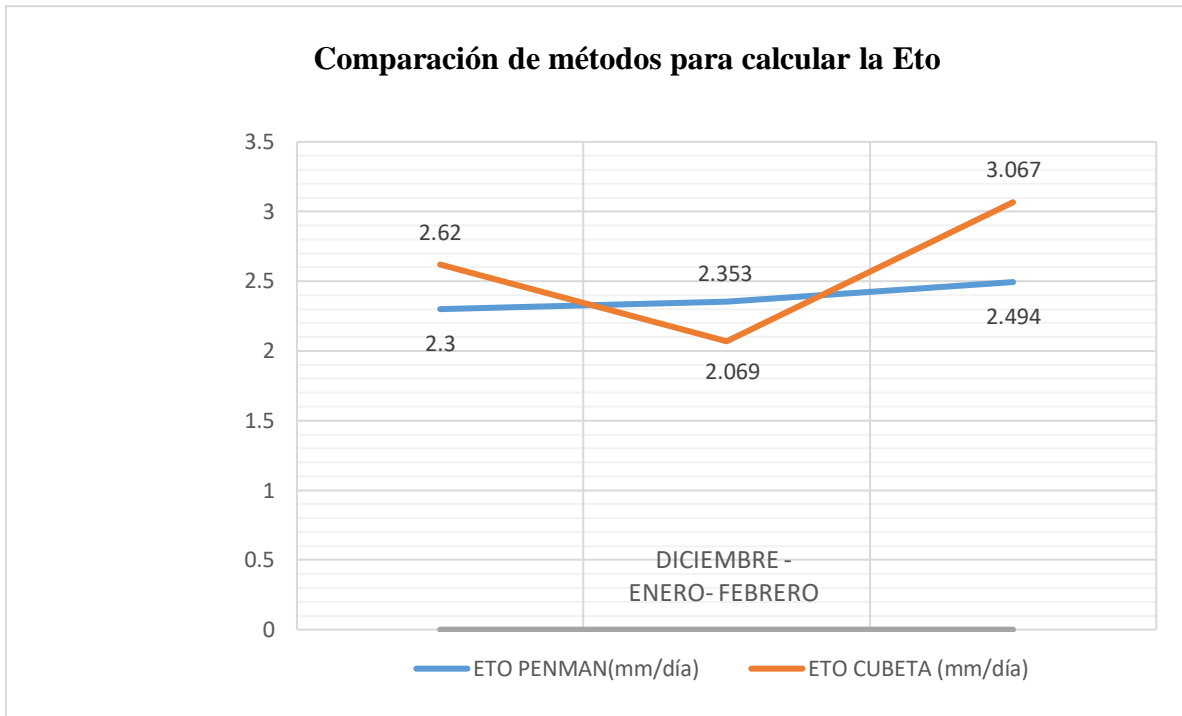


Gráfico 2: Evapotranspiración de referencia Diciembre 2019 – Febrero 2020.

Los métodos utilizados muestran los valores de evapotranspiración de referencia requeridos donde se observa que febrero mantiene valores elevados lo que guarda relación con las variables climáticas de temperatura, viento e insolación, por lo cual la cantidad de agua requerida será mayor. Sandoval, (2014) corrobora que en los lugares donde existe altas temperaturas y viento, la evapotranspiración presentara valores bajos debido a la liberación de vapor de agua lo que provoca que el cultivo disponga de menor cantidad de agua y nutrientes para su desarrollo.

Los resultados coinciden que los métodos indirectos poseen características particulares que permiten conocer el consumo de agua de una planta. Bochetti, (2010), menciona que el método de cubeta evaporimétrica integra datos meteorológicos de radiación, humedad relativa, viento y temperatura que en conjunto evalúan la evaporación registrada en un área determinada, mientras que el método de Penman pese a que también evalúa las variables climáticas antes mencionadas, se centra más en la energía solar, el viento y la humedad.

Así también los resultados coinciden con los manifestado por Collaguazo (2014), el cual menciona que los valores de evapotranspiración de cultivo en relación con la evapotranspiración de referencia son mayores en todas las etapas de desarrollo del cultivo debido a que el suelo contiene mayor cantidad de humedad lo que permite una mejor evapotranspiración Por otro lado los rangos elevados de temperatura y viento se encuentran

estrechamente relacionados a una evapotranspiración alta (Morillo, 2014), por tanto se puede apreciar que los meses con menor humedad (febrero) presentan altas temperaturas y vientos que produce mayor evapotranspiración en el cultivo.

Los resultados determinados en el gráfico 3 evidencian que los valores obtenidos con la curva de coeficiente de cultivo mostraron que en la época seca los valores aumentan conforme avanza el desarrollo vegetal, en la primera etapa de 16 días se obtuvo un valor de 1.08 (Kc inicial), la segunda etapa con 20 días tubo un Kc de 1.15 y 0.99 que corresponde a la etapa 3 con 7 días.

