



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN
DISMINUCIÓN DE VOLÚMENES DE AGUA EN EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL PASTO MOMBAZA EN EL SITIO
GARRAPATA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

**AUTOR
ANTONY MICHAEL MOREIRA MOREIRA**

**TUTOR
ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.SC.**

PORTOVIEJO, OCTUBRE 2023

Certificación de la Tesis

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor 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 Enrique Chavarría Párraga, M. Sc.

C.I. 130827219-2

Aprobación del Tribunal

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

(F)_____

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc.

Presidente del Tribunal

(F)_____

Ing. Fabián Espinales Cedeño, M.Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Juan Fernando Quiroz, M.Sc.

Segundo 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 la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autor:

F. _____
Antony Michael Moreira Moreira
Dirección: Chone
E-mail: amoreira2885@pucesm.edu.ec
Celular: 0963910463

Declaración de Derecho del 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.

Autor:

F. _____
Antony Michael Moreira Moreira
C.I. 1311652885

Dedicatoria y Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar esta meta, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

Agradezco a mis padres mi padre Pablo Antonio Moreira Mendoza y a mi madre Alexa Alexandra Moreira Alvarez por sus apoyos incondicionales cada etapa de mi formación académica y personal.

A mis compañeros con los que compartimos muchas anécdotas dentro y fuera del salón de clases, extendiendo este agradecimiento a los docentes y personas que aportaron para la realización del presente trabajo, especialmente al Mgtr. Jesús Chavarría. Sin dejar atrás a mis formadores académicos e institución por haberme brindado sus conocimientos durante mi todo este camino.

Resumen

Esta investigación cuantitativa exploró la productividad hídrica del pasto Mombaza al reducir las láminas de riego de la evapotranspiración del cultivo (ETc), buscando optimizar el agua destinada al riego. Para ello, este estudio exploratorio, experimental de campo se ejecutó desde noviembre de 2022 hasta enero de 2023 en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), Campus Chone, recolectando datos al relacionar la producción en materia seca, materia verde, número de hojas por macollo y área foliar, a fin de proponer una programación de riego en función del mejor comportamiento evidenciado. Los resultados señalan que la productividad del pasto Mombaza es directamente proporcional al agua aplicada, pudiéndose generar riegos deficitarios del 85% y del 80% de ETc sin reducir sus rendimientos en materia seca y en materia verde por hectárea. Los resultados referentes a las hojas por macollo permiten observar 229 y 224 unidades respectivamente en ambos cortes, con un área foliar de 1638,4 cm² y 1574,1 cm², demostrando que los cortes sucesivos incrementan la producción en materia seca en un 4,49%, por lo que resulta conveniente generar una programación de riego con una lámina deficitaria de hasta el 85%. Se concluye que el uso de riegos deficitarios controlados permite optimizar el agua repuesta al cultivo, sin reducir la productividad de la planta. Se recomienda aplicar riegos de hasta el 85%, y así optimizar un 15% del agua destinada al riego.

Palabras clave: agua, riego, deficitario, cultivo, productividad

Abstract

This quantitative research paper assessed water productivity of Mombasa grass by reducing irrigation levels of crop evapotranspiration (ETc), as a way to save water for irrigation.

Accordingly, this exploratory, experimental field research study was conducted from November 2022 through January 2023 at Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), Chone Campus, so that data were collected by relating dry matter and green matter production, number of leaves per tiller and leaf area, in order to determine an irrigation schedule based on the best behavior found. The findings point out that Mombasa grass productivity is directly proportional to water supply, which causes deficit irrigation level with 85% and 80% ETc without reducing dry matter and green matter yields per hectare. The findings on leaves per tiller show 229 and 224 units in both cuts, respectively, with a leaf area of 1638.4 cm² and 1574.1 cm², which confirms that frequent cutting increases dry matter production by 4.49%; so, it is convenient to determine an irrigation schedule with a deficit level up to 85%. In conclusion, the use of regulated deficit irrigation helps to optimize crop water use without reducing its productivity. Applying irrigation up to 85% in order to save around 15% of irrigation water is recommended.

Keywords: water, irrigation, deficit, crop, productivity

Índice

Certificación de la Tesis	ii
Aprobación del Tribunal.....	iii
Declaración de Originalidad.....	iv
Declaración de Derecho del Autor	v
Dedicatoria y Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de Tabla	12
Índice de Figuras	13
Índice de Fórmulas	14
Introducción.....	15
Materiales y Métodos	18
Tipo de investigación	18
Características del lugar	18
Localización	18
Condiciones climatológicas.....	19
Equipos y materiales	20
Materiales de campo.....	20
Materiales de oficina	20
Material biológico	20
Características del campo experimental	21

	10
Cultivo del pasto Mombaza (<i>Panicum máximum</i> cv. Mombaza)	21
Diseño de la investigación.....	21
Enfoque de la investigación.....	21
Tamaño de la muestra.....	21
Tipo de muestreo	22
Técnicas de investigación.....	22
Instrumentos de recolección de datos.....	22
Tratamiento estadístico.....	22
Métodos	22
Variables que se consideraron en la investigación	22
Estimación de las variables que considera la investigación	23
Manejo del ensayo.....	29
Recolección del sustrato	29
Llenado de fundas plásticas.....	30
Siembra.....	30
Riego	30
Control de malezas	30
Control de plagas.....	30
Cosecha	30
Volúmenes de agua de las diferentes programaciones de riego	31

Toma de datos en el área experimental	31
Humedad del suelo	31
Variables evaluadas	31
Rendimiento de materia verde.....	31
Rendimiento de materia seca.....	31
Área foliar.....	32
Resultados y discusión	33
Conclusiones.....	40
Bibliografía.....	41
Anexos	45

Índice de Tabla

Tabla 1: Datos climatológicos promedios mensuales desde 1990 al 2013	19
Tabla 2: Características de la parcela.....	21
Tabla 3: Relación lectura de tensiómetro – condiciones de humedad de suelo	24
Tabla 4: Análisis de varianza de la variable Rendimiento de Materia Verde	33
Tabla 5: Análisis de varianza de la Rendimiento de Materia Seca por hectárea	33
Tabla 6: Análisis de varianza de la Hojas por Macollo	35
Tabla 7: Análisis de varianza de la Área Foliar	35
Tabla 8: Análisis de varianza de la Materia Seca	36
Tabla 9: Análisis de varianza de la eficiencia del uso de agua en Materia Verde	36
Tabla 10: Análisis de varianza de la eficiencia de uso del agua en Materia Seca	37
Tabla 11: Láminas de riego deficitarias repuestas al cultivo en cada corte	38
Tabla 12: Programación de riego del Pasto Mombaza.....	39
Tabla 13: Agua aplicada a cada tratamiento durante el primer corte.....	45
Tabla 14: Agua aplicada a cada tratamiento durante el segundo corte.....	46
Tabla 15: Datos climatológicos durante el mes de noviembre del 2022	47
Tabla 16: Datos climatológicos durante el mes de diciembre del 2022.....	48
Tabla 17: Datos climatológicos durante el mes de enero del 2023.....	49
Tabla 18: Factor de agotamiento.....	49
Tabla 19: Profundidad efectiva de las raíces para distintos cultivos	50
Tabla 20: Conductividad eléctrica de los diferentes sustratos de suelo	51

