



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

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

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

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**RESPUESTA AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO
ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO**

AUTORES:

**VERLIS JOSUE SALTOS BRIONES
JONATHAN ALEXANDER SOLÓRZANO SOLÓRZANO**

TUTOR:

ING. JAVIER MENDOZA VARGAS, M.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE 2021

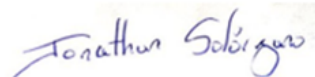
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **VERLIS JOSUÉ SALTOS BRIONES**, con cedula de ciudadanía 131335264-1 y **JONATHAN ALEXANDER SOLÓRZANO SOLÓRZANO**, con cedula de ciudadanía 13147096-1 declaramos bajo juramento que el trabajo de integración Curricular Titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y 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 nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre esta obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, de Creatividad e Innovación.



.....
VERLIS J. SALTOS BRIONES



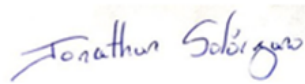
.....
JONATHAN A. SOLÓRZANO SOLÓRZANO

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **VERLIS JOSUÉ SALTOS BRIONES**, con cedula de ciudadanía 131335264-1 y **JONATHAN ALEXANDER SOLÓRZANO SOLÓRZANO**, con cedula de ciudadanía 13147096-1 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: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



.....
VERLIS J. SALTOS BRIONES



.....
JONATHAN A. SOLÓRZANO SOLÓRZANO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. JAVIER MENDOZA, M.sc, certifico haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO**, que ha sido desarrollado por **VERLIS JOSUÉ SALTOS BRIONES** y **JONATHAN ALEXANDER SOLÓRZANO SOLÓRZANO**, 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. JOSÉ JAVIER MENDOZA VARGAS, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) BAJO ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO**, que ha sido desarrollado por **VERLIS JOSUÉ SALTOS BRIONES** y **JONATHAN ALEXANDER SOLÓRZANO SOLÓRZANO**, previo 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. Sergio Vélez Zambrano. M.Sc.
MIEMBRO

.....
Ing. Cristian Valdivieso López. M.Sc.
MIEMBRO

.....
Ing. Galo Cedeño García. M.Sc.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día; Al Ing. Cristian Valdivieso López. M.Sc. por habernos guiado de manera muy correcta en nuestra tesis. Al Ing. Javier Mendoza, M.Sc. por ser nuestro tutor en todo el proceso y desarrollo de la tesis.

A nuestros padres por todo el apoyo incondicional brindado durante todo este proceso y que son nuestros pilares esenciales día a día.

A nuestros profesores por brindarnos las herramientas necesarias y adecuadas para nuestro crecimiento profesional e individual. Y finalmente a nuestros familiares, amigos y demás personas que nos motivaron a lo largo de nuestra carrera con su apoyo incondicional.

Verlis Josué Saltos Briones y Jonathan Alexander Solórzano Solórzano

Autores

DEDICATORIA

Dedicamos nuestro proyecto de tesis a Dios quien ha sido nuestro guía y fortaleza durante todo este tiempo.

A nuestros padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzos nos permitieron llegar a cumplir las metas propuestas, por ser quienes nos han guiado por el camino del bien y por ser parte fundamental en nuestras vidas porque con su sabiduría nos han sabido guiar en los buenos y malos momentos de nuestras vidas.

Verlis Josué Saltos Briones y Jonathan Alexander Solórzano Solórzano
Autores

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. MAÍZ (Zea mays)	5
2.2. TAXONOMÍA	5
2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	5
2.3.1. RAÍZ	5
2.3.2. TALLO	5
2.3.3. HOJAS.....	6
2.3.4. FLORES.....	6
2.3.5. GRANOS	6
2.4. PRODUCCIÓN DE MAÍZ A NIVEL NACIONAL.....	6
2.5. RIEGO.....	7
2.6. RESPUESTA DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS AL RIEGO.....	7
2.7. RIEGO DEFICITARIO	8
2.8. RIEGO POR GOTEO	9
2.9. MOPECO (Modelo de Optimización Económica del Riego).....	10
2.10. ORDI (Riego Deficitario Controlado Optimizado).....	11
2.11. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc).....	11
2.12. FACTOR DE RESPUESTA DEL RENDIMIENTO (Ky)	12
2.13. SECADO PARCIAL DE RAICES (PRD)	13