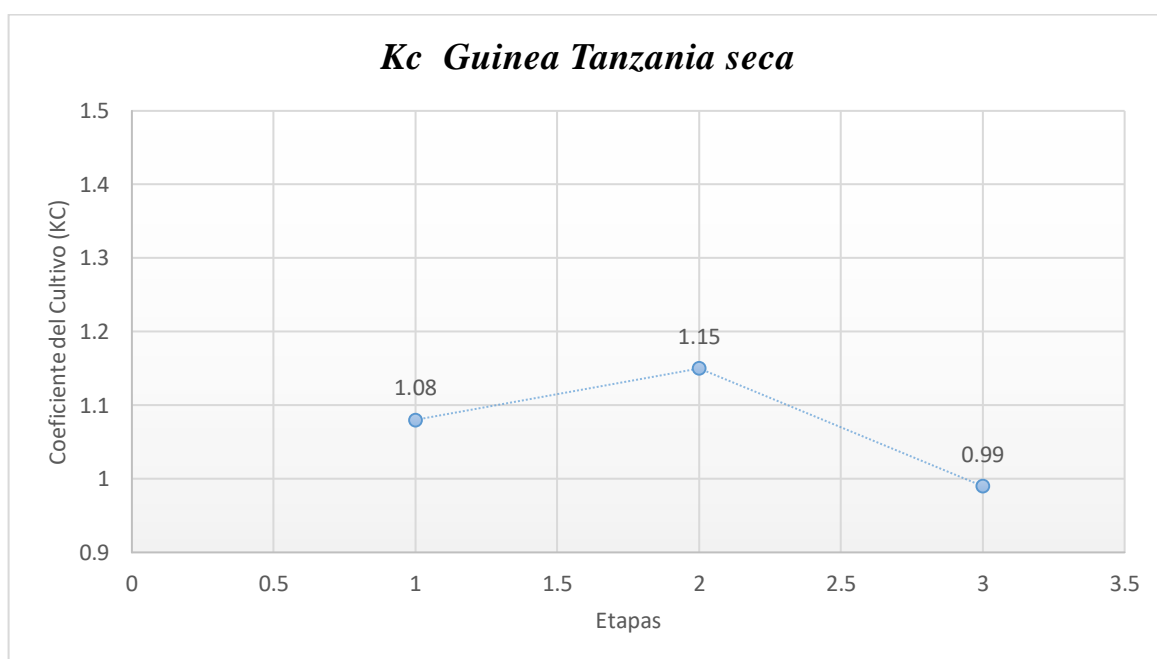


Gráfico 3: Coeficiente de cultivo Pasto Guinea Tanzania en época seca.

Además que el coeficiente de cultivo en la época lluviosa que se evidencia en el gráfico 4, donde se registró un Kc inicial de 0.86 para la etapa I en 14 días, seguido por la etapa II determinada en 16 días con Kc de 0.91 y 0.75 para la etapa III determinada en 13 días.