Índice de Figuras

Figura 1: Estación metereológica del Inamhi M0162 Chone U. Católica	18
Figura 2: Corte de igualación del pasto Mombaza en la parcela experimental	52
Figura 3: Control de malezas en la parcela experimental	52

Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Evapotraspiración del cultivo mediante Penman Monteith	23
Fórmula 2: Evapotraspiración del cultivo ETC	25
Fórmula 3: Precipitación efectiva	25
Fórmula 4: Balance hídrico	25
Fórmula 5: Agua fácilmente disponible para el cultivo	26
Fórmula 6: Lámina Neta	26
Fórmula 7: Requerimiento de lavado	26
Fórmula 8: Lámina total.....	27
Fórmula 9: Intervalos de riego	27
Fórmula 10: Lámina neta ajustada	28
Fórmula 11: Lámina total ajustada	28
Fórmula 12: Intensidad de aplicación de agua.....	28
Fórmula 13: Tiempo de riego	29
Fórmula 14: Rendimiento de materia seca.....	32

Introducción

El agua cubre el 70% de la superficie terrestre, siendo el sustento para la vida en el planeta, formando parte del ciclo hidrológico mediante los procesos de escurrimiento, evaporación, precipitación e infiltración (Fernández, 2012). En los últimos 20 años en América Latina ha existido un incremento de la población, que junto al cambio climático han conllevado a una disminución per cápita del agua en un 22%, trayendo consigo sequias que repercuten en los cultivos de los productores agrícolas, y en las formas de vida de las personas (Naciones Unidas, 2020). En Ecuador según el Banco Nacional de Autorizaciones [BNA] para el 2020 el uso de riego demandó de enormes cantidades de agua, representando un gasto de $560,9 \text{ m}^3/\text{s}$, es decir el 82,2%, lo que posicionó al riego como la principal actividad donde se usa agua (Ministerio del Ambiente, Agua y transición ecológica, 2022).

Este recurso desempeña un rol decisivo en la seguridad alimentaria, debido a que el riego abarca un 20% del total de la superficie cultivada, y aporta con un 40% a la producción mundial de alimentos; por lo que se proyecta para el 2050 un incremento poblacional mayor a 10 000 millones de habitantes, lo cual conllevará un aumento de competencias por el agua, y de producción agrícola en un 70% (BANCO MUNDIAL, 2020). Siendo necesario conservarlo para garantizar un manejo sostenible en las cuencas hidrográficas, ya que en los últimos años se han efectuado amplias investigaciones con respecto a la falta de agua para el consumo humano e irrigación de cultivos, donde la deforestación y la contaminación son las principales causas de su escasez (Gómez, 2004).

Un uso eficiente del agua para la agricultura conlleva a optimizarla en sus distintas etapas, desde el almacenamiento hasta su entrega a la planta (Ministerio de Agricultura y Riego,

2018). Por lo que en el Ecuador se aprecian sequías frecuentes (34,36%) y lluvias escasas pero intensas (21,41%), que afectan las temperaturas en las costas ecuatorianas e incrementan la evapotranspiración de los cultivos, donde es necesario el uso de tecnologías innovadoras que mitiguen el desperdicio del agua e incrementen la productividad de las cosechas (Toulkeridis *et al.* 2020).

En Ecuador el desarrollo del pastoreo representa 1'985.494 ha, contando con un 19% de pastizales a nivel nacional; pero se evidencia una productividad baja en suelos marginales debido a la influencia de las condiciones ambientales adversas en las diversas épocas del año (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2020). Siendo uno de los procesos productivos más afectados en las últimas décadas debido a las influencias ambientales, ya que para suplir sus necesidades hídricas se emplean riegos que suelen ser deficientes por la influencia de factores climáticos, como el fotoperiodo y la temperatura (Alencar *et al.*, 2009; Chavarría *et al.*, 2017).

El pasto Mombaza (*Panicum máximum cv Momboza*), es un cultivo perenne que crece en matojos erectos cespitosos (macolla), que se adapta a suelos fértiles con un buen drenaje y no es muy tolerante a sequías o al frío, se utiliza generalmente para el pastoreo directo, henolaje, ensilaje e integración a sistemas silvopastoriles. Necesita una lámina de riego anual de 800 mm; para su establecimiento en praderas requiere de 90 a 120 días, después del cual se pueden hacer intervalos de pastoreos entre 28 a 35 días. Es una planta cespitosa, que llega a medir hasta 2 m de altura, con ancho de hojas hasta 3 cm (AGROSEMILLAS, 2021).

Siendo necesario conocer el comportamiento del pasto para generar una buena programación de riego, donde necesitamos estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc), que incluye variables como la evapotranspiración de referencia (ETo) y kc del cultivo en su etapa de germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del fruto y cosecha (Carrazón, 2018). Para la

programación de riego, la humedad del suelo (tensión) se transmite a través del potencial de agua, que está diseñado para ver cómo los recursos hídricos se mueven a través de las capas del suelo, mostrando diferentes condiciones climáticas tales como: lluvia efectiva, propiedades físicas e hidráulicas del suelo y crecimiento de los cultivos (FAO, 2008).

Considerando los antecedentes descritos se buscó explorar la productividad del pasto Mombaza al disminuir sus láminas de riego por debajo de la evapotranspiración del cultivo. Para lo cual se determinó la producción del pasto Mombaza en materia verde y materia seca; se valoró la productividad hídrica del pasto Mombaza mediante la conducta del cultivo; y se generó una programación de riego del pasto Mombaza en función al mejor comportamiento de materia verde y materia seca.

Materiales y Métodos

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo cuantitativa debido a que se evaluaron los pesos de las variables involucradas, relacionándolo con su comportamiento fisiológico mediante ensayos en campo.

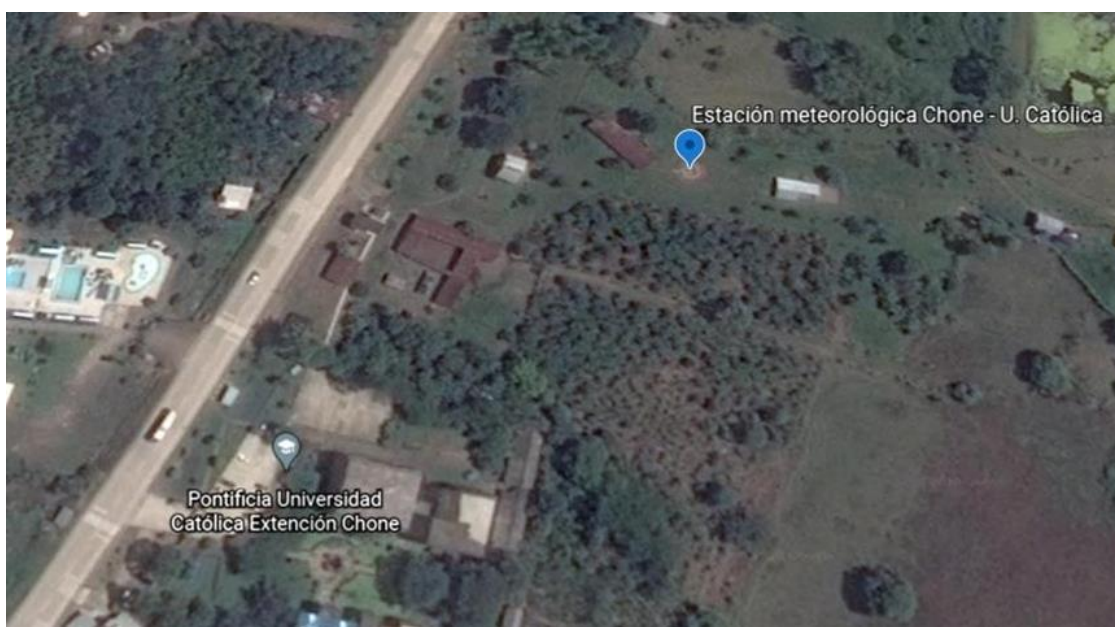
Características del lugar

Localización

Se desarrolló la investigación en la Finca PUCEM Chone perteneciente al sitio Garrapata del cantón Chone, en una parcela experimental cercana a la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] M0162, durante noviembre y diciembre del 2022.

