



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE AGRÍCOLA

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea
mays*) BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MANABÍ**

AUTORES:

**CEVALLOS MORALES TERESA NIKOLE
MARSILLO SALVATIERRA LILIBETH RAMONA**

TUTOR:

ING. CRISTIAN SERGIO VALDIVIESO LÓPEZ, Mg.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE DE 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES, con cédula de ciudadanía **1314765858** y **LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA**, con cédula de ciudadanía **1314703370**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MANABÍ**, es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES
CC: 1314765858



LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA
CC: 1314703370

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES con cédula de ciudadanía **1314765858** y **LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA** con cédula de ciudadanía **1314703370**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MANABÍ**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES
CC: 1314765858



LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA
CC: 1314703370

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. CRISTIAN S. VALDIVIESO LÓPEZ, Mg., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MANABÍ**, que ha sido desarrollado por, **TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES y LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CRISTIAN SERGIO VALDIVIESO, Mg.Sc.
CC: 1717929283
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MANABÍ**, que ha sido desarrollado por **TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES** y **LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AGRÍCOLA** de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

ING. LENIN VERA MONTENEGRO, Ph.D.
CC:1309126462
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. JOSÉ REYNA BOWEN, Ph.D.
CC:1309899407
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. ANGEL CEDEÑO SACÓN, Mg.Sc.
CC: 1310353121
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento eterno a Dios por habernos bendecido al cumplir uno de nuestros sueños de tener una carrera profesional.

A nuestros amados padres un agradecimiento eterno por el apoyo brindado durante el transcurso de la carrera.

Agradecemos a nuestra familia por el apoyo incondicional a través de nuestra formación académica.

De manera especial, al master Cristian Valdivieso López tutor de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado.

A nuestros catedráticos en todo el curso de nuestra carrera como profesionales por impartirme sus conocimientos en los predios universitarios.

De manera especial, al master Lenin Verá quien ha sido un ángel para nosotras como estudiantes, aún sin ser nuestro tutor nos ha sabido guiar con su paciencia como docente, por sus acertadas recomendaciones para el desarrollo de nuestro proyecto.

Finalmente expresamos nuestra gratitud a la Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí "MFL", por abrirnos las puertas y darnos la oportunidad de una educación superior de calidad en la cual he forjado mis conocimientos profesionales.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mis padres Teresa Morales y Wilson Cevallos por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por animarme en todo momento a seguir adelante en cada uno de mis proyectos, por infundir buenos consejos y valores que me llevaron por el camino de lo correcto y justo.

A mi pareja sentimental Cristian Cedeño por ser el apoyo constante e incondicional, el que me motiva a cumplir todo lo que me proponga, a mi pequeña hija Emily por ser mi motivación constante.

A mis hermanos que han estado a mi lado compartiendo mis alegrías y tristezas, estando prestos a cualquier problema que se presente, y a todas aquellas personas que admiro; que son fuente de inspiración para seguir por el sendero de la vida.

A mis dos grandes amigos Lilibeth y César por ser las personas que también han creído en mí, les agradezco por todos los momentos vividos, en la cual hemos pasado por tantas cosas para lograr este éxito.

TERESA NIKOLE CEVALLOS MORALES

DEDICATORIA

A Dios mi padre celestial, que ha forjado mi camino guiando cada paso que doy y siempre me ha levantado en mis continuos tropiezos.

Con amor y dedicación a mis amados padres el Sr. Ney Marsillo y la Sra. Yenny Salvatierra por siempre brindarme su apoyo y amor incondicional, por sus bendiciones que me han protegido, pues sin ustedes no lo habría logrado.

A mi compañero de vida Carlos Echeverría, por ser mi apoyo incondicional durante toda esta aventura universitaria, quien con sus consejos me motivo a seguir y a no decaer ante cualquier situación difícil.

A mis hermanos por confiar en mí y ser parte de este logro alcanzado, en especial a mi hermano Ney gracias no solo por apoyarme en gran manera a concluir con mis estudios.

A mi abuelita terrenal y celestial que con sabiduría de Dios me enseñaron a ser quien soy hoy por hoy.

A mis tías las señoritas Rocio y Ramona que con su presencia, respaldo y cariño me impulsaron a seguir con mi meta, y de manera especial a mi tía Rocio quien me acompañó todo este tiempo en mi desarrollo de tesis quien con su compañía me sentía segura y feliz

LILIBETH RAMONA MARSILLO SALVATIERRA

CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
CONTENIDO	ix
RESUMEN	xiv
PALABRAS CLAVE	xiv
ABSTRACT	xv
KEY WORDS	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 MAÍZ (<i>Zea mays</i>)	5
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIBRIDO DE MAÍZ DASS 3383	5
2.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL MAÍZ	6
2.2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	6
2.2.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA	6

	x
2.2.2.1 RAÍCES	6
2.2.2.2 TALLO	6
2.2.2.3 HOJAS	7
2.2.2.4 INFLORESCENCIA	7
2.2.2.5 GRANO	7
2.3. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA	7
2.5 RIEGO POR GOTEO	9
2.6 SECTORES DE UN SISTEMA DE RIEGO	10
2.7 DOSIS DE RIEGO	11
2.8 EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RIEGO	11
2.9 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	12
2.10 ÁREA FOLIAR	13
2.11 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA	13
2.12 MODELO MOPECO	14
2.13 OPTIMIZED REGULATED DEFICIT (ORDI)	14
2.14 SECADO PARCIAL DE RAÍCES (PRD)	15
2.15 TMY (AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO)	16
2.16 EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)	17
2.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (ET _c)	17
2.18 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET _o)	18
2.19 COEFICIENTE DE CULTIVO (K _c)	18
2.20 COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD (K _y)	19
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	20
3.1 UBICACIÓN	20
3.2 DURACIÓN DEL TRABAJO	20
3.3. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS	20
3.4 MATERIAL VEGETAL	21

3.5 DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL	21
3.5.1 FACTOR EN ESTUDIO	21
3.5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
3.5.3 TRATAMIENTOS	21
3.5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	22
3.5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
3.5.6 ANÁLISIS FUNCIONAL	22
3.6 MANEJO DE LOS TRATAMIENTOS	22
3.6.1 TRATAMIENTO 1	22
3.6.2 TRATAMIENTO 2	23
3.6.3 TRATAMIENTO 3 Y 4	23
3.6.4 TRATAMIENTO 5 Y 6	23
3.7 VARIABLES RESPUESTA	24
3.7.1 ALTURA DE LA PLANTA	24
3.7.2 BIOMASA	24
3.7.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA	24
3.7.4 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO	24
3.7.5 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	24
3.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	25
3.9 ESQUEMA DE LOS TRATAMIENTOS	26
3.10 MANEJO DEL CULTIVO	26
3.10.1 PREPARACIÓN DEL SUELO	26
3.10.2 SIEMBRA	26
3.10.3 CONTROL DE MALEZAS	27
3.10.4 RIEGO	27
3.10.5 FERTILIZACIÓN	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

4.1 ALTURA DE LA PLANTA	29
4.2 BIOMASA	30
4.2.1 BIOMASA DE LA RAÍZ	30
4.2.2 BIOMASA DE LA HOJA	31
4.2.3 BIOMASA DEL TALLO	32
4.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA	33
4.4 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO	34
4.5 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	36
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1 CONCLUSIONES	37
5.2 RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	46

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 3.1. Datos de condiciones climáticas	21
Cuadro 3.2. Tratamientos	22
Cuadro 3.3. Esquema ADEVA	22
Cuadro 3.4. Esquema de los tratamientos	26
Cuadro 3.5. Plan de fertilización para maíz amarillo duro	28
Cuadro 3.6. Cantidad de fertilizante a aplicarse por planta y fracción	28
Cuadro 3.7. Costo de la fertilización	28

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un sistema de riego	10
Figura 2. Área del ensayo	20
Figura 3. Altura de la planta de los tratamientos en estudio	29
Figura 4. Biomasa de la raíz de los tratamientos en estudio	30
Figura 5. Biomasa de la hoja de los tratamientos en estudio	31
Figura 6. Biomasa del tallo de los tratamientos en estudio	32
Figura 7. Conductancia estomática de los tratamientos	34
Figura 8. Contenido volumétrico de agua en el suelo	35
Figura 9. Productividad del agua	36

RESUMEN

Los problemas que más agobia la humanidad es la falta de agua; lo cual ha motivado crear nuevas tecnologías de riego con el propósito de incrementar la eficiencia en el uso del agua y un menor consumo energético. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento fisiológico del cultivo de maíz híbrido DASS 3383, bajo 3 métodos de riego deficitario, se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) realizando 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, T1: Tratamiento sin déficit, T2: ORDI (Riego deficitario optimizado por etapas) 50 % de las necesidades de riego (Nr), T3 ORDI 50 % Nr + PRD 1 semana, T4 ORDI 50 % Nr + PRD 2 semanas, T5 ORDI 50 % Nr 1 semana, T6: ORDI 50 % Nr 2 semana; conformando 24 unidades experimentales, la cual se evaluaron las siguientes variables: altura de la planta, biomasa (raíz, hoja y tallo), conductancia estomática, humedad y productividad del agua; entre los resultados relevantes, se obtuvo que el T1 presentó el mayor promedio de: altura de la planta (240,55 cm), conductancia estomática (220,58 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y mayor contenido volumétrico de agua en el perfil del suelo; la metodología con Secado Parcial de Raíces (PRD) al 50%, durante una semana (T5), alcanzó la mayor productividad del agua con un valor promedio de 59,75 Kg/mm; los métodos de riego deficitario aplicados en los tratamientos 6, 4 y 5 permitieron obtener el mayor peso de biomasa radicular con valores de 1,20, 1,18 y 1,08 g respectivamente.

PALABRAS CLAVE

Riego, deficitario, MOPECO, ORDI, PRD

ABSTRACT

The problems that most overwhelm humanity is the lack of water; which has motivated the creation of new irrigation technologies with the purpose of increasing the efficiency in the use of water and lower energy consumption. The objective of this research is to evaluate the physiological behavior of the DASS 3383 hybrid maize crop, under 3 deficit irrigation methods, a completely randomized block design (DBCA) was applied, performing 6 treatments with 4 repetitions each, T1: Treatment without deficit, T2: ORDI (Optimized Deficit Irrigation by Stages) 50% of irrigation needs (Nr), T3 ORDI 50% Nr + PRD 1 week, T4 ORDI 50% Nr + PRD 2 weeks, T5 ORDI 50% Nr 1 week , T6: ORDI 50% Nr 2 weeks; forming 24 experimental units, which evaluated the following variables: plant height, biomass (root, leaf and stem), stomatal conductance, humidity and water productivity; among the relevant results, it was obtained that T1 presented the highest average of: plant height (240.55 cm), stomatal conductance (220.58 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$) and higher volumetric water content in the soil profile; the methodology with Partial Root Drying (PRD) at 50%, for one week (T5), reached the highest water productivity with an average value of 59.75 Kg/mm; the deficit irrigation methods applied in treatments 6, 4 and 5 allowed to obtain the highest root biomass weight with values of 1.20, 1.18 and 1.08 g respectively.

KEY WORDS

Deficit, irrigation, MOPECO, ORDI, PRD

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La habitual falta de agua en América latina y el Caribe, provocada por el cambio climático, las sequías extensas y el incremento ininterrumpido de la población humana, causa problemas entre poblaciones por el manejo y uso del agua (Yáñez y Villacís, 2016).