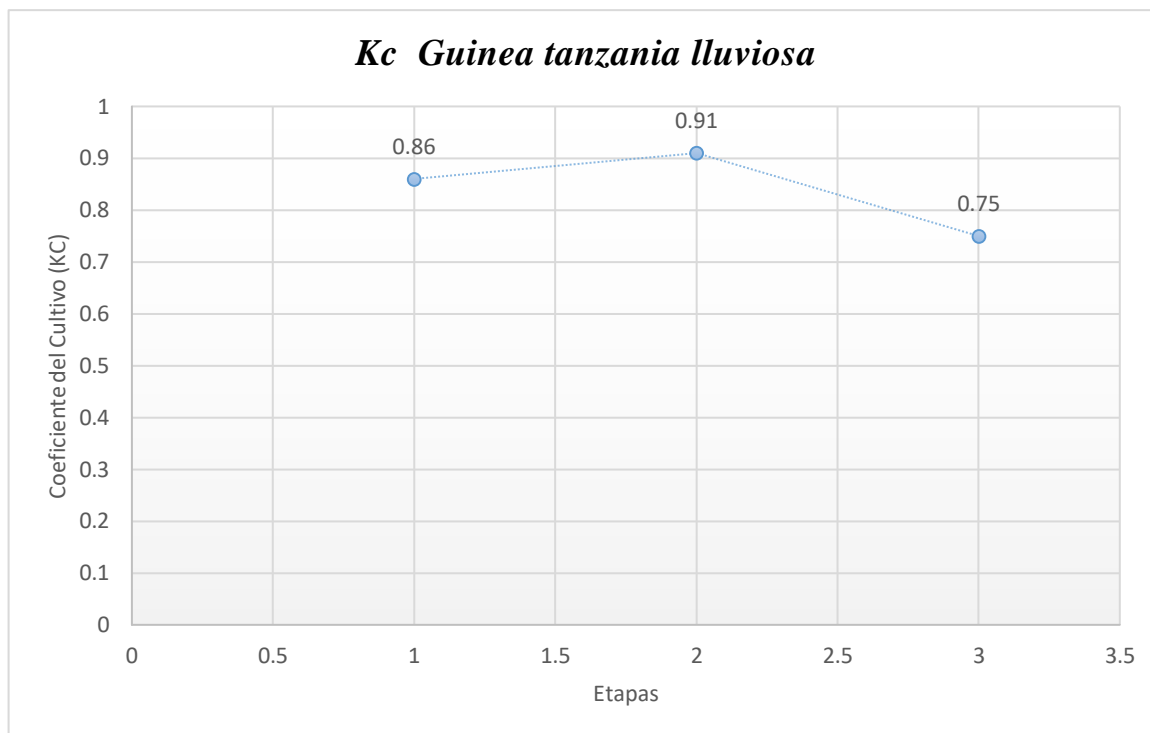


Gráfico 4: Coeficiente de cultivo Pasto Guinea Tanzania en época lluviosa.

El coeficiente de cultivo en la época seca mostro valores superiores en comparación con la época lluviosa ya que ambas épocas poseen diferencias climáticas. El valor de Kc en la época seca de manera general es mayor, dado que el suelo presenta baja humedad y altas temperaturas y radiación solar lo que dice que requiere más agua, a diferencia de la época lluviosa que registra valores inferiores.

Por tanto en base a los resultados obtenidos se establece que el coeficiente de cultivo depende de su estado fenológico y condiciones climáticas de cada área. Al igual que en el presente estudio, Collaguazo, (2014) determina que los valores de Kc en la fase inicial son menores ya que en esta etapa existe poco follaje por lo cual el agua requerida es menor, mientras el cultivo crece mayores serán sus necesidades hídricas.

Se presenta el análisis estadístico evidenciado en la tabla 5 para dos muestras independientes, utilizando la prueba de “t” donde muestra que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre las épocas de siembra con respecto al kc del pasto Tanzania en todas las etapas del cultivo. El coeficiente de variación presentó valores que variaron de 15.26 a 12.59 %.

Tabla 4. Prueba de t del Kc Pasto Guinea Tanzania en diferentes épocas de siembra.

Épocas de siembra	Kc		
	I etapa	II etapa	III etapa
Lluvioso	0,86	0,91	0,75
Seco	1,08	1,15	0,99
P-valor	0,0010	0,0031	0,0010
Coefficiente de Variación	12,59 %	13,17 %	15,26 %

En la tabla 6, se muestra el análisis estadístico para dos muestras independientes, utilizando la prueba de “t”, el cual indica que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre las épocas de siembra del pasto guinea Tanzania con respecto a las necesidades hídricas del cultivo (Nhc). El coeficiente de variación fue de 21,48 %.

Tabla 5. Prueba de t del Nhc del Pasto Guinea Tanzania en épocas de siembra.

Épocas de siembra	Nhc (mm)
Lluvioso	90,66
Seco	134,75
P-valor	<0,0001
Coefficiente de Variación	21,48 %

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo la cual consta de tres etapas de 43 días correspondientes a cada época, seca y lluviosa, donde se determina la evapotranspiración del cultivo por día y por etapa.

En la época seca se consideró en el período desde el 05 de Diciembre 2019 al 16 de Enero del 2020. La etapa I consto de 16 días con una evapotranspiración de 2.48 mm por día, la etapa II tuvo 20 días y una evapotranspiración de 2.65 mm y la etapa III registro 2.33 mm con una duración de 7 días, en base a estos datos se observa que la evapotranspiración del cultivo no se relaciona con el número de días de cada etapa, lo hacen con el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración de referencia, influyendo directamente en cada etapa. Mientras que la evapotranspiración por etapa se relaciona directamente con el número de días, lo que quiere decir que el déficit hídrico es mayor en la etapa II con 39.74 mm/etapa, seguida por la etapa I con 24.35 mm/etapa y la etapa III con 13.97 mm/etapa, con lo cual se obtiene una evapotranspiración final para la época seca de 107.17 mm (tabla 7).

Tabla 6: Necesidades hídricas en época seca.

Etapas	Días	Periodo		ETo	Kc	ETc (mm/día)	ETc(mm/etapa)
		Fecha desde	Fecha hasta				
I	16	5/12/2019	20/12/2019	2,3	1,08	2,484	39,744
II	11	21/12/2019	9/1/2020	2,3	1,15	2,645	29,095
	9			2,353		2,70595	24,35355
III	6	10/1/2020	15/01/2020	2,353	0,99	2,32947	13,97682
Total	43						107,16937

En la época lluviosa se estimó desde el 17 de Enero al 28 de Febrero del 2020, los primeros 14 días corresponden a la etapa I donde la evapotranspiración registro 2.02 mm por día, la etapa II consto de 16 días con 2.3 mm y 2.5 mm que corresponde a la etapa III con 13 días.