Figura 1

Estación metereológica del Inamhi M0162 Chone U. Católica



Fuente: *GOOGLE EARTH (2023)*

Condiciones climatológicas

Se observan dos épocas estacionales en el año: sequía durante junio a noviembre, y lluvias durante diciembre a mayo, con temperaturas oscilantes entre 21°C a 32°C.

Tabla 1

Datos climatológicos promedios mensuales desde 1990 al 2013

Mes	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	22,6	31,7	86	1,6	2,7	177,9	96,5
Febrero	22,9	31,0	89	1,2	2,5	323,0	84,1
Marzo	23,0	31,8	84	1,4	4,4	245,3	110,7
Abril	22,8	31,9	87	2,5	4,5	183,1	106,4
Mayo	22,6	30,9	87	1,3	3,3	61,1	94,0
Junio	21,6	29,6	88	1,3	2,5	33,3	82,5
Julio	21,1	29,5	87	1,6	2,7	19,1	87,4
Agosto	20,8	29,9	86	2,0	3,0	11,6	106,1
Septiembre	20,9	30,4	86	2,5	3,2	9,6	111,0
Octubre	21,2	30,1	85	2,3	3,1	11,7	105,9
Noviembre	21,4	30,7	84	2,0	2,7	20,1	110,1
Diciembre	22,0	30,9	81	2,0	2,4	73,9	110,6

Fuente: INAMHI (2023)

Equipos y materiales

Materiales de campo

Pala

Machete

Tensiómetro de 15 cm

Probeta

Recipiente plástico

Flexómetro

Fertilizante

Fundas de papel

Gramera

Celular

Tijeras

Materiales de oficina

Laptop

Cuadernos

Hojas ministro

Microsoft Excel y Word

Goma

Software Petiole

Impresora

Material biológico

Obtenido del pasto Mombaza (*Panicum maximum* cv. *Mombaza*)

Características del campo experimental

Cultivo del pasto Mombaza (Panicum máximum cv. Mombaza)

Tabla 2

Características de la parcela.

Numero de parcelas	3
Ancho de la parcela	3 m
Largo de parcela	3 m
Área de parcela	9 m ²
Números de plantas en la parcela	9 u

Diseño de la investigación

Enfoque de la investigación

Tuvo un enfoque experimental ya que se sometieron especímenes de pasto Mombaza a diferentes programaciones de riego en una parcela en campo.

Tamaño de la muestra

La muestra la comprendió 27 especímenes de pasto Mombaza (*Panicum máximum cv. Mombaza*), dividido en 3 pequeñas parcelas con 9 plantas en cada una.

Tipo de muestreo

Se tomaron 3 muestras de pastos por cada lámina de riego en estudio para determinar el mejor comportamiento.

Técnicas de investigación

Las técnicas empleadas se tomaron de documentos científicos y tesis efectuadas por otros autores para definir la metodología; y mediante ensayos en campo donde se estableció una parcela experimental de pasto Mombaza que fue sometida a diferentes programaciones de riego.

Instrumentos de recolección de datos

Se recolectaron datos in situ, mediante documentos y fuentes bibliográfica.

Tratamiento estadístico

Se ejecutó un muestreo probabilístico en función de cada tratamiento de riego para corroborar los datos obtenidos en las tres subunidades de muestreo. Se emplearon variables continuas, empleando pruebas paramétricas al cumplir el supuesto de la distribución normal $p < 0.05$ y homogeneidad de la varianza, analizando su coeficiente de variación.

Métodos

Variables que se consideraron en la investigación

Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Coefficiente del Cultivo.

Humedad en el suelo.

Estimación de las variables que considera la investigación

Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Se determinó la Evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman Monteith FAO56 (FAO, 2008).

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

Fórmula 1. Evapotranspiración del cultivo mediante Penman Monteith.

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

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

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

T = Temperatura del aire de 2m de altura °C

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

e_s = Presión de vapor de saturación (KPa)

e_a = Presión real del vapor (KPa)

e_s - e_a = Déficit de presión de vapor (KPa)

Δ = Bajada de la curva de presión de vapor (KPa / °C)

γ = Constante psicométrica (KPa/°C)

Humedad en el suelo.

Se debió buscar la mayor eficiencia posible para distribuir el agua en el suelo, de tal modo que el cultivo no sufra un déficit hídrico que acarree pérdidas de tipo comercial. El uso de tensiómetros agrícolas, los cuales son dispositivos conformados por un cilindro vacío, una capsula de porcelana y un vacuómetro, nos permiten monitorear la humedad en el suelo, empleando una medición negativa o también denominada tensión (Vásquez, 1999).

Tabla 3

Relación lectura de tensiómetro – condiciones de humedad de suelo

Lectura de tensiómetro en centibales (CBR o PSI)	Condiciones Húmedas 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, y Barahona, 2012.

Diseño agronómico para el riego.

Se efectuó un diseño agronómico utilizando el coeficiente Kc del pasto Mombaza, y la evapotranspiración de referencia (ET_o) recopilada de un lisímetro de drenaje, usando las fórmulas propuestas por la FAO (2008), que se describe a continuación:

Evapotranspiración del cultivo (ETc).

$$\mathbf{ETc} = ET_o K_c$$

Fórmula 2: Evapotranspiración del cultivo ETc.

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Kc= Coeficiente de los cultivos (adimensional).

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

Precipitación efectiva.

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

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

Fórmula 3: Precipitación efectiva.

Donde:

Pe= Precipitación efectiva (mm).

P= Precipitación (mm).

Balance hídrico.

$$\mathbf{BH} = ET_c - P_e$$

Fórmula 4: Balance hídrico.

Donde:

BH = Balance Hídrico (mm).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

P_e = Precipitación efectiva (mm).

Agua fácilmente disponible para el cultivo.

$$\mathbf{AFC} = \frac{C_c - P_m}{100} D_a \text{ Prec}$$

Fórmula 5: Agua fácilmente disponible para el cultivo.

Donde:

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

Cc = Capacidad Campo (%).

Pm = Punto de Matriz (%).

Da = Densidad Aparente.

Prec = Profundidad radicular del cultivo (mm).

Lámina neta.

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

Fórmula 6: Lámina Neta.