El calentamiento global y los acontecimientos naturales de las recientes épocas ponen en situaciones de riesgo a la agricultura universal, principalmente al cultivo de maíz, el cual es uno de los principales cultivos de mayor predominancia desde los aspectos social, económico y alimenticio (Munguía *et al.*, 2015).

Villalobos *et al.* (2017) manifiesta que la escasez de agua se manifiesta en distintas etapas del periodo del cultivo, la sequía ocasiona estrés hidrológico en la fase de desarrollo de plántula y disminuye el establecimiento del cultivo, en fases fenológicas desarrolladas, el estrés es capaz de alterar el crecimiento del área foliar y la fotosíntesis.

Los autores anteriores manifiestan que, si la sequía se expresa anticipadamente a la floración o en las épocas de floración y llenado del grano, el déficit hídrico disminuye el rendimiento de mazorcas y granos durante las dos semanas de la floración, esto se da por la pérdida en la tasa de fotosíntesis, mientras se realiza el llenado del grano y una acelerada inducción de la senescencia de las hojas.

Olguín *et al.* (2017) mencionan que los cultivares de maíz están fuertemente ligados al procedimiento de las lluvias y la carencia de agua que hace mayor efecto en el incremento del grano cuando ocurre la floración.

El estrés hídrico altera principalmente las funciones y procesos vitales de la planta, destacando en la reducción del desarrollo celular síntesis de proteína y formación de proto clorofila, entre otros; esta observación se da por la reacción inmediata del cierre estomático y la restricción de la conductividad hidráulica en el xilema, además expresan diferentes efectos visibles con el tiempo, como la

regularización del crecimiento del órgano, uno de ellos es las raíces, hojas y la reducción del rendimiento.

En nuestro país la utilización del riego es usado principalmente por metros cúbicos, pese a que, se aplica en circunstancia ineficaz, el mal uso que le dan al agua de riego se puede analizar a través de las partes del sistema, desde la obtención hasta la utilización en el cultivo de maíz (Nieto *et al.*, 2018).

Según la ESPAC (2015) citado por Pino (2017), alrededor de 5,67 millones de hectáreas a nivel nacional son destinadas a la labor agrícola; Manabí es una provincia que, destacada por su mayor superficie de labor agropecuaria, liderando con un 19,40% al resto de las provincias a nivel nacional, la falta de lluvia y un adecuado sistema de riego han ocasionados grandes problemas de sequias en muchos Cantones de Manabí en donde se cultiva el maíz, situación que ha generado inconvenientes económicos principalmente a los pequeños y medianos productores, esto a la vez ha provocado problemas de productividad en el país.

Por lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente interrogante ¿La aplicación de métodos de riego deficitario afecta el comportamiento fisiológico del cultivo de maíz bajo condiciones climáticas de Manabí?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la producción de maíz a nivel mundial es más grande que cualquier otro cereal; por lo tanto, es el cultivo con mayor importancia económica; anualmente la producción de maíz es de 850 millones de toneladas en grano que se cultiva en una superficie de 162 millones de hectáreas, con una producción promedio de 5.2 t/ha; los más grandes productores de maíz son EEUU y China con una producción de 37 y 21% de la totalidad mundial respectivamente (YARA, 2022).

Según Albán *et al.* (2021) el maíz en el Ecuador es el principal cultivo transitorio, debido a que representa el componente básico en la alimentación de la mayoría de la población; además representa una alternativa de producción

económicamente rentable, por la infinidad de usos, sobre todo en la industria de alimentos y balanceados.

Asimismo, Hernández (2019) manifiesta que el maíz es un cultivo de suma importancia en el Ecuador, debido al rol significativo que cumple este cereal en la seguridad alimentaria de la población, además indica que el 80% de la producción el maíz amarillo duro es destinado a la elaboración de alimento balanceado; la mayor producción de este cereal se produce generalmente en la región litoral y es el primer cultivo transitorio en relación con la superficie sembrada (300.000 ha).

Lozano (2018) expresa que, el agua conforma un componente de gran importancia y desempeña un papel importante en la transformación y en las etapas naturales de la tierra, además considera que el uso adecuado del agua en las labores agrícolas es uno de los elementos más esenciales para poder garantizar la productividad alimenticia y las actividades de laboreo de las familias ecuatorianas que se encuentran relacionadas con el sector agropecuario.

La producción del agua es importante como una medida sólida para establecer la suficiencia de los sistemas agrícolas de transformar el agua en sustentos, no obstante, la resolución de tal idea en los procedimientos se usa como un instrumento de diagnósticos para verificar la eficacia del uso del agua en los sistemas agrícolas y para introducir una percepción firme a fin de establecer la ocasión de gratificación de agua en los valles, con la finalidad de desarrollar una mejor producción agraria del agua (Ríos *et al.*, 2016).

La importancia hídrica es la principal limitante para el comportamiento fisiológico del cultivo de maíz, ya que se obtienen desarrollos favorables de la planta, elevados potenciales de producción de biomasa y rendimiento, es por eso que la optimización de riego es de gran beneficio para el cultivo de maíz, debido a que este recurso es indispensable para el normal desarrollo o crecimiento de la planta.

Cabe destacar que el área donde se desarrolla el presente trabajo de titulación tiene influencia del Sistema de Riego Carrizal-Chone; el cual fue diseñado para

beneficiar con el riego de 13.268 ha. A más de 80 comunidades de los cantones: Bolívar, Tosagua, Chone y Junín de la provincia de Manabí; el diseño de este sistema es de alta tecnología, ya que permite que las tuberías, lleven el agua con toda la presión necesaria a las parcelas de los agricultores para la instalación de sistemas de riego presurizados como aspersión y goteo (Mendoza, 2011).

Por lo anteriormente mencionado, la aplicación del riego deficitario surge como una alternativa; la cual permite optimizar el uso del agua en los cultivos, mejorando la productividad de la misma, con el mínimo impacto en la producción.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del uso de métodos de riego deficitario sobre la fisiología del cultivo de maíz.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto fisiológico en el cultivo de maíz bajo el efecto de métodos de riego deficitario.
- Determinar el efecto del riego deficitario sobre la evolución de biomasa aérea y del área foliar.
- Analizar el efecto del riego deficitario sobre la conductancia estomática a lo largo del ciclo de cultivo.

1.4 HIPÓTESIS

Los métodos de riego deficitario influirán sobre el comportamiento fisiológico del cultivo del maíz bajo condiciones climáticas de Manabí.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 MAÍZ (*Zea mays*)

El maíz es un cultivo tradicional originario de México; fue introducido antes de cristo (a.C) en el Ecuador; generalmente se lo cultivaba en la serranía andina, desde épocas prehispánicas, anteriormente se denominaba como sara o kuri sara (Iglesias *et al.*, 2018).

Esta gramínea es una especie importante en la nutrición y cultura de centro América, también consideran al maíz como un componente importante para la soberanía y seguridad alimentaria en sus diversas maneras de empleo y técnica sociocultural, esencialmente para la zona agrícola (González *et al.*, 2017).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIBRIDO DE MAÍZ DASS 3383

Según Carrasco (2022) el híbrido DASS 3383, es un maíz de doble propósito, en la cual se aprovecha el grano y la planta como forraje, este híbrido posee una característica de grano sobresaliente, además presenta una excelente cobertura de mazorca y tiene una gran tolerancia al pregerminado del grano.

En el cuadro 2.1, se describen las características híbrido DASS 3383, las cuales son resultados promedios de varias localidades en las que se ha cultivado este híbrido; cabe destacar que estas características pueden variar debido a las condiciones ambientales y del manejo del cultivo que aplique (FarmAgro, 2020).

Cuadro 2.1. Características del híbrido DASS 3383

Ciclo	115-120 días
Altura de planta	2,25-2,35m
Altura de mazorca	1,15-1,25m
Días para floración	53-55
Rendimiento	8-10TM/ha (180-200 qq/ha)
Tolerancia a enfermedades: Tizón foliar	2,45
Curvularia	2,75
Roya	1,50
Cinta roja	1,55
Población en miles de plantas/hectárea a una distancia entre surcos de 80-85cm	62,500mil/ha

Fuente: (FarmAgro, 2020)

2.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL MAÍZ

2.2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Coral (2017), el maíz tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino:	Vegetal
División:	Tracheophita
Subdivisión:	Pterapsidae
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotiledona
Orden:	Gumiflorales-Graminales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Midaea
Género:	Zea
Especie:	<i>Zea mays</i>
Nombre común:	Maíz

2.2.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Según Coral (2017), el maíz presenta las siguientes características botánicas:

2.2.2.1 RAÍCES

La función principal de las raíces es anclarse al suelo ya que esta actividad favorece al desarrollo de la planta, extrayendo los sustratos, los nutrientes y agua ya que estos son las principales exigencias de la planta.

2.2.2.2 TALLO

Está formado por un erecto el cual tiene una forma de caña y macizo en la parte interna, aproximadamente tiene una longitud de 4 metros de altura, una de sus características que cumple es de ser robusto y vigoroso además de no presentar ninguna rama.

2.2.2.3 HOJAS

Pertenece a un órgano de la planta su crecimiento se puede dar en las ramas o en tallo, además de presentar las características de color verde, finas y delgada, unas de las principales obligaciones que realiza es la transpiración y fotosíntesis.

2.2.2.4 INFLORESCENCIA

Pertenecen a un conjunto de flores nacientes de un mismo tallo, pueden ser masculinas o femeninas que a su vez divididas dentro de la planta, la inflorescencia masculina es una panícula de coloración amarilla, mientras que la inflorescencia femenina cuando ha sido fecundada por los granos de polen se denomina mazorca.

2.2.2.5 GRANO

La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano, contiene proteínas y en su interior se halla el endospermo con el 85-90 % del peso del grano, pertenecen a un conjunto de flores nacientes de un mismo tallo, pueden ser masculinas o femeninas que a su vez divididas dentro de la planta.

2.3. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

La irrigación realiza un factor importante en el crédito de la productividad de alimentos no obstante que el uso indiscriminado ocasiona muchas problemáticas en el suelo en estos últimos años, deteriorando sus características en diferentes suelos donde se realiza labores agrícolas a nivel mundial (José *et al.*, 2015).

Según Palacios y Escobar (2016) los ecosistemas sensibles que había antes del incremento del desarrollo humano han sufrido cambios representativos debido a las actividades agrícolas en general y a las labores agrícolas de irrigación.

Siguiendo con lo que mencionan los autores, la utilización excesiva de las aguas subterráneas, esto es algunos de los problemas que es necesario dar solución para obtener un desarrollo sostenible, también que se disponga como un proceso que acepta satisfacer las necesidades de la actual generación, pero sin arriesgar

la capacidad de las futuras generaciones para complacer la igual manera sus propias necesidades.

De una diferente perspectiva funcional, la eficacia del manejo del agua es la correlación entre el costo de la utilidad producido por el agua, donde se demuestra como biomasa, productividad o dinero, con relación al agua evapotranspirada, agua potable y agua de lluvia o por sistema de riego (Chirinos, 2016).

Carvalho *et al.* (2014), asegura que el agua es el principal elemento con limitación para la producción en la agricultura a nivel global, frecuentemente es esencial la utilización del agua para las diversas actividades, en el cual se puede apreciar una considerable disminución de la propiedad del agua que se destina para el riego, este problema también se observa en territorios húmedos, la zona de labor agrícola se ha convertido limitada, solicitando a los campesinos conseguir una superior producción por parcela y dosis de agua.