La evapotranspiración de cada etapa época lluviosa se registró los déficit hídrico en la etapa I con un valor de 28.33 mm, seguida por la etapa II con 34.04 mm y 24.32 mm para la etapa I, con lo cual se obtiene una evapotranspiración final para la época lluviosa de 56.93 mm (tabla 8). La evapotranspiración registrada para el cultivo en cada época difiere en cuanto a la presencia de luz solar, en la época seca se libera mayor cantidad de vapor de agua a la atmósfera, mientras que la época lluviosa la presencia de lluvia y humedad limita la salida de vapor, por tanto, el agua circula en toda la superficie del suelo infiltrándose a este hasta llegar a la parte subterránea y provocando ahogamiento de la raíz y por ende estrés hídrico.

Tabla 7: Necesidades hídricas en época lluviosa.

Etapas	Días	Periodo		ETo	Kc	ETc (mm/día)	ETc(mm/etapa)
		Fecha desde	Fecha hasta				
I	14	16/01/2020	29/01/2020	2,353	0,86	2,02358	28,33012

II	2	30/01/2020	15/2/2020	2,353	0,91	2,14123	4,28246
	15			2,494		2,26954	34,0431
III	13	16/2/2020	28/02/2020	2,494	0,75	1,8705	24,3165
Total	43						56,92908

Las dos épocas consideradas para el estudio mostraron diferencias significativas, la época lluviosa obtuvo valores superiores en todos los rangos evaluados, el área foliar promedio fue de 11,990.55 cm², con una altura promedio de la planta de 1.97 con 8 hojas por tallo, mientras que la época seca su área foliar promedio es de 9,438.42 cm² con una altura promedio de 2.10 y 6 hojas por tallo (tabla 7 y 8).

Tabla 8: Características Pasto Guinea Tanzania (Época lluviosa).

Pasto guinea Tanzania	
Promedios época lluviosa	
Altura de la planta	1.97 m
Número de tallo	70
Número de hojas por tallo	8
Rendimiento de materia verde	8,395.33 gr
Rendimiento de materia seca	14.01 gr
Área foliar	11,990.55 cm ²

Tabla 9: Características Pasto Guinea Tanzania (Época seca).

Pasto Guinea Tanzania	
Promedios Época Seca	
Altura de la planta	2.10 m
Número de tallo	60
Número de hojas por tallo	6
Rendimiento de materia verde	5,049 gr
Rendimiento de materia seca	11.35 gr
Área foliar	9,438.42 cm ²

El Kc de la época seca posee valores superiores en relación a la época lluviosa, por tanto los valores en época lluviosa son menores debido a que el suelo se encuentra húmedo y existe la presencia de lluvia, lo que difiere de la época seca (FAO, 2006).

Para la programación de riego de los cultivos en los cuales las características fenológicas del cultivo representan elementos que determina el desarrollo de la planta y por ende la cantidad de agua que necesita para su correcto desarrollo determinados en la tabla 9 donde se puede apreciar la programación de riego el cual se aplicará mediante aspersión en época seca, no se implementó en época lluviosa, lo que quiere decir que por las condiciones climáticas de alta humedad y presencia de lluvia de Enero y Febrero no es necesario aplicar un programa de riego, sin embargo para el mes de Diciembre se determinó que la lámina de agua será de 15.70 a 18.15 mm, con un tiempo de riego de 4.15 a 4.79 en una frecuencia de 12 a 14 días respectivamente (tabla 11).

Por tanto según los resultados obtenidos Álvarez, (2002) establece que el sistema de riego debe contribuir con 5mm de agua diario, tomando en cuenta factores como filtración y evotranspiración que influyen en la cantidad de agua que tendrá el cultivo y definirá el sistema de riego a emplear, por su parte Sandoval, (2014) al igual que en el presente estudio determina que los lugares donde existe alta precipitación y humedad son zonas donde no se requiere regar.

Tabla 10: Programación de riego para el Pasto Guinea Tanzania

Meses	ET _o	K _c	E _{tc} (mm/día)	P (mm)	P _e (mm)		RAD (mm)	LN (mm)	RL	LT (mm)	NN (mm/día)		FR (días)	LN ajustada (mm)	LT ajustada (mm)	I _{ap} (mm/hora)	Tr (horas)
					Mes	Día						Se riega o no se riega					
Noviembre	2,73	0,83	2,27	-	-	-	70,72	21,22	0,06	30,10	2,27	Se riega	13,28	11,33	16,11	3,79	4,26
		1,11	3,03								3,03		9,93	15,15	21,55		5,69
Diciembre	2,3	1,11	2,55	-	-	-	70,72	21,22	0,06	30,10	2,55	Se riega	11,79	12,77	18,15	3,79	4,79
		0,96	2,21								2,21		13,63	11,04	15,70		4,15