Donde:

Ln = Lamina Neta (mm).

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

FAC = Factor de Agotamiento.

Requerimiento de lavado.

$$\mathbf{RL} = \frac{CE_a}{5(CE_e - CE_a)}$$

Fórmula 7: Requerimiento de lavado.

Donde:

RL = Requerimiento de lavado, expresado en tanto por uno.

CEa = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CEe = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).

Lamina total.

$$\mathbf{LT} = \frac{\mathbf{Ln}}{\mathbf{Ea} (1 - \mathbf{RL})}$$

Fórmula 8: Lámina total.

Donde:

Lt = Lamina Total (mm).

Ln = Lamina Neta (mm).

Ea = Eficiencia del sistema de riego utilizado.

RL = Requerimiento del lavado.

Intervalo de riego.

$$\mathbf{Ir} = \frac{\mathbf{Ln}}{\mathbf{ET}_c \text{ diarios}}$$

Fórmula 9: Intervalos de riego.

Donde:

Ir = Intervalo de Riego (mm).

Ln = Lamina Neta (mm).

ETc diarios = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/día).

Lamina neta ajustada.

$$\mathbf{Ln}_{\text{ajustada}} = \text{ET}_{\text{c diarios}} \text{ Ir}_{\text{ajustado}}$$

Fórmula 10: Lámina neta ajustada.

Donde:

Ln ajustada = Lámina Neta Ajustada (mm/riego).

ETc diarios = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/día).

Ir ajustado = Intervalo de Riego ajustado (día).

Lámina total ajustada.

$$\mathbf{Lt}_{\text{ajustada}} = \frac{\text{Ln}_{\text{ajustada}}}{\text{Ea} (1 - \text{Rl})}$$

Fórmula 11: Lámina total ajustada.

Donde:

Lt ajustada = Lamina Total Ajustada (mm).

Ln ajustada = Lámina Neta Ajustada (mm).

Ea = Eficiencia del sistema de riego utilizado.

Rl = Requerimiento del lavado.

Intensidad de aplicación de agua.

$$\mathbf{Iap} = \frac{\text{Qa}}{\text{Ea El}}$$

Fórmula 12: Intensidad de aplicación de agua.

Donde:

Iap = Intensidad de aplicación (mm/h).

Qa = Caudal del aspersor expresado (l/h).

Ea = Espaciamiento entre aspersores (m).

El = Espaciamiento entre laterales (m).

Tiempo de riego.

$$\mathbf{Tr} = \frac{\text{Lt ajustada}}{\text{Lap emisor}}$$

Fórmula 13: Tiempo de riego.

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

Lt ajustada = Lamina Total Ajustada (mm).

Lap emisor = Aporte del emisor.

Manejo del ensayo***Recolección del sustrato***

Se excavó el suelo a 20 cm de profundidad, para extraer suelo sin presencia de materia orgánica (Reyes, 2021).

Llenado de fundas plásticas

Se rellenaron 27 fundas con el sustrato de las siguientes características: 27 cm de alto, 95 cm de diámetro, considerando un borde libre de 8 cm (Reyes, 2021).

Siembra

Se utilizaron cepas de pasto Mombaza de 15 cm de alto, las cuales fueron sembradas en fundas plásticas a 10 cm de profundidad.

Riego

Se hizo manualmente todos los días, considerando las condiciones de evapotranspiración de referencia en el lugar, y consumo de la planta en el día anterior (Farías, 2021).

Control de malezas

Se hizo de forma manual, buscando eliminar factores externos que pudiesen afectar al ensayo (Farías, 2021).

Control de plagas

Cuando se visualizó la presencia de hormigas se empleó 50 ml de Clorpirifos en una bomba de 20 litros, para su posterior fumigación.

Cosecha

La cosecha fue cada 25, efectuando en las fundas de pasto un corte de igualación.

Volúmenes de agua de las diferentes programaciones de riego

Se ejecutó en relación de la evapotranspiración de referencia en el sitio de estudio, y del coeficiente Kc del cultivo en cada una de sus etapas de desarrollo (Farías, 2021).

Toma de datos en el área experimental

Se recopiló la información de campo cada 24 horas, considerando datos meteorológica y del cultivo como las lecturas de los tensiómetros (Farías, 2021).

Humedad del suelo

Se usaron tensiómetros de 15 cm de profundidad, para analizar el movimiento de agua en el suelo del pasto Mombaza (Muñoz, 2022).

Variables evaluadas

Rendimiento de materia verde

Se efectuó un corte de igualación en el pasto Mombaza a los 25 días desde siembra, se seleccionaron tres plantas por cada lámina de agua del valor de evapotranspiración en estudio (100%, 80%, 85%), fragmentando cada planta en hojas, tallos y material muerto. Para controlar el peso de la biomasa se empleó una gramera digital y se obtuvo su peso en gramos (gr) (Muñoz, 2022).

Rendimiento de materia seca

En cada corte de igualación del pasto Mombaza cada 25 días, se tomó una muestra de 100 gr de hojas y tallos fragmentos en pedazos, para depositarlos en una bolsa de papel para que mantenga la humedad, y se colocaron posteriormente en la estufa a una temperatura de 60-105 °C

durante 48 horas, a fin de eliminar la humedad de la muestra y conocer el valor de la materia seca; se empleará la siguiente fórmula obtener el rendimiento de materia seca (De La Roza *et al.* 2002).

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

Fórmula 14: Rendimiento de materia seca

Área foliar

Se obtuvo datos del área foliar de las hojas separando los macollos del tallo en cada planta, disgregando cada hoja en tres partes iguales y ubicándolas en una hoja blanca con una superficie firme estable como base. Mediante la aplicación Petiole se medirá el área de las hojas con la cámara fotográfica del teléfono, tomando medidas de cada hoja por tallo presente en la funda; finalmente se sumarán los valores para obtener el valor total de cada espécimen de pasto (Urquijo, 2016).

Resultados y discusión

Se efectuaron dos cortes al pasto Mombaza, el primero a los 23 días, y el segundo después de 25 días, con el afán de estudiar su comportamiento productivo en función del riego repuesto en láminas del 100%, 85% y 80% del valor de la evapotranspiración diaria del cultivo (ETc).

Tabla 4

Análisis de varianza de la variable Rendimiento de Materia Verde por hectárea

Corte 1				Corte 2			
P1	P2	P3	CV	P1	P2	P3	CV
100%	85%	80%	(%)	100%	85%	80%	(%)
p = 0.06				p = 0.053			
Media	1749,75	1473,60	1442,65	Media	1914,35	1601,74	1568,09
	A	A	A		A	A	A
			11,10				11,05

Nota. Las letras “p” encima del porcentaje señalan “parcela”, su número a continuación de la letra “P” el número de la parcela, y la “p” representa la probabilidad de igualdad o diferencia.

Como se visualiza en la tabla 4 en relación al rendimiento en materia verde por hectárea, no se presentó la existencia de variaciones significativas ($p > 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 100% de la ETc se destacan en ambos cortes con un promedio de 1749,75 kg por hectárea en el primer corte y 1914,35 kg por hectárea en el segundo corte, siendo iguales estadísticamente los tratamientos.