2.4 RIEGO

La alta demanda de agua utilizada en la agricultura es por la aplicación de riego a los cultivos agrícolas, por este motivo es importante realizar un estudio de agua para saber si cumple con los diferentes requerimientos de la agricultura y a la vez preservar el uso adecuado del agua empleando información veraz y contemporánea (Díaz *et al.*, 2015).

Las labores agrícolas ocupan más del 70% agua disponible en el universo proveniente de los residuos del agua que muestra, puesto que en los procedimientos tecnificados se desconoce las exigencias hidrológicas de cada laboreo (Servín *et al.*, 2017).

Apaza y Blanco (2016) confirma que el riego es un componente significativo para el desarrollo de los cultivos para balancear la productividad; respectivamente, las exigencias hídricas que demanda un cultivo van relacionado con su beneficio, también, la irrigación debe ser similar a su rendimiento, para esto el agua debe ser localizada, así evitar su mal uso.

La irrigación es una agrupación de correspondencia de diferentes elementos físicos, ambientales, culturales y socioeconómicos situada en una determinada zona que utiliza el agua de modo adecuado, en dosis y calidad para conseguir el máximo rendimiento agrícola (Jim *et al.*, 2017)

En las actividades agrícolas el escurrimiento y la percolación profunda son comúnmente significativos, debido a la utilización de métodos de riego superficial donde se ocupan mayores volúmenes de agua (Sanchez y Rivera, 2018).

2.5 RIEGO POR GOTEO

Liotta (2015) describe que los sistemas de riego por goteo ayudan a trasladar el agua por medio de una red de tuberías y emplearla a los cultivos mediante de emisores que suministran limitado volúmenes de agua de manera regular, el agua es aplicada en forma de gota por medio de goteros.

Continúa manifestando que la irrigación por goteo es un sistema presurizado donde el agua se dirige y se entrega por conductos cerrados que demanda presión.

Finalmente menciona que, a partir de la perspectiva agrícola, y se conoce como riegos localizados porque mojan solo la zona del suelo que se requiere, para obtener un excelente crecimiento de un determinado cultivo.

Según Sanchez y Rivera (2018) uno de los sistemas que presenta mayor eficiencia en el uso del agua, es el método de riego por goteo; debido a que permite la reducción de malezas por ser un riego localizado y a su vez incrementa el rendimiento y mejora la calidad del producto, la función de este sistema de riego es instalar agua localizada para que cada planta absuelva de forma personal, este sistema puede estar adentro o encima del suelo.

También manifiesta que, para obtener un medio óptimo de humedad requerida en el suelo, el agua debe ser suministrada al cultivo con una alta frecuencia y baja tensión de humedad hacia el suelo.

El riego localizado disminuye el requerimiento hídrico y los valores de operación, este procedimiento de irrigación ayuda a la perfección en el uso de agua en los cultivos (Apaza y López, 2017).

Liotta (2015) menciona que el sistema de riego por goteo se constituye de los siguientes elementos.

- La fuente de abastecimiento de agua.
- Cabezal principal.
- Tuberías de conducción principales.
- Cabezales de campo.
- Tuberías terciarias.
- Laterales de riego con emisores

2.6 SECTORES DE UN SISTEMA DE RIEGO

Liotta (2015) presenta a continuación la descripción de los distintos sectores de un sistema de riego:

La Subunidad de riego, es la zona donde se realiza el riego con un grifo o cabezal de campo, mientras que unidad de riego, es el área que se humedece sincrónicamente ocupando un grupo de subunidades de irrigación; y finalmente la operación de riego, es el área que se mantiene con irrigación, pero también el grupo de unidades de riego.



Figura 1. Esquema de un sistema de riego

2.7 DOSIS DE RIEGO

La cantidad de riego es el volumen de agua que se emplea a un área con labores agrícolas de cada vez que realizan una actividad de riego, esto involucra a los métodos hidrológicos que son empleados de diversas formas, son esenciales para una determinada cantidad, la cual es utilizada en metros cúbicos ya que son aprovechados para el cultivo en específico para abarcar la privación hídrica de un laboreo (Chirinos, 2016).

Es de gran importancia realizar un programa de riego, estableciendo la dosis y fecha de la aplicación del mismo, mediante el ciclo de vida vegetativo del cultivo, debido a que pueden variar las necesidades hídricas del suelo, por efecto a las estaciones del año.

Finalmente describe que para realizar la planificación del riego es importante tener en cuenta las condiciones del cultivo, las propiedades físicas del terreno, la situación climática de la zona cultivada, la característica del agua, el indicador de la calidad del riego, el déficit de lixiviación y la planificación con la que se va a ejecutar el riego.

Varios investigadores han implementado métodos para mejorar la programación de cultivo, también han propuesto distintos planeamientos para obtener máxima productividad aun sabiendo que el agua es un elemento escaso (López *et al.*, 2016).

2.8 EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RIEGO

El propósito principal de los sistemas de riego es, cumplir con los requerimientos hídricos de las plantas, es importante tener conocimiento de la exigencia del cultivo para suministrar la dosis apropiada del agua de forma idónea y homogénea, también en que etapa es la que mayormente la necesita, es necesario que la gran parte de agua que se aplica quede acumulada en el área de la raíz para que esté a disposición del cultivo; también se consideran las necesidades de riego, interpretado por las exigencias de agua que necesita el cultivo, con la finalidad de asegurar las condiciones idóneas de desarrollo (Espinosa *et al.*, 2016).

Continuando con lo descrito, es fundamental la utilización de técnicas la implementación del agua en las labores agrícolas mantenimiento como objetivo el manejo adecuado; por medio de su distribución, evaluación y reconocimiento del sistema de irrigación.

El mismo autor menciona que, la utilización eficaz y sostenible del agua utilizable para riego, exige que el cimiento facilite conducir el agua de riego con él, método de manejo más óptimo en cada acción, teniendo las condiciones adecuadas para que los cultivos se acojan al área, tal cual se ha hecho en el desarrollo de las políticas y establecimientos rurales.

Incrementar la capacidad para el manejo del agua y la actividad agrícola, es fundamental por las consecuencias del calentamiento global, es importante ocasionar efecto de adaptación que faciliten acoplar el desarrollo de preparación, ejecución y revisión del sistema de riego (López *et al.*, 2019).

2.9 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

Los métodos para la aplicación eficaz del agua son fundamental para el ahorro y el uso inteligente del líquido vital, también se requiere opciones para incrementar la producción de la explotación agrícola (López *et al.*, 2019).

De acuerdo con Robaina *et al.* (2015) el rendimiento está asociada con el desarrollo del resultado y la cantidad que se ha suministrado, la palabra producción del agua esta empleada únicamente para indicar la dosis o la estimación de la productividad, encima de los metros cúbicos del agua que se ha estado consumiendo o desaprovechando, la fórmula de la productividad del agua se manifiesta de la siguiente manera:

$$Productividad\ del\ agua = \frac{producción}{cantidad\ de\ agua}$$

Continúa describiendo que la palabra productividad se puede manifestar en porcentaje de utilidad final, energía, dinero, también en conjunto de agua que se usó expresada en términos de evaporación y transpiración, la totalidad del agua proporcionada para productividad, el líquido vital aceptada como irrigación más la precipitación, entre otras.

2.10 ÁREA FOLIAR

El área foliar es un elemento que se distingue por su mecanismo, rendimiento y exigencia hidrológico, asimismo es el soporte para evaluar las exigencias hídricas, nutritiva, actividad termodinámica bioquímica y para establecer los posibles deterioros fitosanitarios (Mendoza *et al.*, 2017).

El índice de área foliar es un parámetro que permite determinar la captación total de fotosíntesis de una planta; está relacionada con la superficie total de un determinado ecosistema o área de estudio, generalmente se la asocia a los procesos vitales más importantes de las plantas como la fotosíntesis, la respiración y la productividad (Nafarrate *et al.*, 2018).

La evaluación del área foliar es de suma importancia para desarrollar un estudio en fisiología vegetal, en los cultivos y en dendrología; el área foliar está estrechamente vinculada a muchos procesos agronómicos, fisiológicos, biológicos y ambientales; donde se incluyen análisis de crecimiento, desarrollo, fotosíntesis, transpiración, incremento de biomasa entre otros (Cabezas *et al.*, 2009).

2.11 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

La trayectoria de la conductancia estomática se ha mencionado únicamente empleando muestras experimentales o en la fenología (Pino *et al.*, 2019).

La conductancia estomática es un agente fundamental en el período, estabilidad del agua y del dióxido de carbono y la fotosíntesis a través de las plantas y el medio ambiente (Suárez *et al.*, 2016).

Una de las tensiones abióticas más considerable que limita el rendimiento de los cultivos es la sequía, para tolerar las tensiones de las sequías las estomas de las plantas se cierran garantizando la turgencia y manteniendo el metabolismo celular; en el proceso que los estomas se van cerrando se disminuye la tasa fotosintética, es necesario que la planta deban de acoplarse de manera continua a su conductancia estomática para acceder a tener bastante acceso de dióxido de carbono y así prevenir disminución de agua dispensable en el transcurso del estrés (Dell' *et al.*, 2017).

2.12 MODELO MOPECO

El agua es un recurso escaso que debe ser gestionado de forma eficiente, el modelo MOPECO ha sido concebido para la optimización del margen bruto (MB) de las explotaciones de riego, en especial en zonas con escasos recursos hídricos y con altos costes de cultivo; bajo condiciones reales, el sector productivo requiere de una herramienta que les asesore sobre cuál es la superficie y el volumen de agua de riego, normalmente deficitario, que debe asignar a cada cultivo para maximizar la rentabilidad (López *et al.*, 2016).

Continúa manifestando que, en la actualidad MOPECO utiliza los algoritmos genéticos para resolver este problema de optimización, esta metodología presenta dos problemas, por una parte, el resultado obtenido no es el óptimo absoluto y, por otro lado, el tiempo de cálculo requerido es muy elevado, lo que limita la posibilidad de generar una versión on-line del modelo para su utilización por los regantes y gestores de amplias zonas regables con un elevado número de usuarios.

Lima *et al.* (2019) describe que el modelo MOPECO calcula una programación de riegos que optimiza el rendimiento del cultivo para una cantidad de agua disponible, cuando ésta es menor o idéntico a las exigencias máximas del cultivo, esta técnica se encuentra adecuada para realizar planificaciones de riego deficitario, en particular en las áreas donde el agua es el causante de escasez.

2.13 OPTIMIZED REGULATED DEFICIT (ORDI)

El (ORDI) comúnmente conocido como riego deficitario regulado optimizado; es el método de riego empleado para determinar el nivel de déficit, (relación entre evapotranspiración real y máxima " ET_a / ET_m "); el cual se aplica durante el ciclo de vida de un cultivo; con el propósito de maximizar el rendimiento para obtener un bajo déficit, una vez concluido el período del cultivo; el principal problema de esta técnica es la imposibilidad de anunciar el resultado del riego insuficiente en la característica de la producción, esta cualidad puede perjudicar el rendimiento de la cosecha (Léllis *et al.*, 2017).

En caso que los agricultores tengan escasez de recurso hídrico mientras está en la época de desarrollo del cultivo, es necesario prevenir la reducción temprana del riego, ya que, esto puede provocar una pérdida importante de la producción (Leite *et al.*, 2015).