CONCLUSIONES

- Según los métodos indirectos utilizados los valores de evapotranspiración de referencia están relacionados con las variables ambientales tomadas, además se establece que en febrero se demuestran valores elevados de evapotranspiración lo que está acorde a lo establecido mediante las variables climáticas de temperatura, viento e insolación.
- El coeficiente de cultivo se encuentra estrechamente relacionado a las etapas de desarrollo de Pasto Guinea Tanzania, además las necesidades hídricas en la época lluviosa son menores por la presencia de factores que incrementan los niveles de agua del suelo como la humedad y la lluvia que limita un programa de riego efectivo debido a las condiciones climáticas que presenta esta época, por su parte la época seca presenta menor humedad y alta radiación solar, condiciones que favorecen a incrementar el consumo de agua en el cultivo.
- El programa de riego guarda relación con la época seca dado que esta posee un déficit hídrico superior por las condiciones ambientales y fenológicas del cultivo, mientras que la época lluviosa no requiere riego dado que los valores de K_c son elevados por tanto requiere menor cantidad de agua para recuperar lo perdido por la evapotranspiración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, C., & Dueñas., R .(2014). *¿La ganadería del Ecuador tendrá todavía esperanza? ¿En la economía solidaria y soberanía alimentaria!* FEDEGAN. Obtenido de <http://elproductor.com/wp-content/uploads/2014/08/trabajo-fedegan.pdf>
- Allen, R. (2010). Evapotranspiración del cultivo. *Serie de Riego y Drenaje de la FAO*, 56. Roma.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 298(0).
- Álvarez, J. (2002). *Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano* In U. d. Colombia, Manizales.
- Alvarez, G, & Perez, P. (2011). *El cultivo intencivo y los procesos de riego*. Madrid: Mc. Graw Hill. Madrid: Mc. Graw Hill.
- Bitocchi, E, & Nanmi, L. (2011). *El origen meso Americano del frejol* . (s.f.). Mesoamerican origin of the common bean
- Bochetti, M. (2010). *Análisis comparativo de la evapotranpiración obtenida mediante distintas ecuciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de chillán*.
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual técnico de riego con énfasis en riego por goteo*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1342/5/05.pdf>
- Chavarría, J. (2011). *Guía de instalación y calibración de un tensiómetro*. Calceta, Manabí, Ecuador.
- Chen., S., (2005). Obtenido de Chen, D. L., Gao, G., Xu, C. Y., Guo, J. & Ren, G.Y. (2005). Comparison of the Thornthwaite method and pan Coeficiente del cultivo kc. (s.f.). Obtenido de http://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/09/s106_boletin_coeficiente_de_cultivo.pdf
- Collaguazo, A. (2014). *Evapotranspiración y coeficiente del cultivo de Chile Bell en el valle de Culiacán, méxico* Culiacán, México.

- Evapotranspiracion del cultivo* . (s.f.). <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Obtenido de <http://WWW.FAO.ORG/ZHC/DETAIL-EVENTS/ES/C/880888/>
- Garay, O. (2009). Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. 3-19.
- Google. (s.f.). [Mapa de Chone, Ecuador en Google earth]. Recuperado el 14 de Noviembre, 2017,de: https://satellitemap.gosur.com/es/?gclid=cjwkcajw_sn8brbreiwanugjdmnk_i3i-s2cyn38-itsz1boavfxe1beqzko7c4ch0eli-b-uyfspzrocmez4qavd_bwe
- INAMHI. (2017). *Datos climatologicos promedio del 2000 al 2012*. Pucem-Chone.
- INEC. (2016). *Resultados de Censo*. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censo. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/presentacion%20espac%202016.pdf
- Manabí, G.D. (2004). Mapas de cantones expuestos a sequias y deficit hídrico. Plan de desarrollo provincial. Portoviejo : Secretaria de Planificación GPM.
- Meteorología Agrícola, (2007). Obtenido de <https://sites.google.com/site/meteorologiaagricolafcauncuyo/home/evapotranspiracion-del-cultivo-bajo-condiciones-estandar-entre-otros>.
- Morillo,J. (2014). Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano, Colombia. *Corpolca Ciencia y Tecnología*, 17.
- Mossande,B, (2015). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 5-10.
- Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. Quito : Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. .
- Rivetti A., (2006). Produccion de maiz bajo diferentes riegos . <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382838559004.pdf>.

- Rodríguez, J. (2016). "Efectos de la aplicación de la fertilización nitrogenada sobre la calidad y rendimiento del pasto Tanzania (*Panicum maximum*) en la zona de Babahoyo", Los Ríos : Universidad Técnica de Babahoyo.
- Romero, L. (2008). Romero, L. (2008). Pasturas templadas y tropicales. *Presentado en XXI Curso Internacional de lechería para profesionales de América Latina*, 37-60. Obtenido de <http://www.infortambo.com/admin/upload/arch/pasturastt.pdf>
- Sandoval, J. (2014). *Necesidades Hídricas de Pasturas con manejo organico en la zona de influencia del canal de riego Cayambe - Pedro Moncayo*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Sistema nacional Argentino* . (s.f.). Obtenido de <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/phaseolus-vulgaris>
- Verdecia, D., Ramírez, J., Leonard, I., Pascual, Y., & López, Y. (2008). *Rendimiento y componentes del valor nutritivo del Panicum maximum cv. Tanzania (Yiel and component of the nutritive value of the Panicum maximum c.v Tanzania)* . REDVET: Revista Electrónica de Veterinaria, 9(5), 1-9.
- Villa F, (2012). A propósito de la gestión del agua en el mundo contemporáneo. Un enfoque biopolítico. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Yangué, J. (2003). *Técnicas de Riego* . Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación .
- Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, K. (23 de 02 de 2013). Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad.