Tabla 5

Análisis de varianza de la Rendimiento de Materia Seca por hectárea

Corte 1				Corte 2			
P1	P2	P3	CV	P1	P2	P3	CV
100%	85%	80%	(%)	100%	85%	80%	(%)
p = 0.03				p = 0.049			
Media	493,04	443,56	470,30	Media	555,78	504,56	534,72
	A	B	AB		A	B	AB
			4,49				4,78

Como se visualiza en la tabla 5 en relación al rendimiento en materia seca por hectárea, se presentó la existencia de variaciones significativas ($p < 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 100% de la ETc presentó el superior promedio con 493,04 kg por hectárea en el primer corte y 555,78 kg por hectárea en el segundo corte, y el inferior promedio la lámina del 85% con 443,56 kg por hectárea en el primer corte y 504,56 kg por hectárea en el segundo corte, siendo estadísticamente diferentes los tratamientos.

Es proporcional el rendimiento en materia verde del pasto Mombaza por hectárea, en relación a la cantidad de agua aplicada deficitariamente, observándose que en ambos cortes de igualación al reducir sus láminas de riego al 85% y 80% del valor del ETc, su rendimiento será igual que al reponer su lámina total de riego, permitiéndole a la planta desarrollarse sin disminuir su producción; en cuanto a la producción de materia seca por hectárea, al disminuir sus láminas de riego la planta empieza a tener rendimientos diferentes por hectárea.

Donde los resultados poseen igual orden de magnitud con el rendimiento en Materia Verde y Materia Seca según lo señalado por Ramírez *et al.* (2010), indicando que cada 22 días se obtuvo una producción promedio de 1100 kg por hectárea en materia verde, y de 650 kg por hectárea en Materia Seca; el comportamiento de los resultados concuerda con lo indicado por León *et al* (2018), señalando que el rendimiento en materia verde y seca es proporcional al agua aplicada al cultivo.

La determinación de la productividad hídrica del pasto Mombaza a través del desarrollo del cultivo, se hizo en relación al número de hojas por macollo, al área foliar, a la producción en materia seca, y a la eficiencia en el uso del agua en cuanto a materia verde y materia seca.

Tabla 6*Análisis de varianza de la Hojas por Macollo*

	Corte 1					Corte 2			
	P1	P2	P3	CV		P1	P2	P3	CV
	100%	85%	80%	(%)		100%	85%	80%	(%)
	p = 0.16					p = 0.17			
Media	249	219	214	11,07	Media	270	238	233	11,09
	A	A	A		A	A	A	A	

Como se observa en la tabla 6, el análisis del área foliar no presentó variaciones significativas ($p > 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 100% se destaca con un valor de 249 unidades por macollo en el primer corte y de 270 unidades por macollo en el segundo corte, siendo estadísticamente iguales los tratamientos en ambos cortes.

Tabla 7*Análisis de varianza de la Área Foliar*

	Corte 1					Corte 2			
	P1	P2	P3	CV		P1	P2	P3	CV
	100%	85%	80%	(%)		100%	85%	80%	(%)
	p = 0.25					p = 0.0002			
Media	1975,14	1718,66	1534,00	19,86	Media	847,55	1558,14	1614,20	17,76
	A	A	A		B	A	A		

Como se observa en la tabla 7 en relación del área foliar, no se presentó la existencia de variaciones significativas ($p > 0.05$) en el primer corte, y en el segundo corte si se presentó la existencia de variaciones significativas ($p < 0.05$), donde la lámina de riego al 100% de la ETc se destaca con el mayor promedio con un valor de 1975,14 cm², siendo estadísticamente iguales los tratamientos en el primer corte; después del segundo corte la lámina de riego al 80% de la ETc

presentó el mayor promedio con 1614,20 cm², y el inferior promedio lo presentó la lámina de riego al 100% con 847,55 cm², siendo estadísticamente diferentes los tratamientos.

Tabla 8

Análisis de varianza de la Materia Seca

Corte 1				Corte 2			
P1	P2	P3	CV	P1	P2	P3	CV
100%	85%	80%	(%)	100%	85%	80%	(%)
p = 0.0002				p = 0.0001			
Media	27,83	30,10	32,60	Media	29,10	31,52	34,13
	C	B	A		C	B	A
			3,21				2,81

Como se observa en la tabla 8, el porcentaje de área seca en una muestra de 100 gr de pasto Mombaza presentó la existencia de variaciones significativas ($p < 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 80% de la ETc presentó el superior promedio con un valor de 32,60% en el primer corte y 34,13% en el segundo corte, y el inferior promedio lo presentó la lámina del 100% con 27,83% en el primer corte y 29,10% en el segundo corte, siendo estadísticamente diferentes los tratamientos en ambos cortes.

Tabla 9

Análisis de varianza de la eficiencia del uso de agua en Materia Verde

Corte 1				Corte 2			
P1	P2	P3	CV	P1	P2	P3	CV
100%	85%	80%	(%)	100%	85%	80%	(%)
p = 0.870				p = 0.875			
Media	0,01875	0,01899	0,01823	Media	0,01745	0,01790	0,01718
	A	A	A		A	A	A
			11,11				11,13

Como se observa en la tabla 9, la eficiencia en el uso del agua en Materia Verde para el pasto Mombaza no presentó la existencia de variaciones significativas ($p > 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 85% de la ETc se destaca con un valor promedio de $0,01899 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el primer corte y $0,01790 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el segundo corte, siendo iguales estadísticamente los tratamientos en ambos cortes.

Tabla 10

Análisis de varianza de la eficiencia de uso del agua en Materia Seca

Corte 1					Corte 2			
P1	P2	P3	CV		P1	P2	P3	CV
100%	85%	80%	(%)		100%	85%	80%	(%)
$p = 0.0020$					$p = 0.0017$			
Media	0,0660	0,0627	0,0554	4,82	Media	0,0603	0,0563	0,0499
	A	A	B			A	A	B

Nota. Las letras “P” encima del porcentaje señalan “parcela”, su número a continuación de la letra “P” el número de la parcela, y la “p” representa la probabilidad de igualdad o diferencia.

Como se observa en la tabla 10, en función del porcentaje de eficiencia en el uso del agua en Materia Seca se presentó la existencia de variaciones significativas ($p < 0.05$) en el primer y segundo corte, donde la lámina de riego al 100% de la ETc presentó el superior promedio con un valor de $0,0660 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el primer corte y $0,0603 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el segundo corte, y el inferior promedio lo presentó la lámina de riego al 80% con $0,0554 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el primer corte y $0,0499 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el segundo corte, siendo estadísticamente diferentes los tratamientos en ambos cortes.

En relación del agua aplicada deficitariamente al pasto Mombaza con su desarrollo fisiológico, se observa que al reponer una lámina del 85% y 80% del ETc, su producción en hojas por macollo es estadísticamente igual que al reponer su lámina total; en lo que respecta al

área foliar se observa una igualdad estadística en el primer corte, pero en el segundo corte hay una con la lámina del 100%; y en función del porcentaje de área seca por tratamiento se tuvo una relación, señalando que a mayor agua repuesta será menor su producción en materia seca.

Resultados que concuerdan con lo mencionado por Carrillo (2017), indicando que la producción de hojas dependerá de los macollos de la planta en cada metro cuadrado, que influye en su tamaño de área foliar y su producción en materia seca por el agua repuesta a la planta.