Continuado lo dicho por los autores anteriores, la estrategia ORDI maximiza el rendimiento para un determinado objetivo de déficit hídrico determinando las relaciones ETa/ETm que se aplicarán en cada etapa de crecimiento, sin embargo, bajo una cantidad limitada de riego disponible agua y condiciones climáticas desconocidas, es posible que no se alcancen las relaciones ETa/ETm más altas, o que parte del agua no se utilice.

Para la gestión del agua de riego, el modelo utiliza la metodología de riego deficitario regulado optimizado (ORDI); para determinar el nivel de déficit a alcanzar en cada etapa de desarrollo de los cultivos para conseguir el rendimiento máximo para un determinado déficit global (Léllis *et al.*, 2017).

El constante requerimiento de riego en las labores agrícolas demanda diversas técnicas para mejorar la utilización del agua, el RDC (riego deficitario controlado) es un método que otorga una limitación importante en el empleo de agua sin alterar la producción y la propiedad del cultivo, siendo esto un mecanismo para monitorear el desarrollo vegetal (Molina *et al.*, 2016).

2.14 SECADO PARCIAL DE RAÍCES (PRD)

El PRD es un sistema de riego que fue programada para la fruta de vitis en el país de Australia; esta tecnología fue diseñada en respaldo a la información de las herramientas que examina la transpiración, una fracción del sistema radicular de la planta se marchita poco a poco y la otra parte de la raíz recibe un buen riego, equilibrando los lugares humedecidos y secos del sistema radicular con un intervalo de siete a 15 días esto va depender del tipo de suelo (Piña, 2015).

Continuando con lo mencionado, el propósito del manejo del secado parcial de raíces tiene como mecanismo el manejo de los resultado de la escasez del agua en la planta; esto tiene su inicio en la comprobación que el ácido abscísico es esencial en la decisión de la conductancia estomática de la vides y la

intervención del sistema radicular, se podría emplear para evidenciar que diversas reacciones de la tensión del agua se pueden desarrollar en consecuencia del envío de señal química de la raíz, sin producir alteraciones en la conexión del agua.

PRD es un método de riego que ayuda a ahorrar considerablemente el agua al momento de emplearlo al cultivo; esta técnica asegura que una parte del sistema radicular sea humedecida, mientras que en la otra parte del sistema radical sincrónicamente el riego sea detenido, pero este método se aplica cuando se tiene cierta cantidad de reserva de agua en el suelo en el lado que no se está regando; cuando se vaya a realizar el siguiente riego se humedecerá a la parte del sistema radical que estuvo en sequedad y así se lo realizará continuamente, en lo que dure el desarrollo del cultivo, con este método se busca reducir el 50% del agua que se emplearía al aceptar como referencia a la evotranspiración, o la condición del agua en el suelo (Cham *et al.*, 2011).

En diferentes variedades de cultivos, inclusive el maíz el secado parcial de raíces ha expresado una enorme capacidad para reservar agua y incrementar el uso eficiente del agua del cultivo (Wang *et al.*, 2012).

2.15 TMY (AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO)

El año meteorológico es beneficioso para especificar la situación característica a lo largo de un período más duradero, además se podría utilizar como un método para tomar diferentes decisiones en las labores agrícolas (Rodríguez *et al.*, 2019).

Sigue describiendo la técnica que más se utiliza para medir el año meteorológico típico es el sistema estadístico de Finkelstein Schafer, a través del tiempo han avanzado con diversas investigaciones con la finalidad de calcular la TMY en diferentes partes del mundo para la energía verde así como Argentina, Turquía, Nigeria entre otros países; también el año meteorológico típico se ha ajustado para aumentar la agricultura en los cultivos y mejorar la repartición del agua de riego durante la etapa de cultivo.

Finalmente detalla que el informe meteorológico es importante para utilizar la energía renovable, también la energía fotovoltaica, eólica e hídrica; el TMY, integra una opción para identificar el clima, a través del reconocimiento del mes que presenta las características medias de aquel mes comenzando desde los archivos de diferentes épocas.

El año meteorológico típico está compuesto por 12 meses escogidos en el registro de años individuales y relacionados para establecer un año entero, lo que produce una relación óptima en medio de los valores frecuentes de las variables climáticas (Rodríguez *et al.*, 2019).

Este procedimiento también se puede usar para optimizar la administración de las zonas que se puede regar mediante una óptima estructura de los sistemas de riego, la valoración de las exigencias característica de riego de los cultivos o la resolución de la cúspide de petición de riego de una agrupación de personas que riegan (Leite *et al.*, 2015).

2.16 EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

Es un componente de la fase hídrica y la evaluación de energía del terreno, su conocimiento y evaluación es decisivo para la programación del recurso hidrológico; es uno de los procesos críticos más importantes, aplicados en diferentes campos entre ellos: hidrología, agricultura, ecología y planeación de los recursos hídricos (López *et al.*, 2015).

A la ET también se le puede establecer por medio de dimensión prevista anteriormente o estándares que mantengan en valoración la aplicación de componente meteorológicos; en la agrupación uno usa distintos prototipos de evapotranspirometro también el procedimiento del análisis de agua en el suelo; y en la segunda agrupación utilizan referencia teórica, experimental y evaporímetro (Cisneros *et al.*, 2015).

2.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (ETc)

Cisneros *et al.* (2015) señala que la resolución del uso del agua por los cultivos es considerable en distintos lugares de las labores agrícolas, como son el

análisis del requerimiento y la utilización de la irrigación, depuración de las actividades agrícolas, valoración de la productividad e investigaciones hídricas.

Continuando con lo expuesto por los anteriores autores, la evotranspiración de cultivo está vinculada a tales investigaciones y es establecida como cantidad de agua agotada por un cierto cultivo; la ET_c no es más que el resultado de la combinación entre la evaporación (E); la cual es procedente del suelo, y la transpiración (T), la cual se encuentra relacionada a la planta, la determinación de la ET_c está relacionada con diversos métodos, entre ellos se destacan los siguientes: métodos de balance de energía, balance de agua en el suelo y lisímetro.

2.18 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

Comprender la ET_o y la demanda hídrica que necesita el cultivo favorece para tener una planificación precisa de la irrigación, adecuada y competente; como resultado se intensifica la eficiencia de adaptación de agua y nutrientes para conseguir granos de excelentes características (Mendoza *et al.*, 2019).

Para diseñar los sistemas de riego, es importante partir de la evapotranspiración de referencia máxima que presenta el cultivo, debido a que con este valor se determina el caudal adecuado que se debe suministrar al mismo, además permite establecer el equipo más económico, para asegurar el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo (García y Puppo, 2015).

2.19 COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

Cisneros *et al.* (2015), describe que, “representa la integración de los diferentes efectos que hacen que el cultivo de interés presente un comportamiento diferente al cultivo de referencia”; el coeficiente de cultivo es demandado en las etapas de evaluación y utilización del riego.

La estimación del coeficiente de cultivo cambia primeramente en característica de las propiedades individuales del cultivo, alterando solamente en una limitada cantidad en beneficio al ambiente; para establecer el K_c , además del cálculo de la ET_o , también es necesario contar con valores obtenidos experimentalmente de la ET_c del cultivo (Herrera *et al.*, 2020).

López *et al.* (2015), manifiesta que la técnica de K_c ha estado ampliamente en manejo, lo cual ha generado repuestas favorables en distintas situaciones del clima a nivel global; el K_c permite determinar las características específicas del cultivo, entre ellas se destaca la altura, resistencia superficial, albedo, entre otros; cambia con el clima a pesar que es perjudicado por el uso del cultivo y la irrigación, del mismo modo por el estado del clima, como la aparición de plagas y enfermedades, salinización en el terreno, entre otros., lo que dirige a diversas circunstancias de tensión hidrológico.

2.20 COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD (K_y)

Establecer los factores de respuesta de un cultivo bajo un déficit hídrico (k_y) permite determinar en qué etapa del ciclo de vida de una planta, existe mayor sensibilidad al estrés hídrico, el coeficiente de sensibilidad es una herramienta fundamental en el manejo adecuado del agua en los cultivos, debido a que no presenta cambios importantes en las etapas fenológicas de la planta (solo etapa vegetativa), considerando de esta manera optimizar el uso del agua, acorde a los requerimientos de cada especie” (Keffer *et al.*, 2019).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Ciudad de Calceta-Manabí, en el campus de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ubicado en el sitio “El Limón”, situado geográficamente entre las coordenadas 0°49'27,9" de Latitud Sur y 80°10'47,2" de Longitud Oeste a una altitud de 17 m.s.n.m.



Figura 2. Área del ensayo
Fuente: Google Earth 2021

3.2 DURACIÓN DEL TRABAJO

El presente trabajo de titulación tuvo una duración de seis meses desde el mes de julio hasta el mes de diciembre del 2021.

3.3. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Los datos climáticos fueron obtenidos del registro histórico de la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí; los datos presentados a continuación son promedios de los años 2011 al 2021.

Cuadro 3.1. Datos de condiciones climáticas

	Precipitación mm	Heliofanía h	T. Máxima (°C)	T. mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento m/s
Enero	229	56,93	30,42	22,26	83,63	0,44
Febrero	304	80,77	30,42	22,26	83,71	0,49
Marzo	238	121,84	30,43	22,26	83,85	0,49
Abril	118	116,41	30,38	22,25	83,98	0,44
Mayo	77	102,99	30,35	22,24	84,12	0,45
Junio	29	80,51	30,38	22,23	84,26	0,49
Julio	10	74,59	30,40	22,22	84,41	0,54
Agosto	2	97,81	30,40	22,23	84,54	0,61
Septiembre	2	97,44	30,37	22,24	84,70	0,67
Octubre	6	83,83	30,40	22,25	84,76	0,64
Noviembre	2	90,59	30,44	22,26	84,84	0,63
Diciembre	41	77,87	30,45	22,27	84,90	0,57
Media		90	30	22	84	0,54
Σ anual	1058	1082				

Fuente: Estación meteorológica de la ESPAM - "MFL"

3.4 MATERIAL VEGETAL

Se utilizó en el experimento semillas de maíz del híbrido DASS 3383.

3.5 DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

3.5.1 FACTOR EN ESTUDIO

- Métodos de riego deficitario

3.5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- Experimental

3.5.3 TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados en el presente trabajo de investigación, son el resultado del estudio individual y/o combinado de las siguientes metodologías de riego deficitario: ORDI (Riego deficitario optimizado por etapas) y PRD (Secado parcial de raíces); a las cuales se le aplicó el 50% de las necesidades hídricas del cultivo.

Cuadro 3.2. Tratamientos

Tratamiento	Descripción
T1	Tratamiento Control sin déficit 100%
T2	ORDI 50 %
T3	ORDI 50 % + PRD 1 semana
T4	ORDI 50 % + PRD 2 semana
T5	PRD 50% 1 semana
T6	PRD 50 % 2 semana

Fuente: Los autores

3.5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) realizando 6 tratamientos con 4 réplicas cada uno, para bloquear la variabilidad del suelo.

3.5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro 3.3. Esquema ADEVA

ADEVA	
Fuente de variación	Grados de Libertad
Total	23
Tratamiento	5
Bloque	3
Error Experimental	15

Fuente: Los autores

3.5.6 ANÁLISIS FUNCIONAL

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza al 5% de probabilidades de error y la separación de medias con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error; para el análisis de los datos se utilizó el software Infostat.