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	15
3.1. UBICACIÓN.....	15
3.2. DATOS CLIMÁTICOS.....	15
3.3. MATERIAL VEGETAL.....	16
3.4. FACTOR EN ESTUDIO.....	16
3.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	16
3.6. TRATAMIENTOS.....	16
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	16
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
3.9. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	17
3.9.1. TRATAMIENTO 1.....	17
3.9.2. TRATAMIENTO 2.....	17
3.9.3. TRATAMIENTOS 3 Y 4.....	17
3.9.4. TRATAMIENTOS 5 Y 6.....	18
3.10. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL (UE).....	18
3.11. ESQUEMA GRAFICA DE LOS TRATAMIENTOS.....	19
3.12. MANEJO DEL CULTIVO	19
3.12.1. PREPARACIÓN DEL SUELO.....	19
3.12.2. SIEMBRA	19
3.12.3. CONTROL DE MALEZAS	20
3.12.4. RIEGO.....	20
3.12.5. FERTILIZACIÓN.....	20
3.13. VARIABLES A EVALUAR	21
3.13.1. DIÁMETRO DE MAZORCA.....	21
3.13.2. LONGITUD DE MAZORCA.....	21
3.13.3. NÚMERO DE HILERAS.....	21
3.13.4. NÚMERO DE GRANOS POR HILERAS.....	21
3.13.5. PESO DE 100 GRANOS.....	21
3.13.6. RENDIMIENTO.....	21
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. LONGITUD DE LA MAZORCA.....	22
4.2. DIÁMETRO BASE DE MAZORCA	22
4.3. DIÁMETRO ECUATORIAL.....	23
4.4. NÚMERO DE HILERAS.....	24
4.5. NÚMERO DE GRANOS POR HILERA.....	25
4.6. PESO DE 100 GRANOS.....	26

4.7.	RENDIMIENTO Mg Ha ⁻¹	27
4.8.	PRODUCTIVIDAD DE AGUA	28
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		29
5.1.	CONCLUSIONES.....	29
5.2.	RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA.....		30
ANEXOS		35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre la longitud de mazorca en maíz amarillo duro.....	22
Figura 3. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el diámetro ecuatorial de mazorca en maíz amarillo duro.....	24
Figura 4. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el número de hileras en maíz amarillo duro.....	25
Figura 5. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el número de granos por hilera en maíz amarillo duro.....	26
Figura 6. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el peso de 100 granos en maíz amarillo duro.....	26
Figura 7. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el peso de 100 granos en maíz amarillo duro.....	28

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta agro-productiva del cultivo de maíz bajo el efecto de estrategias de riego, 1 sin déficit hídrico y 5 con déficit hídrico, para lo cual se evaluaron las siguientes variables como la longitud de la mazorca, diámetro de la base diámetro ecuatorial, número de hileras, gramos de hilera peso (100 g) y peso por parcela de 10 mazorcas se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) para bloquear la pendiente. Como resultado se determinó que el tratamiento T100 (Relación ETa/ETm 1) obtuvo el mayor rendimiento con un $10,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el T50 (Relación ETa/ETm 0,5) obtuvo el mejor resultado en cuanto a la productividad del agua con $57,87 \text{ kg mm}^{-1}$.

PALABRAS CLAVES

Productividad del agua; MOPECO; ORDI; MAIZ; PRD.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the agro-productive response of the corn crop under the effect of irrigation strategies, 1 without water deficit and 5 with water deficit, for which the following variables were evaluated, such as the length of the corn cob, diameter of the base equatorial diameter, number of rows, grams of row weight (100 g) and weight per plot of 10 ears, a completely randomized block design (DBCA) was used to block the slope. As a result, it was determined that the T100 (ETa / ETm 1 Ratio) obtained the highest yield with 10.92 Mg ha⁻¹ and the T50 (ETa / ETm 0.5 Ratio) obtained the best result in terms of the productivity of the water with 57.87 kg mm⁻¹.