En cuando a la eficiencia en el uso del agua en materia verde se dio una igualdad estadística al reponer una lámina de riego al 80%, 85% y 100% del ETc, y en cuanto la eficiencia en el uso del agua en materia seca se dio una igualdad estadística al reponer una lámina de riego al 85% y 100%, lo cual no sucedía al reponer una lámina del 80% de la ETc. Siendo factible generar una programación de riego considerando una reposición de lámina deficitaria del 85% del ETc garantizando al cultivo aprovechar el agua sin reducir su producción. Lo cual concuerda con lo indicado por Palacios *et al* (2020), quien señala que la eficiencia con respecto al uso del agua mejorará la productividad del pasto, generando mayor materia seca que agua transpirada.

Tabla 11

Láminas de riego promedios repuestas al cultivo en cada corte.

	Riego 100% (mm)	Riego Deficitario 85% (mm)	Riego Deficitario 80% (mm)
Corte 1	3,26	2,77	2,60
Corte 2	3,67	3,12	2,94

Como se mostró en la tabla 11, se repuso el agua al pasto en relación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) en porcentajes del 100%, 85% y 80% de forma diaria, ayudado de probetas para su reposición de forma manual.

Tabla 12

Programación de riego del Pasto Mombaza

Meses	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	P (mm)	Pe (mm)		RAD (mm)	LN (mm)	RL	LT (mm)
					MES	DÍA				
Noviembre	2,86	1,26	3,06	-	-	-				
Diciembre	2,72	1,26	2,91	-	-	-	70,42	21,13	0,06	29,96
Enero	2,40	1,26	2,57	-	-	-				

FR (día)	FR (Días)	LN ajustada (mm)	LT ajustada (mm)	Iap (mm/horas)	Tr (horas)
5	9,80	15,30	21,75		5,74
5	10,29	14,56	20,71	3,79	5,47
5	11,66	12,85	18,28		4,83

En la tabla 12 se presentó el diseño agronómico para el pasto Mombaza mediante riego por aspersión durante la época seca, estimando una programación agronómica que considera la capacidad de campo, el punto de marchites y la densidad aparente. Se presentan las condiciones del emisor para riego por aspersión, siendo este de impacto, con un gasto de 1050 l/h, un diámetro de mojado de 25,63 m, y un espaciamiento de 16,66 m entre laterales, proporcionando un riego cada cinco días, adaptado a la frecuencia. La conductividad eléctrica de la parcela experimental fue 0.37 dS/m, con un requerimiento de lavado igual a 0.06. La lámina de riego ajustada total para el cultivo fue de 21,75 mm durante noviembre, 20,71 mm durante diciembre y 18,28 mm durante enero, con una intensidad de aplicación de 3,79 mm/h. Con tiempos de riego en cada mes de 5,74 h durante noviembre, 5,47 h durante diciembre y 4,83 h durante enero.

Conclusiones

Es proporcional la productividad del Pasto Mombaza al agua aplicada, pudiéndose generar riegos deficitarios de hasta el 85% y 80% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), y la planta podrá satisfacer sus necesidades hídricas sin reducir sus rendimientos en materia seca y materia verde por hectárea.

El riego deficitario en láminas del 85% y 80% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), no afectan la productividad hídrica del pasto Mombaza en lo que respecta a su generación de hojas por macollo y área foliar, pero a medida que se generan cortes sucesivos se incrementa la producción en materia seca.

Se puede generar una programación para el riego del pasto Mombaza durante la época seca con una lámina deficitaria de hasta el 85% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), sin tender a reducir el aprovechamiento del agua por hectárea.

Bibliografía

- AGROSEMILLAS. (2021). *Panicum maximum cv. Mombasa*. Obtenido de:
<https://agrosemillas.com.co/producto/panicum-maximum-cv-mombasa/>
- Alencar, C., Cunha, F., Martins, C., Cóser, A., Rocha, W., Araújo, y R. (2009). *Riego de pastos: actualidad y recomendaciones de uso y manejo*. Obtenido de Revista Brasileña de Zootecnia: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300012>
- BANCO MUNDIAL. (11 de febrero de 2020). *El agua en la agricultura*. Obtenido de:
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>
- Carrazón, J. (2018). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>
- Carrillo, O. (2017). *Pasto Mombaza, Panicum maximum Jacq.* Obtenido de:
http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/2017/09/doctecnica_mombaza.pdf
- Chavarría, J., Pilaló, W., González, C., y Párraga, L. (2017). *Restricción del riego en la producción de biomasa del pasto Pennisetum sp.* Obtenido de Ciencia y Tecnología: <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.212>
- De La Roza, B., Martínez, A., y Argumentaría, A. (2002). *Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis*. Obtenido de Metodología de Secado, Pág. 94:
<http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1308>

- Farías, J. (2021). *Influencia de diferentes programaciones de riego sobre cortes sucesivos de pasto King Grass morado*. (Tesis de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Fernández, A. (2012). *El agua, un recurso esencial*. Obtenido de Química Viva, Pág. 148:
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Food and Agricultura Organization [FAO]. (2008). *Evapotranspiración del cultivo*,8. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Gómez, C. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas. En W. Visión*. Obtenido de El Salvador:
<http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1158>
- GOOGLE EARTH. (2023). *Ubicación geográfica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí (PUCEM) Campus Chone*. Obtenido de:
<https://earth.google.com/web/@-0.63099404,-80.03701319,32.01283979a,477.53869495d,35y,0h,0t,0r>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2023). *Publicaciones metereológica*. Obtenido de Biblioteca INAMHI: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). *Panorama Agro estadísticos*. Obtenido de: <file:///C:/Users/Pc/Downloads/pastoscultivados.pdf>.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Uso eficiente del agua en la agricultura con fines de conservación*. Obtenido de:

https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3127?fbclid=IwAR1mEg9S2XO8qBiK3gkBZ4Gz8RHhbbYPPGG5V-pyUGOjgPKx_Ov3cagwssLc

Ministerio del Ambiente, Agua y transición ecológica. (23 de diciembre de 2022). *Plan Nacional de Riego y drenaje 2021-2026*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE-2021-2026-PARA-PUBLICAR.pdf>

Muñoz, D. (2022). *Influencia de dos volúmenes de agua por debajo de la evapotranspiración del cultivo sobre cortes sucesivos de pasto Mombaza (Panicum máximum cv. Momboza)*. (Tesina de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.