3.6 MANEJO DE LOS TRATAMIENTOS

3.6.1 TRATAMIENTO 1

Este tratamiento consistió en atribuir el 100% de la utilización hídrica del cultivo; previniendo una tensión hídrica; este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda de un cronograma de riego el cual se empleó el año típico meteorológico (ATM) pues en el transcurso del ensayo se sustituyeron los datos climatológicos calculados por los obtenidos, de esta manera el riego se aplicó por medio de cintas de riego las cuales fueron localizadas en cada hilera del cultivo, cabe

recalcar que el total de agua calculada para este tratamiento corresponde al 224mm.

3.6.2 TRATAMIENTO 2

Consistió con la adaptación de la metodología ORDI al 50% (Riego deficitario optimizado por etapas), con este método ORDI se estima los coeficientes de maíz (Ky) el cual se dispersa el volumen de agua obtenido a lo largo de la fase de cultivo desarrollando el favorable rendimiento del cultivo. Para este tratamiento el riego se aplicó con la ayuda de cintas de riego que fueron localizadas en cada hilera del cultivo; para esto el agua total de este tratamiento fue de 124mm.

3.6.3 TRATAMIENTO 3 Y 4

Con el objetivo de realizar una moderna metodología de riego se compaginaron dos metodologías que fueron Riego deficitario optimizado por etapas (ORDI) esta metodología tiene como propósito distribuir el volumen de agua y emplearlo acorde las fases del crecimiento del cultivo, y Secado Parcial de Raíces (PRD) esta metodología se aplica de manera alternada del lado derecho o izquierdo de las raíces de las plantas.

En el tratamiento 3 se aplicó ORDI al 50% más PRD una semana, donde se alternó el riego de las raíces una semana de lado izquierdo y lado derecho, en tratamiento 4 consistió en aplicar ORDI 50% más PRD dos semanas, en este tratamiento se aplicó riego alternando dos semanas por lado izquierdo y dos semanas por lado derecho.

3.6.4 TRATAMIENTO 5 Y 6

Respecto a estos dos tratamientos se realizó con la metodología PRD aplicando el 50% de agua. Pará ello el tratamiento 5 se realizó en una semana por el lado derecho y por otra el lado izquierdo mientras que el tratamiento 6 se realizó en dos semanas por cada lado. El agua total obtenida para estos tratamientos fue de 108mm.

3.7 VARIABLES RESPUESTA

Las variables respuesta que se tomaron fueron las siguientes:

3.7.1 ALTURA DE LA PLANTA

La altura de la planta se la efectuó a los 15 días después de la germinación; escogiendo dos plantas al azar una vez a la semana, por cada unidad experimental; con la ayuda de un metro, se realizó la respectiva medición; la misma que inició desde la superficie de la tierra hasta la última hoja de la planta de maíz.

3.7.2 BIOMASA

Se realizó utilizando una estufa para poder pesar las plantas en fresco y en seco y así calcular la biomasa, se utilizó dos plantas por tratamiento las cuales fueron cortadas y colocadas en fundas de papel y llevadas a la estufa a 72° centígrados durante 72 horas.

3.7.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

Para analizar esta variable se utilizó un porómetro SC-1, el cual permitió medir la conductancia estomática, la misma que se midió en ($\text{mmol/m}^2\text{s}^{-1}$), para ello se escogió dos plantas al azar por cada tratamiento, se escogió la tercera hoja de arriba hacia abajo y se mudó a la mitad de la hoja; realizando este procedimiento una vez por semana.

3.7.4 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO

Para medir esta variable se utilizó el TDR (time domain reflectometry) a 4 profundidades 0.1, 0.2, 0.4 y 0.6m conectados a un registrador de datos datalogger.

3.7.5 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

La productividad del agua se midió evaluando la producción/consumo de agua y beneficio económico/consumo de agua según la fórmula 1.

$$Productividad\ del\ agua = \frac{producción}{cantidad\ de\ agua} \quad (1)$$

3.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Área total del ensayo:	1.821,12 m ²
Ancho del ensayo:	33.6 m
Largo del ensayo:	54,2 m
Forma de la UE:	Rectangular
Total, UE:	24
Ancho de la UE:	7 m
Largo de la UE:	8 m
Área total de la UE:	56 m ²
Área de cálculo de la UE:	33,6 m ²
Área de borde de la UE:	22,4 m ²
Total, plantas en la U.E:	400 plantas
Total, plantas en el área de cálculo:	240 plantas
Total, plantas en el área de borde:	160 plantas
Densidad poblacional:	71.428 plantas ha ⁻¹
Sistema de siembra:	Hilera simple
Distanciamiento de siembra:	0,2 m x 0,7 m
Número de plantas/sitio:	1 planta
Población total del ensayo:	13.008 plantas

3.9 ESQUEMA DE LOS TRATAMIENTOS

Cuadro 3.4. Esquema de los tratamientos

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4
Bloque 1	T1	T5	T2	T3
Bloque 2	T4	T6	T3	T4
Bloque 3	T5	T3	T1	T5
Bloque 4	T2	T4	T5	T6
Bloque 5	T6	T1	T4	T2
Bloque 6	T3	T2	T6	T1

Fuente: Los autores

3.10 MANEJO DEL CULTIVO

Con el fin de asegurar una excelente investigación, el manejo que se utilizó durante el desarrollo del proyecto es el siguiente:

3.10.1 PREPARACIÓN DEL SUELO

La preparación del suelo se desarrolló mediante labores de corte y limpieza de maleza, después se procedió arar el suelo para un buen desarrollo radicular en la planta.

3.10.2 SIEMBRA

La siembra se la realizó la última semana de julio de 2021, con el híbrido DASS 3383, con un distanciamiento de siembra de 0.70 m x 0.20 m, depositando de forma manual una semilla por sitio.

3.10.3 CONTROL DE MALEZAS

Se realizó de forma manual y química, antes de la siembra se aplicó glifosato para eliminar toda la maleza existente y una vez germinado el maíz se trabajó con controles selectivos.

3.10.4 RIEGO

Según Domínguez (2012) MOPECO es un modelo que fue propuesto en el año 1977 por Stewart y colaboradores; con la finalidad de estimar el rendimiento de los cultivos, en función de la relación entre la evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración máxima del cultivo (ET_a/ET_m) durante las diferentes etapas de crecimiento del cultivo; por lo tanto, cuando $ET_a < ET_m$, la planta sufre un estrés que puede causar una caída del rendimiento (rendimiento real (Y_a) < rendimiento potencial (Y_m)).

Se establecieron 3 calendarios de riego de acuerdo al modelo de optimización económica del agua MOPECO; se colocaron líneas de distribución para controlar la cantidad de agua que se suministraba a cada uno de los tratamientos; además se colocaron caudalímetros en la salida de cada línea para establecer el volumen de agua aplicado a los tratamientos en estudio.

Para el tratamiento 1 se estableció el primer calendario de riego (sin déficit hídrico), para los tratamientos 2, 5 y 6 se asignó el segundo calendario de riego, utilizando la metodología ORDI, el cual consistió en aplicar el 50% de agua del T1, mientras que el tercer calendario de riego se asignó a los tratamientos 3 y 4 el mismo que estuvo compuesto por el 50 % de agua aplicando la metodología ORDI 50% + PRD durante todo el ciclo.

3.10.5 FERTILIZACIÓN

La fertilización se desarrolló mediante vía fertirriego, para lo cual se consideró los estándares de la zona y la demanda nutricional del cultivo.

Cuadro 3.5. Plan de fertilización para maíz amarillo duro

Fuentes fertilizantes	Kg/ha						g/ha				
	Cantidad (Kg/ha/año)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	Zn	B	Mn	Fe	Cu
MicroEssentials SZ	100	12	40			10	1000				
Korn Kali	375			150	23	19		800			
Sulfato de Mg	100				25	20					
Urea	400	188									
Total	975	200	40	150	48	49	1000	800	0	0	0

Fuente: Los autores

Leyenda: MicroEssentials SZ: posee 12% de Nitrógeno, 40% de Pentóxido de Fósforo, 10% de Azufre en dos formas y 1% de Zinc. Korn Kali: 40% K₂O en forma de cloruro de potasio y 6% MgO en forma de sulfato de magnesio (kieserita), contiene nutrientes importantes como son el sodio en forma de cloruro de sodio y el azufre en forma de sulfato (4% Na₂O y 12,5% SO₃). El índice estándar de nutrientes por cultivo (índice NPK) de la urea es 46-0-0; significa que contiene un 46% de nitrógeno (N) elemental, un 0% de fósforo (P) elemental y un 0% de potasio (K) elemental. Sulfato de magnesio (MgSO₄): contiene cationes de magnesio Mg²⁺(20,19% en masa) y aniones sulfato SO₄²⁻.

Cuadro 3.6. Cantidad de fertilizante aplicado por planta y fracción

Estado fenológico	g/m ²			
	MESZ	Urea	K. Kali	Sulfato de Mg
VE	10	10		
V6		15	19	5
V10		15	18	5
Total	10	40	37	10

Fuente: Los autores

Cuadro 3.7. Costo de la fertilización

Fuente	Cantidad	Precio U	Total
MESZ	2	32	64
Korn. Kali	8	28	224
Sulfato Mg	2	25	50
Urea	8	23	184
Total			522

Fuente: Los autores

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ALTURA DE LA PLANTA

La altura de la planta no se vio significativamente afectada ($p>0.05$), por los métodos de riego deficitario; sin embargo, en la figura 3 de acuerdo con el análisis de comparación de medias de Tukey, el T1 (Tratamiento Control sin déficit 100%) alcanzó el mayor promedio de la planta con un valor de 240,55 centímetros (cm); mientras que el Tratamiento 6 (PRD 50% 2 semana), presentó el promedio más bajo de altura en la planta (219,90cm).

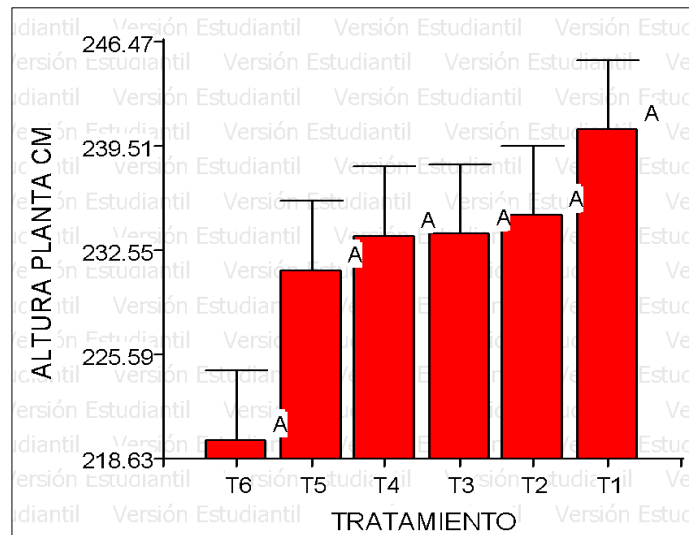


Figura 3. Altura de la planta de los tratamientos en estudio. Barras con letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 5% de probabilidad. **Fuente:** Los autores.

Tapia *et al.* (2021) en su investigación en maíz bajo riego deficitario controlado, obtiene valores superiores de altura de la planta en relación a los valores obtenidos en el presente estudio; manifiestan que a las plantas que aplicaron el 120% de la lámina bruta alcanzaron una altura media de 243,11cm; por lo tanto, declaran que es importante conocer la fenología y la disponibilidad hídrica del suelo para aplicar un método de riego adecuado en los cultivos de maíz.