ANEXOS

Anexo No. 1: Datos climatológicos de Diciembre 2019 – Febrero 2020.

Diciembre			
Temp. Máx	Temp. Min	HR (%)	Vv (m/s)
25	24	87	2
26	25	83	2
24.94	24	87	2
26	25	82	2
24.671	24.022	91.607	2
24.991	24.129	87.909	2
25.26	24.19	84.235	2
25.081	24.229	88.563	2
24.62	23.959	89.922	2
25.539	24.476	89.822	2
24.463	23.471	85.959	2
25.587	24.505	84.207	2
23.005	22.049	91.419	2
26.005	24.55	78.719	2
25.137	23.916	78.909	2
25.189	24.196	83.069	2
26.48	25.166	76.859	2
27.349	25.751	74.687	2
26.937	25.33	75.133	2
27.182	25.512	70.88	2
26.718	24.275	75.512	2
26.402	24.954	78.266	2
27.227	25.605	75.309	2
27.067	25.827	76.034	2
26.205	25.043	81.925	2
26.193	25.024	86.873	2
26.282	25	86.93	2
26.294	25.089	89.822	2
25.116	24.009	92.559	2
26.932	25.757	86.664	2
26.385	25.105	85.764	2
25.84	24.64	83.44	2.00

Enero			
Temp. Máx.	Temp. min	HR (%)	Vv (m/s)
26.355	25.325	81.832	2
25.578	24.495	88.179	2
25.773	24.84	83.805	2
25.316	24.087	90.089	0
26.201	24.845	87.628	2
26.012	24.925	87.709	0
25.639	24.65	90	2
26.724	25.456	83.817	2
26.766	25.262	83.534	0
26.967	25.573	83.095	2
26.332	24.941	89.798	2
27.159	25.905	86.549	2
25.462	24.278	92.546	2
25.909	24.906	90.336	2
25.954	24.929	89.833	2
25.817	24.647	92.847	2
26.113	25.026	92.934	0
25.586	24.734	93.826	2
26.7	25.582	87.978	2
25.33	24.27	77.78	2
24.599	23.645	81.858	2
25.94	24.457	79.75	2
24.295	23.515	82.31	2
22.743	22.01	87.585	2
22.8337	22.347	87.196	0
22.545	21.928	91.1875	2
22.3	21.755	89.839	2
25.76	24.635	78.12	2
24.475	23.6575	83.694	2
23.937	23.13	83.943	2
23.303	22.546	82.416	2
25.304	24.267	86.468	1.68

Febrero			
Temp. Máx.	Temp. min	HR (%)	Vv (m/s)
23.363	22.059	86.107	2
26.184	25.037	76.255	2
24.745	23.84	83.496	2
24.795	23.805	85	2
23.434	22.565	86.165	2
24.081	23.205	82.471	2
24.965	23.82	79.9	2
24.715	23.7195	82.243	2
24.658	23.664	85.77	2
23.237	22.376	88.525	2
23.647	22.77	85.11	2
24.633	23.746	80.861	2
23.971	22.941	85.269	2
25.982	24.621	79.421	2
24.382	23.657	92.281	2
22.885	22.294	95.207	2
24.2	23.29	86.325	2
23.58	22.924	88.913	2
25.139	24.396	84.682	2
24.448	23.318	85.789	2
23.932	23.13	89.659	2
25.33	24.27	77.78	2
24.599	23.645	81.858	2
25.94	24.457	79.75	2
24.295	23.515	82.31	2
22.743	22.01	87.585	2
22.8337	22.347	87.196	2
22.545	21.928	91.1875	2
24.260	30.477	84.897	2

Anexo No. 2: Lectura del tensiómetro.