KEY WORDS

Water productivity; MOPECO; ORDI; MAIZ; PRD.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La escasez de agua es uno de los principales problemas que afecta la producción agrícola, ocasionando limitaciones en la producción agropecuaria y la actividad productiva de los cultivos. En estas condiciones se hace necesario reducir el consumo de agua limitando la cantidad aplicada, distribuyéndola con mayor eficiencia y evitando pérdidas innecesarias (Sánchez y Meza 2015).

Pese a que el agro se ha desarrollado notablemente aún queda mucho por hacer en materia de agricultura y riego tecnificado, es así, que existen problemas de desperdicio y mal utilización del agua de riego, respondiendo a varios factores como la falta de capital para invertir en la tecnificación de riego, desconocimiento de la población sobre obras de riego tecnificado, factores culturales, entre otros (Layedra 2020).

Se ha pronosticado que para el año 2050 la demanda de ciertas gramíneas como es el caso del maíz (*Zea mays*) ascenderá a unos 3300 millones de toneladas/año, toda esta producción tendrá que proceder de las tierras agrícolas existentes. Pero un tercio de los suelos se está degradando y la proporción de agua disponible para los agricultores disminuyendo (FAO 2016).

Según la (ESPAC 2017) la superficie bajo riego en Ecuador es del 21,38 %; y sin regar el 78,62 %, por lo que resulta importante la implementación de sistemas o proyectos de regadío que permitan el desarrollo de una agricultura sostenible, especialmente para los pequeños agricultores.

Problemas como el cambio climático, sequías, la baja productividad de los suelos y sumando a todo esto la baja disponibilidad de agua, por lo cual se considera necesario plantear nuevas estrategias de riego deficitario y más aún en un cultivo de interés como el maíz.

Manabí siendo una de las provincias con mayor potencial agropecuario se ve afectada principalmente por las sequías, donde según datos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), destaca que Manabí es

una de las provincias más afectadas con cuatro sequias en los últimos doce años, afectado fuertemente al campo, y de esta manera a las familias campesinas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Manabí es la provincia con mayor superficie de labor agropecuaria del país, con más de un 20 % de participación nacional, lo que pone de manifiesto el potencial productivo. Dentro de los cultivos con importancia comercial está el maíz; según el (INEC 2018) en la provincia de Manabí, en el año 2017 la superficie cosechada de maíz fue de 91.234 ha, y una producción de 404.631 Mg, lo cual ubica a la provincia como el segundo productor a nivel nacional siendo de esta manera un cultivo con un alto valor agro socio-económico.

Como alternativa para cumplir este objetivo de ser más eficiente aparece el riego deficitario, lo cual consiste en aplicar una lámina de riego inferior a la requerida por el cultivo y así se consigue mejorar la productividad del agua bajando el rendimiento del cultivo. Según (Ferreeres y Soriano 2007), el riego deficitario en un futuro será la norma y no la excepción, el manejo de este sistema pasará de enfatizar la producción por unidad de área a maximizar la producción por unidad de agua consumida todo esto referente en cuanto a la productividad del agua.

Según el objetivo 6 de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible impuesta por la comisión económica para América Latina el Caribe (CEPAL), el cual trata sobre garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, la presente investigación se ajusta a la meta 6.4 la cual menciona que de aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la respuesta agronómica del cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo estrategias de riego deficitario.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto del riego deficitario sobre el rendimiento agro productivo del cultivo.
- Determinar la estrategia de riego deficitario sobre la productividad del agua.

1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER

La aplicación de riego deficitario modifica el rendimiento agro productivo y mejora la productividad del agua.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. MAÍZ (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays*.) es originario de América de sur perteneciente a la familia de las gramíneas, es cultivada normalmente para el aprovechamiento de sus granos por lo que se ha extendido a regiones templadas y cálidas alrededor del mundo, siendo una planta forrajera con numerosas aplicaciones industriales (Castillo 2015).

2.2. TAXONOMÍA

Según (Masaquiza 2016), la clasificación taxonómica del maíz es:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Poales
- Familia: *Poaceae*
- Género: *Zea*
- Especie: *mays*

2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Según (Badillo 2016), la descripción botánica del maíz es:

2.3.1. RAÍZ

En esta planta, el fruto y la semilla forman un solo elemento: el grano o cariósido. Posee una raíz fibrosa y fasciculada la cual sirve de anclaje, de ella sobresalen nudos a nivel del suelo y suele aparecer en aquellas raíces secundarias o adventicias.