Naciones Unidas. (26 de noviembre de 2020). *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático*. Obtenido de Cambio climático y medioambiente: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

Palacios, E., Palacios, L., y Espinoza, J. (2020). *Evaluación de la eficiencia del uso del agua en la agricultura apoyada por imágenes satelitales*. Obtenido de tecnología y ciencias del agua, Scielo: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-02>

Ramírez, O., Hernández, A., Carneiro, S., Pérez, J., Jacana, S., Castro, R., y Enríquez, J. (2010). *Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto Mombaza cosechado a diferentes intervalos de corte*. Obtenido de Universidad Autónoma de Yucatán México: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93913070011.pdf>

- Reyes, J. (2021). *Estimación del consumo hídrico del pasto King Grass morado sometido a cosechas sucesivas*. (Tesina de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Baile, D., Merizalde, M., Reyes, D., Viera, M., y Heredia, M. (2020). *Cambio Climático según académicos ecuatorianos, percepciones versus hechos. La Granja*. Obtenido de: <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- Urquijo, J. (2016). *Cálculo del área foliar con Petiole*. Obtenido de Greenapps&web: <https://www.greenappsandweb.com/android/area-de-las-hojas-petiole/>
- Vásquez, L. (1999). *Evaluación agroeconómica del suelo de tensiómetros en la determinación del momento de riego en la producción de melón bajo invernadero en*. Obtenido de El Zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2f37070e-5bab-4084-b4e1-118517222303/content>

Anexos

Tabla 13

Agua aplicada a cada tratamiento durante el primer corte.

DÍA	Evapotranspiración de referencia	Volumen de agua por metro cuadrado	Volumen de agua por funda	Coefficiente de cultivo	Evapotranspiración del cultivo	Riego	Riego deficitario	Riego deficitario
	ET _o mm/día	VAMC litros	VAF litros	KC	ET _c mm/día	100% ET _c	85% ET _c mm/día	80% ET _c mm/día
1	2,4	2,40	0,100	1,26	0,126	0,126	0,107	0,101
2	3,3	3,30	0,137	1,26	0,173	0,173	0,147	0,138
3	3,7	3,70	0,154	1,26	0,194	0,194	0,165	0,155
4	3,2	3,20	0,133	1,26	0,168	0,168	0,142	0,134
5	3,0	3,00	0,125	1,26	0,157	0,157	0,133	0,126
6	3,1	3,10	0,129	1,26	0,162	0,162	0,138	0,130
7	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
8	3,5	3,50	0,145	1,26	0,183	0,183	0,156	0,147
9	2,6	2,60	0,108	1,26	0,136	0,136	0,116	0,109
10	3,5	3,50	0,145	1,26	0,183	0,183	0,156	0,147
11	2,2	2,20	0,091	1,26	0,115	0,115	0,098	0,092
12	2,8	2,80	0,116	1,26	0,147	0,147	0,125	0,117
13	2,3	2,30	0,096	1,26	0,120	0,120	0,102	0,096
14	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
15	3,5	3,50	0,145	1,26	0,183	0,183	0,156	0,147
16	2,4	2,40	0,100	1,26	0,126	0,126	0,107	0,101
17	2,3	2,30	0,096	1,26	0,120	0,120	0,102	0,096
18	2,4	2,40	0,100	1,26	0,126	0,126	0,107	0,101
19	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
20	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
21	3,1	3,10	0,129	1,26	0,162	0,162	0,138	0,130
22	2,2	2,20	0,091	1,26	0,115	0,115	0,098	0,092
23	2,3	2,30	0,096	1,26	0,120	0,120	0,102	0,096
						3,26	2,77	2,60

Tabla 14

Agua aplicada a cada tratamiento durante el segundo corte.

DÍA	Evapotranspiración de referencia	Volumen de agua por metro cuadrado	Volumen de agua por funda	Cofici ente de cultivo	Evapotrans -piración del cultivo	Riego	Riego deficitario	Riego deficitario
	ET _o	VAMC	VAF	KC	ET _c	100% ET _c	85% ET _c	80% ET _c
	mm/día	litros	litros		mm/día		mm/día	mm/día
1	3,3	3,30	0,137	1,26	0,173	0,173	0,147	0,138
2	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
3	3,6	3,60	0,150	1,26	0,188	0,188	0,160	0,151
4	2,7	2,70	0,112	1,26	0,141	0,141	0,120	0,113
5	3,2	3,20	0,133	1,26	0,168	0,168	0,142	0,134
6	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
7	2,3	2,30	0,096	1,26	0,120	0,120	0,102	0,096
8	2,7	2,70	0,112	1,26	0,141	0,141	0,120	0,113
9	2,3	2,30	0,096	1,26	0,120	0,120	0,102	0,096
10	3,7	3,70	0,154	1,26	0,194	0,194	0,165	0,155
11	4,6	4,60	0,191	1,26	0,241	0,241	0,205	0,193
12	4,4	4,40	0,183	1,26	0,230	0,230	0,196	0,184
13	2,2	2,20	0,091	1,26	0,115	0,115	0,098	0,092
14	3,7	3,70	0,154	1,26	0,194	0,194	0,165	0,155
15	2,5	2,50	0,104	1,26	0,131	0,131	0,111	0,105
16	4,1	4,10	0,170	1,26	0,215	0,215	0,182	0,172
17	2,1	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
18	2,8	2,80	0,116	1,26	0,147	0,147	0,125	0,117
19	2,9	2,90	0,120	1,26	0,152	0,152	0,129	0,121
20	2,2	2,20	0,091	1,26	0,115	0,115	0,098	0,092
21	2	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
22	2,2	2,10	0,087	1,26	0,110	0,110	0,093	0,088
23	2	2,00	0,083	1,26	0,105	0,105	0,089	0,084
						3,26	2,77	2,60

Tabla 15*Datos climatológicos durante el mes de noviembre del 2022.*

Noviembre						
FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Horas Sol
15/11/22	0,00	28,00	19,20	78	1,50	0,40
16/11/22	0,00	32,00	19,00	86	0,99	5,00
17/11/22	0,00	31,20	19,20	79	0,99	6,30
18/11/22	0,00	32,40	19,20	79	0,99	4,29
19/11/22	0,00	32,30	19,04	80	0,99	3,20
20/11/22	0,00	31,80	18,20	80	1,50	3,47
21/11/22	0,00	29,80	19,20	88	1,50	0,00
22/11/22	0,00	33,40	19,00	87	1,50	5,17
23/11/22	0,00	31,20	19,20	87	0,99	1,88
24/11/22	0,00	32,80	18,40	85	2,99	5,05
25/11/22	0,00	29,60	20,00	86	1,50	0,12
26/11/22	0,00	29,40	20,00	79	2,24	1,35
27/11/22	0,00	30,00	20,20	88	1,50	0,76
28/11/22	0,00	27,80	20,00	89	1,50	0,70
29/11/22	0,00	33,20	19,20	79	0,99	5,05
30/11/22	0,00	29,80	20,00	84	1,50	0,76
PROMEDIO	0,04	30,08	17,67	82	1,45	2,72