Fecha	Tensiómetro (cbar)
05/12/19	5
06/12/19	5
07/12/19	5
08/12/19	6
09/12/19	6
10/12/19	6
11/12/19	5
12/12/19	6
13/12/19	5
14/12/19	7
15/12/19	4
16/12/19	5
17/12/19	6
18/12/19	6
19/12/19	8
20/12/19	10
21/12/19	10
22/12/19	6
23/12/19	7
24/12/19	8
25/12/19	10
26/12/19	9
27/12/19	6
28/12/19	7
29/12/19	0
30/12/19	1
31/12/19	0
01/01/20	1
02/01/20	4
03/01/20	6
04/01/20	5
05/01/20	0
06/01/20	0
07/01/20	4
08/01/20	0
09/01/20	0
10/01/20	5
11/01/20	9
12/01/20	5
13/01/20	9
14/01/20	1
15/01/20	1
16/01/20	0
17/01/20	0
18/01/20	0
19/01/20	5

20/01/20	4
21/01/20	6
22/01/20	3
23/01/20	4
24/01/20	6
25/01/20	3
26/01/20	3
27/01/20	0
28/01/20	2
29/01/20	5
30/01/20	4
31/01/20	2
01/02/20	0
02/02/20	5
03/02/20	6
04/02/20	0
05/02/20	0
06/02/20	2
07/02/20	0
08/02/20	6
09/02/20	5
10/02/20	0
11/02/20	2
12/02/20	5
13/02/20	0
14/02/20	0
15/02/20	5
16/02/20	2
17/02/20	0
18/02/20	0
19/02/20	1
20/02/20	0
21/02/20	0
22/02/20	2
23/02/20	0
24/02/20	1
25/02/20	2
26/02/20	0
27/02/20	3
28/02/20	0

Anexo No. 3: Agua fácilmente disponible para el cultivo para la época seca y la época lluviosa.

Agua fácilmente disponible para el cultivo en época seca	
Densidad Aparente	1,53
Capacidad de Campo	29,16
Punto de Marchitez	16,04
Profundidad de Raíces	0,2
AFD	40,1472
Agua fácilmente disponible para el cultivo en época lluviosa	
Densidad Aparente	1,5
Capacidad de Campo	30,2
Punto de Marchitez	16,61
Profundidad de Raíces	0,15
AFD	30,5775

Anexo No. 4: Datos Fenológicos para cada época.

<i>Pasto guinea tanzania época seca</i>								
Plantas	Altura (m)	# Tallos	# Hojas	Peso tallo (gr)	Peso materia seca (gr)	Peso de materia verde (gr)	Área del follaje de la planta (cm ²)	Área del follaje de la planta (cm ²)
Centro	1,92	68	408	4057	298	1612	10.098,85	10,098.85
P2	2,1	62	372	3865	253	1255	9.466,30	09,4663
P3	2,3	51	306	3165	201	1193	8.750,10	08,7501

Plantas	Peso del tallo (gr)	Peso de la hoja (gr)	Peso del tallo con funda (gr)	Peso de la hoja con funda (gr)	Peso del tallo en funda después de la estufa (gr)	Peso de la hoja en funda después de la estufa (gr)	Peso del tallo después de la estufa sin funda (gr)	Peso de la hoja después de la estufa sin funda (gr)	Peso de la funda tallo (gr)	Peso de la funda de la hoja (gr)
Centro	106	102	110	106	10,12	19,89	6,12	16,76	4,6	4,52
P2	111	110	115	116	15,86	27,3	9,39	20,62	4,47	4,68
P3	113	106	118	110	13,38	20,65	6,74	14,01	4,64	4,64

<i>Pasto guinea tanzania época lluviosa</i>								
Plantas	Altura (m)	# Tallos	# Hojas	Peso tallo (gr)	Peso materia seca (gr)	Peso de materia verde (gr)	Área del follaje de la planta (cm ²)	Área del follaje de la planta (cm ²)
Centro	2,03	72	576	6329	627	2766	12.198,15	12,198.15
P2	1,89	68	544	5512	548	2244	11.776,62	11,776.62
P3	2,01	70	560	5940	579	2395	11.996,89	11,996.89

Plantas	Peso del tallo (gr)	Peso de la hoja (gr)	Peso del tallo con funda (gr)	Peso de la hoja con funda (gr)	Peso del tallo en funda después de la estufa (gr)	Peso de la hoja en funda después de la estufa (gr)	Peso del tallo después de la estufa sin funda (gr)	Peso de la hoja después de la estufa sin funda (gr)	Peso de la funda tallo (gr)	Peso de la funda de la hoja (gr)
Centro	100	102	103	106	13	23,84	6,36	22,56	4,63	4,59
P2	111	104	116	108	12,5	27,98	5,89	18,34	4,59	4,86
P3	105	107	108	112	18,94	31,53	12,36	22,54	4,51	4,59

Anexo No. 5: Datos obtenidos de las pruebas T para muestras independientes de cada etapa en cada época.