2.3.2. TALLO

El tallo de la planta de maíz es erecto y robusto que no presenta ramificaciones, puede alcanzar un diámetro de 3cm y con una longitud aproximada de 1 a 2,50 m según la variedad.

2.3.3. HOJAS

Sus hojas son de forma alargada, lanceoladas y afiladas bordeando al tallo con presencia de vellosidad en el haz, suelen alcanzar una longitud de 40 a 50 cm y una anchura de 6-8 cm.

2.3.4. FLORES

Es una planta monoica que posee flores masculinas y femeninas, donde las flores masculinas se encuentran en el penacho terminal del tallo conocido normalmente como la espiga o panícula y las flores femeninas que son un brote embrionario y se encuentran en las yemas axilares.

2.3.5. GRANOS

El grano de maíz es de color amarillo de forma prismática u ovoidal, compuesto por hileras longitudinales que se encuentran en la mazorca, insertándose en ella por el pedúnculo de la flor poseyendo aproximadamente entre 10 a 22 líneas.

2.4. PRODUCCIÓN DE MAÍZ A NIVEL NACIONAL

Dentro de la producción agrícola el maíz es uno de los principales cultivos a lo largo del país por su amplia versatilidad, en donde se derivan una serie de productos, siendo una fuente de alimento a millones de personas dentro del territorio nacional. (Sánchez 2014).

En Ecuador el maíz (*Zea mays*) es uno de los rubros agrícolas más importante del país según datos oficiales en el año 2018 en donde se cosecharon 383.339 hectáreas. Se automatiza que de este cultivo alrededor del 45,4% de la producción se concentra en la provincia de los Ríos y un 24,9 % en la provincia de Manabí (INEC 2019).

Según el (INIAP 2012) la producción de maíz se encuentra en un 70 % dirigido a la industria de alimentos de uso animal y que la mayor superficie sembrada corresponde a la Costa con un 63% seguido de la Sierra con un 24% finalmente la Amazonia con 13%.

2.5. RIEGO

Según (Ogasawara 2017) el riego se desarrolló entre los años de 1970 a 1987 en toda América Latina con una extensión de 10 a 15 millones de hectáreas y que los países que registran mayores incrementos en lo que a superficies de riego se refiere son Brasil y México. Por otra parte (Demin 2014) manifiesta que para que la planta pueda tener un crecimiento y desarrollo óptimo necesita de la absorción de agua y que si el contenido del agua del suelo es baja se dificulta su absorción, por lo que es indispensable regar para retribuir y quede disponibilidad de agua en el cultivo previamente establecido. Existen formas diferentes de realizar un riego, aunque no existe uno mejor que otro, sino que cada uno se adapta mejor a cada escenario en particular, aunque presentan diferencias en la eficiencia de aplicación del agua.

Dentro de la programación de un sistema de riego se consideran las pérdidas que ocurren con el propósito de asegurar un abastecimiento adecuado y oportuno de agua para el riego en los cultivos, colectivamente con una programación adecuada basada generalmente en la medición del contenido de agua del suelo y sus parámetros meteorológicos y así poder calcular la evapotranspiración. La programación del riego basada en el estado del agua del cultivo debería ser más ventajosa ya que los cultivos responden tanto al suelo como al ambiente (*Çolak et al. 2017*).

Dentro del ámbito de la producción agrícola y otros aspectos relacionados, se tiene al riego como un factor clave para poder reducir la inseguridad productiva inducida por la irregularidad de ciclos estacionales como son los inviernos cortos y los veranos largos; viabilizando el aumento y variación de los cultivos, así como el desarrollo de cultivos en lugares en los que normalmente no se los podría producir por las diferentes condiciones climáticas (Cholango y Ramos 2019).

2.6. RESPUESTA DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS AL RIEGO

Existe una relación directa e inseparable entre la producción de alimentos y el uso del agua. En todo el mundo, el agua siempre ha sido un recurso que restringe la producción agrícola, especialmente donde las lluvias no pueden satisfacer las necesidades de los cultivos o donde los cambios en el tiempo y el espacio no

pueden satisfacer estas necesidades. En la actualidad, la competencia por los recursos hídricos es cada vez más feroz. Debido al crecimiento de la población, la demanda de alimentos también está aumentando. Por lo tanto, es importante mejorar la eficiencia y productividad del uso del agua y hacer realidad la producción de los sectores agrícolas que puede satisfacer esta demanda. Por lo tanto, al mismo tiempo que garantiza la seguridad alimentaria en los próximos años, también se enfrenta a impactos relacionados con el cambio climático. (FAO 2012).