Al mismo tiempo Antúnez *et al.* (2011) determinaron en su investigación que el déficit de agua en el suelo (T1 80% ETc) produce un menor crecimiento en la planta; por el contrario, las plantas bajo el tratamiento control (100% ETc) reflejaron mayor crecimiento.

4.2 BIOMASA

4.2.1 BIOMASA DE LA RAÍZ

Los resultados obtenidos revelan que los métodos de riego deficitario, afectaron significativamente ($p < 0.05$) sobre la biomasa de la raíz; en la figura 4 se puede apreciar que los tratamientos 6, 4 y 5 pertenecen a la misma categoría, siendo estos iguales estadísticamente obteniendo promedios de 1,20, 1,18 y 1,08 gramos (g) respectivamente; mientras que los tratamientos 1, 2 y 3 están agrupados en otra categoría obteniendo los promedios más bajos en biomasa de la raíz 0,75 0,83 y 0,85 g respectivamente; en los resultados alcanzados se puede observar que los tratamientos con mayor disponibilidad de agua presentaron menor masa radicular.

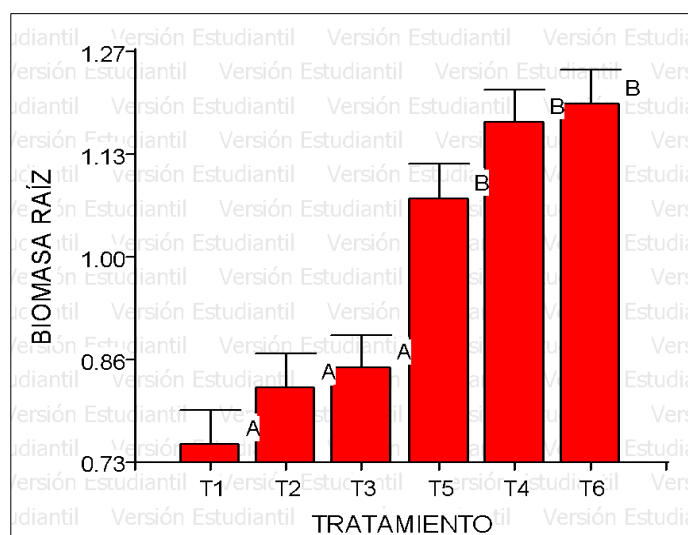


Figura 4. Biomasa de la raíz de los tratamientos en estudio. Barras con letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 5% de probabilidad. **Fuente:** Los autores.

Sifuentes *et al.* (2021) en su estudio evaluaron el efecto de rendimiento y eficiencia en el uso del agua en el cultivo del maíz, obteniendo como resultado que el tratamiento con la mayor producción de materia fresca y materia seca radicular fue el T3 (estrés ligero al inicio del ciclo y estrés moderado en maduración); los riegos eficientes programados con una calendarización científica de riego, produjeron un ambiente favorable de humedad en el suelo para el desarrollo del cultivo; debido a que se redujo el estrés por asfixia radical y presenta un efecto directo sobre la producción de biomasa.

Moreno (2009) considera que cuando se desarrolla el déficit hídrico lentamente, las plantas presentan una mejor respuesta de aclimatación que tiene efecto directo sobre el crecimiento, disminución de la expansión foliar y el incremento del crecimiento radicular; además explica que la disponibilidad de agua afecta el crecimiento de la parte aérea de la planta y la raíz; el desarrollo de la raíz continúa, mientras que la parte aérea deja de crecer debido al estrés hídrico; de esta manera las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en la búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo.

4.2.2 BIOMASA DE LA HOJA

La biomasa de la hoja presentó un comportamiento similar a la variable descrita anteriormente, debido a que existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos, lo cual indica que los métodos de riego deficitario influyeron sobre la biomasa de la hoja de la planta; la figura 5 muestra que el tratamiento 1 fue significativamente superior en relación a los demás tratamientos, obtenido una biomasa de 3,35 g, por el contrario el valor más bajo de biomasa de la hoja lo presentó el tratamiento T6 obteniendo 2,30 g.

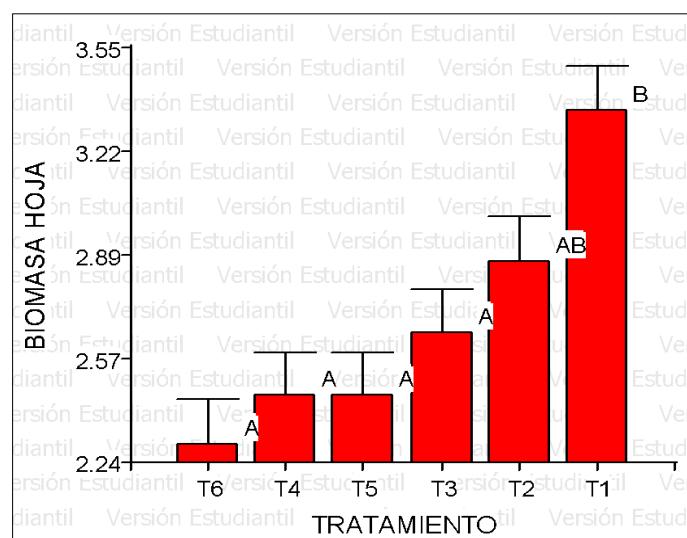


Figura 5. Biomasa de la hoja de los tratamientos en estudio. Barras con letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 5% de probabilidad. **Fuente:** Los autores.

García y Lemos (2017) manifiestan que la acumulación de biomasa, surge entre el balance de las pérdidas por respiración y el proceso de fijación del dióxido de carbono; también señalan que las deficiencias hídricas actúan sobre la cobertura del cultivo del maíz a través de la reducción en el crecimiento foliar, la aceleración

de la senescencia, además de disminuir el área foliar activa; lo cual reduce a la vez la proporción de radiación incidente interceptada afectando directamente la producción de biomasa.

Rovegno y Giménez (2019) en su investigación: estrategias de riego para maximizar rendimiento y eficiencia de uso del agua en cultivos de maíz, determinaron que cuando el maíz fue sometido a déficit hídrico en la etapa de llenado de grano, la senescencia foliar se adelantó resultando en menor biomasa acumulada a fin de ciclo (entre 23 y 36 % menos comparado con el testigo regado).

4.2.3 BIOMASA DEL TALLO

La variable correspondiente a la biomasa del tallo también obtuvo diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) por los métodos de riego deficitario en el cultivo de maíz; la figura 6 revela que el tratamiento T1 (Tratamiento Control sin déficit 100%) adquirió el mayor promedio de biomasa en el tallo con 8,63g, por lo tanto, fue el mejor tratamiento de esta variable; por el contrario, el promedio de biomasa más bajo lo obtuvo el tratamiento T3 (ORDI 50% + PRD 1 semana) con 4,58g.

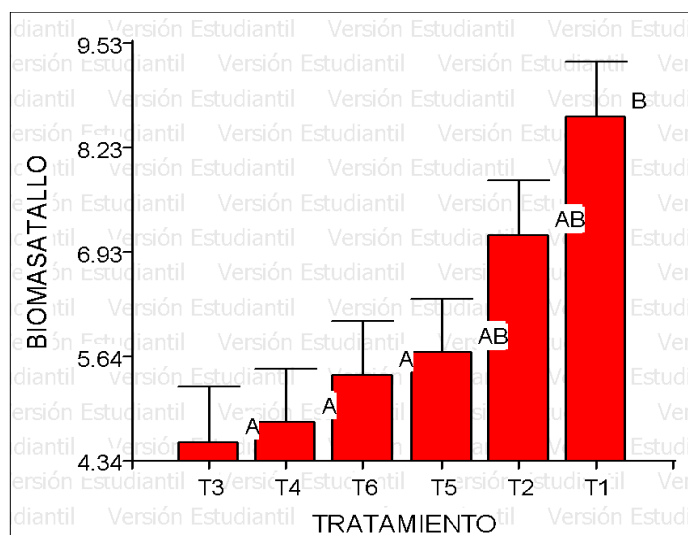


Figura 6. Biomasa del tallo de los tratamientos en estudio. Barras con letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 5% de probabilidad. **Fuente:** Los autores.

Mendoza *et al.* (2016) en su estudio evaluó los efectos del estrés hídrico en la etapa vegetativa del maíz durante tres años, la cual presentó reducciones de biomasa radicular de 28 a 32 %, además indicó que la etapa fenológica más

crítica al estrés hídrico es la floración masculina, debido a que puede reducir la producción de biomasa radicular en un 30 %.

Asimismo, Telleria (2015) expuso que la producción de biomasa seca en etapas de floración y cosecha sometidas a un estrés hídrico presentaron una menor producción de biomasa, en comparación a la etapa temprana, la cual presentó mayor producción de biomasa, obteniendo resultados aproximados al tratamiento testigo que tenía un riego completo; por lo tanto, indicaron que con un riego completo se consigue una buena producción de biomasa, al igual que aquellas plantas que sufrieron estrés en etapa temprana.

4.3 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

Con respecto a la conductancia estomática, el análisis de varianza no presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$), entre los métodos de riego deficitario en el cultivo del maíz; sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los datos obtenidos de los tratamientos durante las etapas fenológicas del cultivo, como se aprecia en la figura 7, el tratamiento T1 (Tratamiento Control sin déficit 100%), mantiene mayor apertura estomática 220,58 micromoles por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), durante el ciclo de desarrollo de cultivo en comparación con los demás tratamientos; importante mencionar que el tratamiento 4 (ORDI 50 % + PRD 2 semana) es el que mantiene mayor descenso de la conductancia estomática ($183,56 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) en la planta; probablemente se debe a la poca disponibilidad de agua que ha tenido este tratamiento, provocando importantes consecuencias en la fisiología y morfología de la planta.

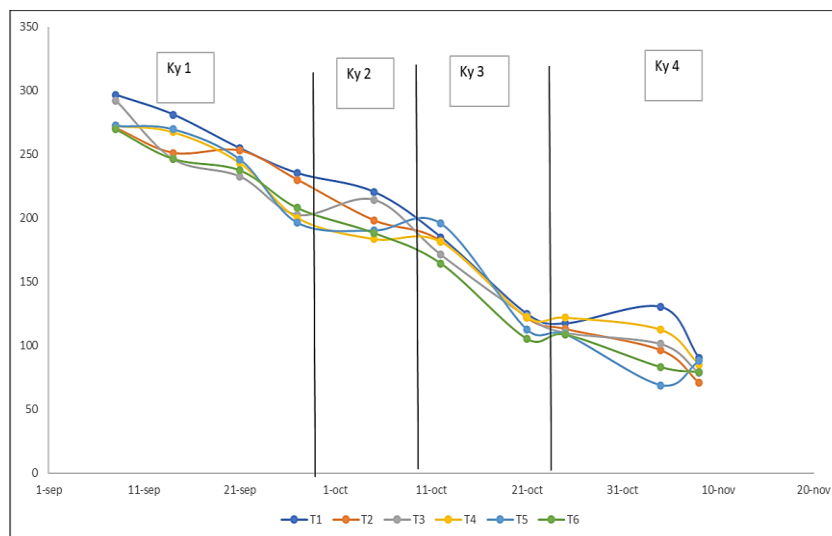


Figura 7. Conductancia estomática de los tratamientos. Fuente: Los autores.