Tabla 16*Datos climatológicos durante el mes de diciembre del 2022.*

Diciembre						
FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Horas Sol
1/12/2022	0,00	27,00	20,00	80	1,50	0,00
2/12/2022	0,00	30,00	20,00	89	1,49	1,47
3/12/2022	0,00	30,00	20,00	96	0,99	0,73
4/12/2022	0,00	29,00	20,00	83	0,99	0,00
5/12/2022	0,00	32,80	20,00	79	0,99	3,52
6/12/2022	0,00	27,80	20,00	79	1,50	0,00
7/12/2022	0,00	28,60	20,00	84	1,50	0,47
8/12/2022	0,00	31,00	20,00	80	1,50	4,30
9/12/2022	0,00	31,00	20,00	85	0,00	0,70
10/12/2022	0,00	33,20	20,00	77	1,50	4,80
11/12/2022	0,00	30,00	20,20	79	0,99	2,00
12/12/2022	0,00	32,00	20,00	88	1,50	5,00
13/12/2022	0,00	26,80	20,00	87	1,50	0,00
14/12/2022	0,00	31,20	20,20	88	0,99	1,18
15/12/2022	0,00	30,00	18,40	84	1,50	2,12
16/12/2022	0,00	30,00	19,00	82	1,50	0,94
17/12/2022	0,00	32,20	19,00	83	0,99	6,70
18/12/2022	0,00	32,40	19,20	72	0,99	9,64
19/12/2022	0,00	31,40	20,00	83	0,99	9,64
20/12/2022	0,00	30,00	20,00	84	0,99	0,59
21/12/2022	0,00	32,20	20,20	73	1,99	4,50
22/12/2022	0,00	32,20	20,40	83	0,99	1,47
23/12/2022	0,00	32,40	19,20	73	0,99	7,58
24/12/2022	0,00	28,40	20,20	85	0,99	0,00
25/12/2022	0,00	31,00	21,20	81	0,99	2,50
26/12/2022	0,00	29,00	21,20	86	1,50	3,50
27/12/2022	0,00	29,20	19,20	82	0,99	0,00
28/12/2022	0,00	30,20	21,00	85	0,99	3,50
29/12/2022	0,00	29,20	21,20	83	0,99	0,00
30/12/2022	0,00	28,00	20,20	86	0,99	0,00
31/12/2022	0,00	31,00	21,20	83	0,99	0,00
PROMEDIO	0,04	30,30	20,04	82	1,17	2,48

Tabla 17

Datos climatológicos durante el mes de enero del 2023.

Diciembre						
FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Horas Sol
01/01/2023	0,00	33,00	20,00	63	0,99	7,80

Tabla 18

Factor de agotamiento

Cultivo	f	Cultivo	f
Alfalfa.....	0,60	Limonero.....	0,25
Aguacate.....	0,30	Maíz grano.....	0,40
Apio.....	0,15	Melón cantaloupe.....	0,20
Brécol.....	0,30	Naranja.....	0,35
Caña de azúcar.....	0,60	Patata.....	0,30
Cebolla.....	0,30	Platanera.....	0,30
Cebolla maduración.....	0,40	Prados.....	0,35
Coliflor.....	0,45	Remolacha.....	0,50
Fresa.....	0,10	Repollo.....	0,35
frutales hoja caduca.....	0,40	Gramíneas.....	0,30
Guisantes de verdeo.....	0,25	Tomate.....	0,45
Judía.....	0,50	Viñedo.....	0,55
Lechuga.....	0,35	Zanahoria.....	0,40

Tabla 19*Profundidad efectiva de las raíces para distintos cultivos*

Aguacate.....	0,9 - 1,0
Alfalfa.....	0,9 - 1,2
Algodón.....	0,8 - 1,2
Almendro.....	0,9 - 1,2
Batata.....	0,6 - 0,9
Berenjena.....	0,5 - 0,6
Cacahuete.....	0,9 - 1,0
Café.....	0,9 - 1,2
Caña de azúcar.....	1,0 - 1,1
Cebada.....	0,6 - 1,0
Cebolla.....	0,4 - 0,5
Ciruelo.....	0,9 - 1,0
Cítricos.....	0,9 - 1,0
Clavel.....	0,3 - 0,4
Fresa.....	0,3 - 0,5
Fréjol.....	0,5 - 0,8
Frutales de hoja caduca.....	1,0 - 1,2
Girasol.....	0,9 - 1,0
Guisantes.....	0,6 - 0,9
Lechuga.....	0,3 - 0,4
Leguminosas grano.....	0,5 - 1,0
Maiz grano.....	0,8 - 1,2
Maiz verde.....	0,8 - 1,2
Manzano.....	0,9 - 1,0
Melocotonero.....	0,9 - 1,0
Melón.....	0,8 - 1,0
Nogal.....	1,1 - 1,2
Olivo.....	0,9 - 1,1
Palmera.....	0,8 - 0,9
Patata.....	0,4 - 0,8
Pepino.....	0,6 - 0,9
Peral.....	0,8 - 1,1
Pimiento.....	0,4 - 0,8
Piña.....	0,4 - 0,6
Plátano.....	0,9 - 1,2
Praderas.....	0,6 - 1,0
Remolacha azucarera.....	0,6 - 1,0
Soja.....	0,6 - 1,0
Sorgo para grano.....	0,8 - 0,9
Gramíneas.....	0,6 - 0,9
Tomate.....	0,4 - 1,0
Trébol.....	0,7 - 0,9
Trigo.....	0,6 - 1,2
Víñedo.....	0,8 - 0,9
Zanahoria.....	0,4 - 0,5

Tabla 20

Conductividad eléctrica de los diferentes sustratos de suelo

Disminución de rendimiento		0%	10%	25%	50%	100%
<i>Cultivos extensivos</i>		Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m)				
Algodón		7,7	9,6	13	17	27
Arroz		3,3	3,8	5,1	7,2	11
Cacahuate		3,2	3,5	4,1	4,9	6,6
Caña de azúcar		1,7	3,4	5,9	10	19
Cártamo		5,3	6,2	7,6	9,9	14,5
Cebada		8	10	13	18	28
Habas		1,6	2,6	4,2	6,8	12
Maíz		1,7	2,5	3,8	5,9	10
Remolacha azucarera		7	8,7	11	15	24
Soja		5,5	5,5	6,3	7,5	10
Sorgo		6,8	7,4	8,4	9,9	13
Trigo		6	7,4	9,5	13	20
Gramíneas			3,2			
<i>Cultivos hortícolas</i>						
Apio		1,8	3,4	5,8	9,9	18
Boniato		1,5	2,4	3,8	6	10,5
Brócoli		2,8	3,9	5,5	8,2	14
Calabaza		4,1	5,8	7,4	10	15
Col		1,8	2,8	4,4	7	12
Cebolla		1,2	1,8	2,8	4,3	7,4
Espinaca		2	3,3	5,3	8,6	15
Judía		1	1,5	2,3	3,6	6,3
Lechuga		1,3	2,1	3,2	5,1	9
Maíz dulce		1,7	2,5	3,8	5,9	10
Melón		2,2	3,6	5,7	9,1	16
Nabo		0,9	2	3,7	6,5	12
Patata		1,7	2,5	3,8	5,9	10
Pepino		2,5	3,3	4,4	6,3	10
Pimiento		1,5	2,2	3,3	5,1	8,6
Rábano		1,2	2	3,1	5	8,9
Remolacha		4	5,1	6,8	9,6	15
Tomate		2,5	3,5	5	7,6	13
Zanahoria		1	1,7	2,8	4,6	8,1
<i>Frutales</i>						
Aguacate		1,3	1,8	2,5	3,7	6
Albaricoquero		1,6	2	2,6	3,7	5,8
Almendra		1,5	2	2,8	4,1	6,8
Ciruelo		1,5	2,1	2,9	4,3	7,1
Frambueso		1	1,4	2,1	3,2	5,5
Fresa		1	1,3	1,8	2,5	4

Figura 2

Corte de igualación del pasto Mombaza en la parcela experimental.

**Figura 3**

Control de malezas en la parcela experimental