Estudiar la función de producción del agua y utilizar estos resultados en la planificación del uso y la gestión del agua se ha convertido en una herramienta importante y muy valiosa para la implementación de planes de gestión que pueden aumentar la producción del sector agrícola y mejorar la eficiencia del uso del agua. Conocer la función de producción de agua es muy importante para la planificación y operación de los sistemas de riego, porque estos datos pueden mejorar la gestión del agua y establecer normas o estándares en la distribución, de manera que se pueda utilizar la menor cantidad de agua posible para maximizar la producción agrícola. (González *et al.*, 2013).

2.7. RIEGO DEFICITARIO

La aplicación de riego deficitario, permite un ahorro sustancial de agua, y maximizando la productividad del mismo. Además, existen modelos matemáticos aplicados a la optimización de la asignación del agua de riego que junto a estrategias de riego deficitario resultan una importante herramienta de apoyo a la toma de decisiones (Anapalli *et al.*, 2016).

El riego deficitario es una estrategia de manejo en la que se utiliza el agua según la etapa fenológica del cultivo. Como resultado, diferentes condiciones de manejo del riego pueden conducir a cambios importantes en la producción, la calidad de la fruta y una reducción en el consumo de agua. El riego deficitario requiere una comprensión precisa de la respuesta de los cultivos al estrés hídrico y la tolerancia a la sequía, según el genotipo y el período fenológico. Para diseñar una estrategia exitosa de riego deficitario desde la perspectiva del desarrollo y la optimización, debe combinarse con modelos de productividad agrícola e investigación de campo. (Lagos *et al.*, 2017).

La utilización del riego deficitario ha sido ampliamente debatida como una valiosa herramienta sostenible, para la producción estratégica de alimentos en regiones donde hay un acceso limitado de recursos hídricos para llevar a cabo una explotación agrícola. Este tipo de riego consiste en limitar las aplicaciones de agua en las etapas de crecimiento sensibles a la sequía, esta práctica apunta a maximizar la productividad del agua y estabilizar los rendimientos de cualquier cultivo (Geerts y Raes 2009).

La aplicación de varios niveles de riego deficitario puede tener varios efectos en un cultivo tales como el intervalo de anthesis-sedación, altura de la planta, diámetro de la mazorca, longitud, número de grano y peso de los granos, en función a esto se puede determinar una estrategia para definir una dosis en función a los recursos disponibles y a los genotipos empleados (Aydinsakir *et al.* 2013).

El riego deficitario ha logrado aumentar la productividad del agua de varios cultivos y la disminución del rendimiento causada por ella es muy pequeña. Sin embargo, se debe garantizar una cantidad mínima de humedad. El riego por escasez de agua requiere una comprensión precisa de la respuesta de los cultivos al estrés por sequía, porque la tolerancia a la sequía varía con los genotipos y las etapas fenológicas del cultivo. (Geerts y Raes 2009).

2.8. RIEGO POR GOTEO

El riego localizado es, especialmente, adecuado para el suministro de pequeñas dosis con alta frecuencia, lo que permite mantener la mayor parte del suelo en buenas condiciones de aireación y de humedad, evitando el estrés hídrico. Por otro lado, cuando el riego es frecuente, se mantiene baja la concentración de la solución del suelo, lo que hace posible la utilización de agua con un contenido en sales más elevado que con los otros métodos de riego.

El rasgo distintivo del riego por goteo es que provee a la planta la cantidad exacta de agua que necesita; además ofrece otros beneficios, entre ellos la reducción del consumo de agua y de mano de obra, un mejor manejo de la fertilización y del control de plaga y enfermedades; sin embargo, una de las principales limitantes del riego localizado está relacionada con su alto costo de inversión y manejo del sistema

(Peñañiel 2015). En cuanto a las necesidades hídricas, (León *et al.* 2018) plantea que la cantidad y la frecuencia de riego varían con el tipo de suelo y las condiciones climáticas; en ausencia de lluvia es necesario dar de 14 a 18 riegos durante el ciclo.