Antúnez *et al.* (2011) en su trabajo de investigación, observaron la evolución de la conductancia estomática en el cultivo de maíz, para la cual aplicaron regímenes de riego; como resultados obtuvieron que, a partir de la etapa reproductiva, la conductancia es menor en condiciones de riego deficitario (T1 80% ETc); reiteraron además que la conductancia estomática es un parámetro indirecto de estrés hídrico que determina la velocidad el paso del dióxido de carbono (CO₂), a través de los estomas de las hojas.

Asimismo, Telleria (2015) indica que el riego deficitario en el cultivo del maíz genera efectos negativos en la fisiología de la planta, entre ellos el cierre de estomas lo que origina a la vez la reducción en el desplazamiento del agua hacia fuera y el movimiento del CO₂ hacia el interior de la planta, provocando: disminución en el índice de la fotosíntesis, reducción en la síntesis de proteína y el descenso en el ritmo metabólico de la planta.

4.4 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO

Los datos pertenecientes a la variable contenido volumétrico de agua en el suelo, fueron analizados mediante el software Excel; en la figura 8 se logra observar el volumen almacenado en los 65cm de perfil de suelo, obtenida por los diferentes tratamientos en estudio, mediante una sonda electromagnética calibrada TDR; el Tratamiento 1 (Tratamiento Control sin déficit 100%), presentó un intervalo constante entre 180 y 160 milímetro (mm) de agua almacenada en el perfil de suelo; sin embargo, en los demás tratamientos se observa claramente que el

agua almacenada en el suelo disminuyó considerablemente; obteniendo el Tratamiento 6 (PRD 50% 2 semana) el intervalo más bajo con un rango de 140 a 100mm.

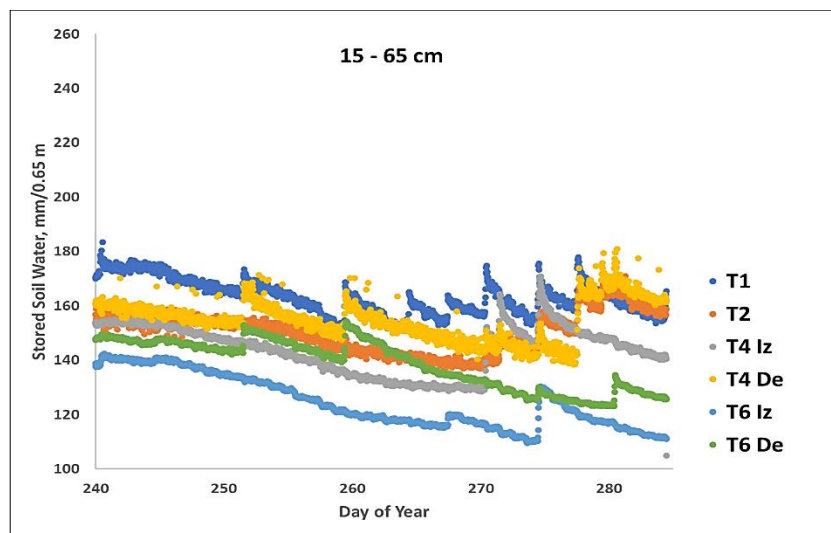


Figura 8. Contenido volumétrico de agua en el suelo. **Fuente:** Los autores.

Moreira y Rivas (2022) reportaron intervalos similares a los obtenidos en el presente estudio; ellos indicaron que el T1 (100% de agua), mantuvo un intervalo constante entre 160 y 140mm de agua almacenada en el perfil del suelo, en comparación con los tratamientos T2 (ORDI 70% de agua), T4 (ORDI+PRD 70 % de agua) y T6 (PRD 70% de agua); donde el intervalo de agua almacenada en el suelo para estos tratamientos estuvo comprendido entre 170 y 110mm.

Farré (2009), en su investigación, evaluó el contenido volumétrico de agua promedio, para el perfil del 0 a 120cm de profundidad en los tratamientos bajo estudio establecidos como: Tratamiento Control (RRR), siendo este tratamiento el más regado, T1 (sss) tratamiento menos regado y T2 (rrr) para el tratamiento del 50% del agua de riego; obteniendo como resultado que el tratamiento RRR, mantuvo el contenido de humedad del suelo próximo al valor de capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo, por lo tanto la cantidad de agua de riego recibida por el mismo fue adecuada y este no sufrió déficit hídrico durante las etapas de desarrollo y crecimiento; mientras que en los tratamientos T2 (rrr) y T1 (sss), se produjo un descenso gradual del contenido de humedad del suelo.

4.5 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

En el cuadro 3.8, se puede observar la productividad del agua obtenida en los diferentes tratamientos bajo estudio; se puede apreciar claramente que el T5 (PRD 50 % 1 semana), obtuvo una productividad de 59,75 Kilogramo por milímetro (kg/mm), en comparación con el tratamiento 6 cuyo valor promedio fue de 40,03kg/mm, el cual fue notoriamente menor en relación a los demás tratamientos en estudio.

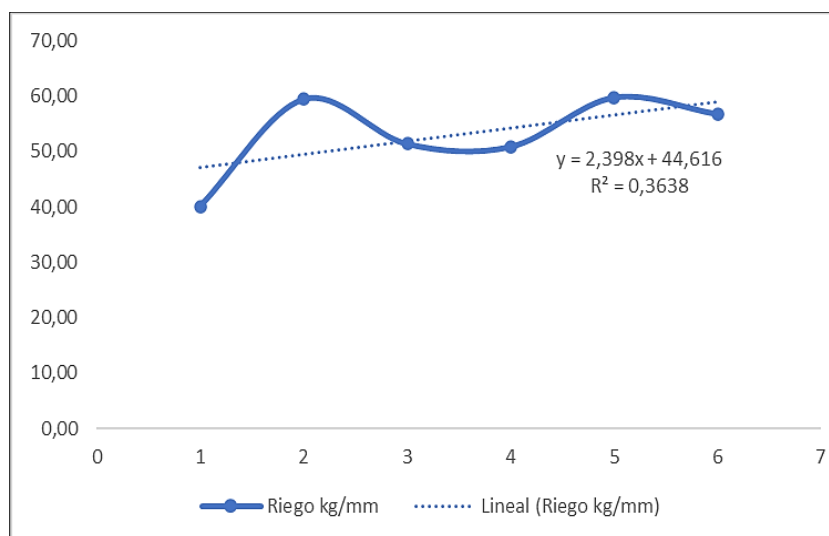


Figura 9. Productividad del agua. Fuente: Los autores

Mendoza *et al.* (2016) en su trabajo titulado: “Respuesta del maíz regado por gravedad al riego deficitario controlado”, adquiere los siguientes resultados en cuanto a la productividad del agua: 1,76, 1,93, 2,29 y 1,61 Kilogramo por metro cúbico ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$), para T1 (10%), T2 (20%), T3 (30%) y Control/Testigo (0%) respectivamente.

Al mismo tiempo Tapia *et al.* (2021) reportaron en su trabajo en maíz bajo riego deficitario controlado, que el tratamiento 1 con el 120% de la lámina bruta, alcanzó la mayor productividad del agua ($8,98\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$), por el contrario, el T12 (80% de la lámina bruta total) presentó productividad del agua más baja ($3,88\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$), en relación con los demás tratamientos evaluados, además manifestaron que tanto el porcentaje de agua aplicado, como la densidad de siembra tienen incidencia en la eficiencia del uso del agua.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La metodología con Secado Parcial de Raíces (PRD) al 50%, durante una semana (T5), permitió alcanzar la mayor productividad del agua con un valor promedio de 59,75 Kg/mm.
- Los métodos de riego deficitario aplicados en los tratamientos 6, 4 y 5 permitieron obtener el mayor peso de biomasa radicular con valores de 1,20, 1,18 y 1,08 g respectivamente, mientras que el tratamiento T1 sin déficit 100%, presentó la mayor biomasa en la hoja (3,35 g) y tallo de la planta (8,63 g).
- El tratamiento 4 (ORDI 50 % + PRD 2 semanas) presentó mayor descenso de la conductancia estomática ($183,56 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$).

5.2 RECOMENDACIONES

- Para elaborar los programas de riego se recomienda, analizar los componentes del ciclo hidrológico, especie del cultivo, condiciones climáticas y determinar el tipo de suelo en el cual se va a cultivar.
- Utilizar como principal punto de referencia el potencial hídrico del suelo, con la finalidad de determinar la variación del agua y disponibilidad de agua para su absorción por la raíz de la planta.
- Realizar el ensayo en época de verano, con híbridos más resistente, considerando la intensidad y la duración del déficit hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Albán, M., Caviedes, G., & Zambrano, J. (27 de Octubre de 2021). Memorias del I Simposio Ecuatoriano del Maíz. Recuperado el 15 de Mayo de 2022, de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP): <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5809/1/Producci%C3%B3n%20de%20semilla%20b%C3%A1sica%20de%20ma%C3%ADz.pdf>
- Antúnez, A., Carvallo, E., Otárola, J., & Subiabre, H. (5 de junio de 2011). Respuesta del maíz choclero al exceso y déficit de riego en el valle de Azapa. Recuperado el 28 de abril de 2022, de Biblioteca Digital INIA: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4412/NR38622.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Apaza, G y Blanco, C. (2016). Evaluación de la uniformidad de un sistema presurizado de riego por goteo para cultivos de zonas Alto-Andinas de Bolivia. Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 3, 7–17.
- Apaza, L y López, C. (2017). Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo Evaluation of uniform system pressurized drip irrigation. Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA, 3(3), 740–750.
- Cabezas, M; Peña, F; Duarte, H; Colorado, J y Lora, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 12(1), 121–130. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.648>
- Carvalho, D; Domínguez, A; Neto, D; Tarjuelo, J y Martínez, A. (2014). Combination of sowing date with deficit irrigation for improving the profitability of carrot in a tropical environment (Brazil). Scientia Horticulturae, 179, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.024>
- Carrasco, R. (10 de Enero de 2022). CATÁLOGO DE INSUMOS. Recuperado el 25 de Mayo de 2022, de <https://docplayer.es/>: <https://docplayer.es/7888409-Catalogo-de-insumos-hibrido-para-doble-proposito-grano-y-forraje-calidad-de-grano-sobresaliente-excelente-cobertura-de-mazorca-gran.html>

- Cham, J; Ram, C; Trejo, C y Mart, E. (2011). Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponia e invernadero Response of sweet pepper to partial root drying in hydroponic and greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 97–110.
- Chirinos, T. (2016). Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) en ccaje, 2015 – 2016. 7(3), 631–644.
- Cisneros, E., I, C. R. R. G., I, C. R. M. V., I, C. T. L. S., & I, C. F. G. R. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 23–30.
- Coral, J. (2017). Universidad central del Ecuador caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays L.*) EN LA ZONA MEDIA DE LA. 93.
- Dell', J; Rodríguez, A y Morales, D. (2017). Stomatal conductance behavior of two Cuban tomato varieties in field conditions and limited irrigation. 38(2), 137–144.
- Díaz, C; Puebla, J; López, T; González, F y Zamora, E. (2015). Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba New crop 's net water requirement ' s for the agricultural cultivations in Cuba. 5(4), 46–51.
- Domínguez, A., Martínez, R., De Juan, J., Martínez, A., & Tarjuelo, J. (2012). Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Revista Agricultural Water Management*, 107, 42-53.
- Espinosa, E., Magdaleno, F., Hernández, A., & Flores, C. (2016). Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement : análisis técnico y económico. *Revista Terra Latina*, 34(4), 431–440.
- FarmAgro. (5 de Julio de 2020). ECUADOR Línea comercial de productos 2020. Recuperado el 25 de Mayo de 2022, de <https://www.farmagro.com/uploads/fichas/474f8289fb00a099b8cc7b5dd1e441fcff948ca8ad1fef5aa.pdf>