Etapa I

Nueva tabla: 07/10/2020 - 6:27:02 - [Versión: 01/11/2014]

Prueba T para muestras Independientes

Variable:Kc-I Etapa - Clasific:Tratamientos - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	PER. LLUVIOSO	PER. SECO
n	3	3
Media	0,860	1,077
Varianza	0,001	0,001
Media (1)-Media (2)	-0,217	
LI (95)	-0,287	
LS (95)	-0,146	
pHomVar	0,6552	
T	-8,535	
gl	4	
p-valor	0,0010	

Etapa II

Nueva tabla: 07/10/2020 - 6:28:04 - [Versión: 01/11/2014]

Prueba T para muestras Independientes

Variable:Kc-II Etapa - Clasific:Tratamientos - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	PER. LLUVIOSO	PER. SECO
n	3	3
Media	0,913	1,150
Varianza	0,002	0,002
Media (1)-Media (2)	-0,237	
LI (95)	-0,340	
LS (95)	-0,134	
pHomVar	0,7903	
T	-6,376	
gl	4	
p-valor	0,0031	

Etapa III

Nueva tabla: 07/10/2020 - 6:23:47 - [Versión: 01/11/2014]

Prueba T para muestras Independientes

Variable:Kc-III Etapa - Clasific:Tratamientos - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	PER. LLUVIOSO	PER. SECO
n	3	3
Media	0,753	0,990
Varianza	0,001	0,001
Media (1) -Media (2)	-0,237	
LI (95)	-0,312	
LS (95)	-0,161	
pHomVar	0,8358	
T	-8,674	
gl	4	
p-valor	0,0010	

Anexo No. 6: Datos obtenidos de las pruebas T para muestras independientes respecto a los valores de NHC de cada etapa en cada época.

Nueva tabla: 07/10/2020 - 6:44:22 - [Versión: 01/11/2014]

Prueba T para muestras Independientes

Variable:NHc - Clasific:Tratamientos - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	PER. LLUVIOSO	PER. SECO
n	3	3
Media	90,67	134,75
Varianza	4,33	3,06
Media (1) -Media (2)	-44,08	
LI (95)	-48,44	
LS (95)	-39,72	
pHomVar	0,8282	
T	-28,08	
gl	4	
p-valor	<0,0001	

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Pasto guinea Tanzania en proceso de desarrollo.



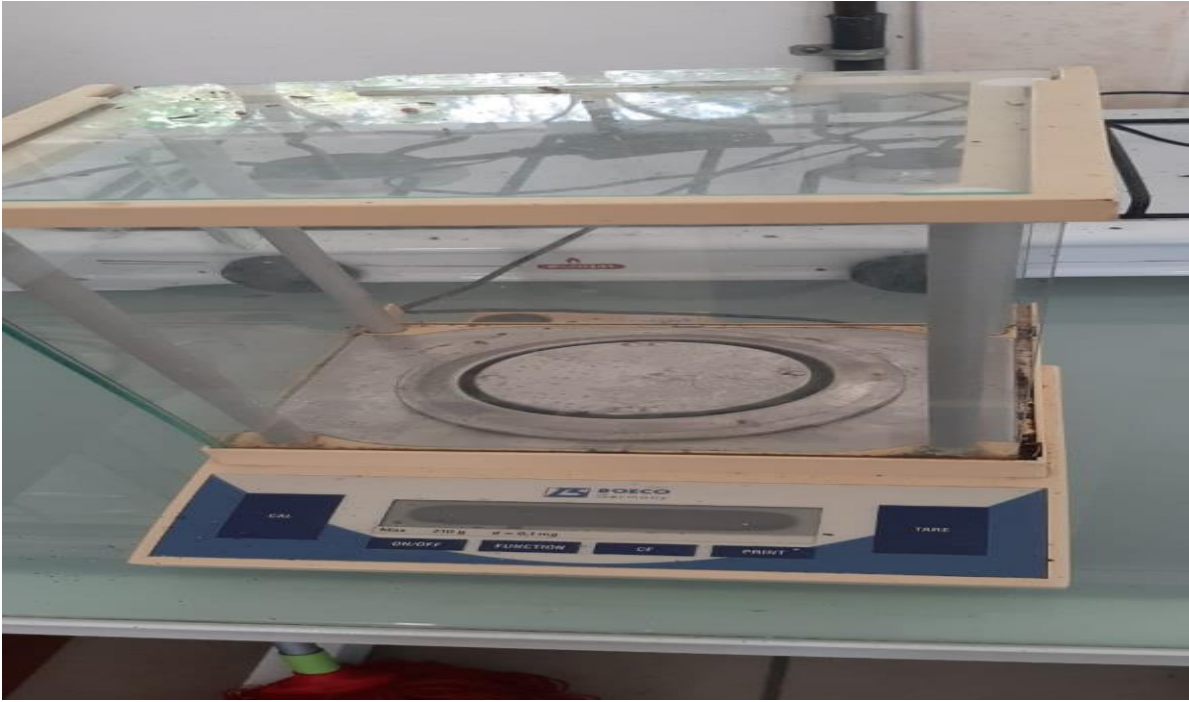
Lectura de datos del tensiómetro y anotación de valores de riego y drenaje.



Riego con probetas.



Identificación de altura máxima de la planta.



Gramera para darle seguimiento al peso húmedo y seco.



Estufa para la deshidratación de la materia verde.