- Ferré, I. (2009). Respuesta del maíz (*Zea Mayz L.*) y sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) al riego deficitario. *Agronomía y Modelización*. Universidad de Lérída. Lérída. Recuperado el 21 de Mayo de 2022, de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8243/TIFC2de2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- García, F., & Lemos, S. (2017). Riego deficitario en maíz. Tesis de pregrado, Universidad de la República, Montevideo. Recuperado el 24 de abril de 2022, de https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18649/1/TT_S_Garc%C3%ADaySantosPoseiroFerm%C3%ADn.pdf
- García Petillo, M., & Puppo, L. (2015). Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) para el diseño de equipos de riego en el Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 19(1), 122–130. <https://doi.org/10.2477/vol19iss1pp122-130>
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., & Tejero Jiménez, L. (2017). Características y propiedades del maíz (*Zea mays L.*) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.326>
- Hernández, J. (2 de Octubre de 2019). *Situación del cultivo de maíz en Ecuador*. Recuperado el 15 de Mayo de 2022, de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP): <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5457/1/iniapeppdf62.pdf>
- Herrera, C. J., Meneses-peralta, I. J., Duarte-díaz, C. C., González-robaina, C. F., & Hervís-granda, I. G. (2020). Determination of Crop Coefficients for Estimating Evapotranspiration in a Paddy Field in Cuba Determinación del coeficiente de cultivo para la estimación de la evapotranspiración del arroz en Cuba. 29(3), 5–20.
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., & Egüez, J. (2018). Corn yield (*Zea mays L.*) improves with the use of eucalyptus biochar. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25–32. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>

- José, J., Gómez, C., Muñoz, R. B., Lourdes, M. De, & Rodríguez, H. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39–50.
- Keffer, J. F., da Silva, C. C., de Souza, A. P., da Silva, A. C., Bouvié, L., & Dias, T. K. R. (2019). Evapotranspiration and water sensitivity of amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(10), 733–740. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>
- Leite, K. N., Martínez-Romero, A., Tarjuelo, J. M., & Domínguez, A. (2015). Distribution of limited irrigation water based on optimized regulated deficit irrigation and typical meteorological year concepts. *Agricultural Water Management*, 148, 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.002>
- Léllis, B. C., Carvalho, D. F., Martínez-Romero, A., Tarjuelo, J. M., & Domínguez, A. (2017). Effective management of irrigation water for carrot under constant and optimized regulated deficit irrigation in Brazil. *Agricultural Water Management*, 192, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.018>
- Lima, F. A., Córcoles, J. I., Tarjuelo, J. M., & Martínez Romero, A. (2019). Análisis del comportamiento de una red colectiva de riego considerando la programación de riego en parcela. *Ingeniería Del Agua*, 23(2), 77. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.9517>
- Liotta, M. (2015). Guía para la asistencia Técnica Agrícola de Nayarit. Inta, 15.
- López, E., Díaz, T., Watts, C., Rodríguez, J. C., Castellanos, A. E., Partida, L., & Velázquez, T. de J. (2015). Evapotranspiration and Crop Coefficient of Bell Pepper in Culiacan Valley, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 33(3), 209–219.
- López-Mata, E., Orengo-Valverde, J. J., Tarjuelo, J. M., Martínez-Romero, A., & Domínguez, A. (2016). Development of a direct-solution algorithm for determining the optimal crop planning of farms using deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 171, 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.015>
- López, M., Arteaga, R., Ruiz, A., Vázquez, M. (2019). Productividad del agua

normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México (Vol. 53, Issue 6, pp. 811–820).

- Lozano-Parra, J. (2018). Variabilidad Y Gestión. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 5–8. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n71/0718-3402-rgeong-71-00005.pdf>
- Mendoza, C. (5 de Agosto de 2011). El riego y las percepciones de equidad en el Sistema Carrizal-Chone: Represa multipropósito Esperanza, Ecuador. Recuperado el 25 de Agosto de 2022, de <https://edepot.wur.nl/177357>
- Mendoza, C., Sifuentes, E., Ojeda, W., & Macías, J. (2016). Respuesta del maíz regado por gravedad al riego deficitario controlado. *Revista Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(1), 29-40.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., & Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 37–50. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Mendoza-Pérez, C., Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Quevedo-Nolasco, A., Flores-Magdaleno, H., Ramírez-Ayala, C., & Ascencio-Hernández, R. (2019). Estimación de la evapotranspiración de referencia mediante atmómetro con fines de calendarización de riego. *Idesia (Arica)*, 37(4), 65–72. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292019000400065>
- Molina-Ochoa, M. J., Vélez-Sánchez, J. E., & Rodríguez, P. (2016). Efecto del riego deficitario controlado en las tasas de crecimiento del fruto de pera (*Pyrus communis* L.), var. Triunfo de Viena. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 234. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4179>
- Moreira, H., & Rivas, K. (2022). Respuesta fisiológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo estrategias de riego deficitario. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL", Calceta. Recuperado el 8 de Junio de 2022, de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1705/1/TIC_A01D.pdf
- Moreno, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Revista*

Agronomía colombiana, 27(2), 179-191.

- Munguía, J., Sánchez, F., Vizcarra, I., & Rivas, M. (2015). Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 21(4), 538–547. <http://www.rcsjournal.com/index.php/path/article/download/206/206>
- Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacon, S. P., & Hernández-Stefanoni, J. L. (2018). Modeling of seasonal leaf area index values in a tropical dry forest using high resolution satellite imagery. *Madera Bosques*, 24(3), 1–17. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431666>
- Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero, S., & Quishpe, B. (2018). Available irrigation water utilization for agricultural production in two locations of the Ecuadorian highlands. 5(1), 51–70.
- Olgún López, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Carranza Montaña, J. A., Scopel, E., Barreto García, O. A., Mancilla Villa, O. R., & Talavera Villareal, A. (2017). Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia*, 35(1), 51–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>
- Palacios-Vélez, O. L., & Escobar-Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(2), 5–16.
- Pino, M. (2017). Manabí provincia pionera del Ecuador en tenencia de ganado, no destaca en producción de leche. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Portoviejo. Recuperado el 8 de Junio de 2022, de <https://www.eumed.net/rev/cccsc/2017/01/manabi.html>
- Pino V., E., Montalván D., I., Vera M., A., & Ramos F, L. (2019). La conductancia estomática y su relación con la temperatura foliar y humedad del suelo en el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.), en periodo de maduración de frutos, en zonas áridas. *La Yarada*, Tacna, Perú. *Idesia (Arica)*, 37(4), 55–64. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292019000400055>
- Piña, S. (2015). Efecto del Secado Parcial de Raíces en la vid ‘Tempranillo’

cultivada franca de pie o injertada sobre el portainjerto Criolla Negra en campo o contenedor.

- Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Ruiz Torres, J., & Torres Moreno, M. A. (2016). Efficiency and productivity of water irrigation in wheat (*Triticum vulgare*) from Ensenada and Valle de Mexicali, Baja California, Mexico. *Acta Universitaria*, 26(1), 20–29. <https://doi.org/10.15174/au.2016.825>
- Robaina, C. F. G., Seijas, C. T. L., & Puebla, C. J. H. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 57–63.
- Rodríguez, F., Castro, A., Marín, F., Roldán, G., & Viteri Moya, F. (2019). Typical meteorological year based on the precipitation of Nanegalito and Pacto-Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(1), 197–204. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.422>
- Rovegno, F., & Giménez, L. (7 de Octubre de 2019). *Estrategias de riego para maximizar rendimiento y eficiencia de uso del agua en cultivos de maíz y soja*. Recuperado el 15 de MaYO de 2022, de Estación experimental "Dr. Mario A. Cassinoni": http://www.eemac.edu.uy/canguel/images/revistas/revista_42/C42_5%20estrategias%20riego.pdf
- Sanchez, A., & Rivera, L. (2018). Aplicación de dos modalidades de riego por goteo en el crecimiento y producción de camote (*Ipomoea batatas* L., variedad INIA 320). 79(1), 144–150.
- Servín Palestina, M., Tijerina Chávez, L., Medina García, G., Palacios Velez, O., & Flores Magdaleno, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 423. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61>
- Sifientes, E., Ojeda, W., Macías, J., Mendoza, C., & Preciado, P. (2021). Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Revista Agrociencia*, 55(3), 209-226.
- Suárez-Salazar, J. C., Rojas-Castillo, J. A., Duran-Bautista, E. H., & Ortiz-

- Cifuentes, N. (2016). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (*Theobroma grandi orum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 199. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.20814>
- Tapia, R., León, R., & Torre, C. (2021). Riego deficitario y densidad de siembra en indicadores morfofisiológicos y productivos de híbrido de maíz. *Revista Espam Ciencia*, 12(2), 131-140.
- Telleria, A. (2015). Efecto del riego deficitario en dos variedades de maíz, estrategia de adaptación al cambio climático, en la comunidad La Granja, Municipio de Palca, *Departamento de La Paz*. Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Recuperado el 26 de Abril de 2022, de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7068/T-2150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villalobos-González, A., López-Castañeda, C., Miranda-Colín, S., Aguilar-Rincón, V. H., & López-Hernández, M. B. (2017). Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1651–1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.157>
- Wang, Z., Liu, F., Kang, S., & Jensen, C. R. (2012). Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 75(3), 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.015>
- Yáñez-Yáñez, Á. W., & Villacís-Aldaz, L. A. (2016). El agua en América Latina. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 46–47. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040200046>
- YARA. (7 de Febreo de 2022). *Yara International*. Recuperado el 15 de Mayo de 2022, de <https://www.yara.com.ec/>: <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/maiz/produccion-mundial/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20a,promedio%20de%205.2%20t%2Fha>

ANEXOS

Anexo 1. Limpieza del área del ensayo



Anexo 2. Limpieza de la tubería



Anexo 3. Arreglo de tubería



Anexo 4. Ensayo del sistema de riego



Anexo 5. Proceso siembra de maíz

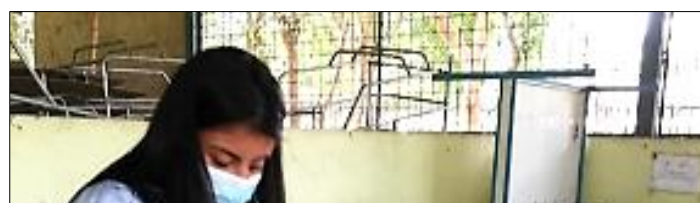


Anexo 6. Disposición de los tratamientos



Anexo 7. Instalación de sensores a 20,40 y 60 cm**Anexo 8. Riego de los tratamientos**

Anexo 9. Medición altura de la planta**Anexo 10. Muestras para cálculo de biomasa**

Anexo 11. Muestras al azar para determinación de biomasa**Anexo 12. Preparación de muestra para determinación de biomasa****Anexo 13. Corte y llenado de la muestra**

Anexo 14. Determinación de biomasa en el laboratorio

Anexo 15. Medición mediante el equipo TDR**Anexo 16. Toma de datos con el porómetro**