Según (Lardizábal 2011) proporciona las siguientes ventajas:

- El riego por goteo es uno de los sistemas con mayor eficiencia al momento de aplicar un riego, con un 40% más eficiente que el riego por gravedad y hasta un 25% más eficiente que el de aspersión.
- Tiene la cualidad de poder aplicar de una serie de agroquímicos con igual eficiencia con lo cual se reduce el uso de ellos y a controlar mejor las plagas y enfermedades.
- Por el tipo de riego se puede controlar mejor las malezas ya que solo crecen en donde se encuentra la cinta de goteo
- Se obtiene un balance en la humedad constante del suelo evitándole el estrés, logrando con esto un cultivo más vigoroso.
- Se necesitan menos cantidades de agua
- Requiere de presiones más bajas de trabajo en comparación al riego por aspersión.
- Reduce erosión en comparación a los otros riegos.
- Se controla la lixiviación de los nutrientes del suelo.

2.9. MOPECO (Modelo de Optimización Económica del Riego)

El modelo MOPECO (Modelo de Optimización Económica del riego), desarrollado por CREA es un modelo que ayuda a la toma de decisiones, pudiendo elegir la distribución de los cultivos para maximizar el margen de beneficio bruto de riego. Además, el modelo también puede proporcionar una gran cantidad de resultados, estos resultados son muy útiles para agricultores, técnicos e investigadores, tales como programa de riego, función "riego / margen bruto"; función "bruto / riego", riesgos relacionados con la obtención una cierta ganancia bruta Etc.) En una amplia gama de situaciones diferentes, el modelo está diseñado para ser particularmente útil en la gestión de áreas de riego con problemas de escasez de agua.

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/o 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 se debe asignar a cada cultivo para maximizar la rentabilidad. Los datos requeridos para realizar esta tarea de optimización son las relaciones entre el margen bruto y la lámina de riego (López *et al.*, 2016).

2.10. ORDI (Riego Deficitario Controlado Optimizado)

El uso eficaz y racional de los recursos hídricos es una prioridad para el sector agrícola. Los modelos de simulación de cultivos se utilizan como herramientas para ayudar a administrar los recursos disponibles, aumentar la productividad y ahorrar costos. El método ORDI optimiza la distribución del agua disponible para riego a lo largo del ciclo del cultivo en condiciones de escasez de agua. A lo largo del ciclo del cultivo, este método puede maximizar los rendimientos a un nivel de déficit objetivo. (Conceição *et al.* 2015).

Los mismos autores continúan manifestando que La metodología ORDI puede maximizar el rendimiento a un cierto nivel de ET_a / ET_m . Los datos de entrada de este modelo son: rendimiento potencial, ET_m acumulada de cada etapa de desarrollo del cultivo, valor K_y (coeficiente de sensibilidad al estrés hídrico) de cada etapa de desarrollo, el área debe calibrarse con anticipación y la variedad, relación ET_a / ET_m . Usando software de optimización no lineal, ORDI puede determinar la relación ET_a / ET_m teórica para cada etapa de K_y , maximizando así el rendimiento del cultivo.

2.11. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c), que se refiere a la evapotranspiración, es el coeficiente de un cultivo sano que crece en campos amplios, en condiciones óptimas de disponibilidad de agua en el suelo y de fertilidad, y que puede alcanzar por completo el potencial de producción en las condiciones de crecimiento dadas (Diaz y Pretel 2015).

El K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo por lo que gran parte del inadecuado manejo o del uso del agua obedece al cálculo sobreestimado de las láminas de riego, la cual se debe por

el desconocimiento del coeficiente del cultivo. Este coeficiente ha sido definido como la relación que existe entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial (Allen *et al.* 2005).

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo, expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo.

Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\text{ ini}}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\text{ med}}$) y la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$). (Allen *et al.* 2006).

Según (Vasquez *et al.* 2017) los factores que afectan los valores de K_c son principalmente las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del período vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de crecimiento por lo que el K_c de cada cultivo tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo en donde los autores destacan las siguientes:

- **Fase inicial o Fase 1:** Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo, desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal.
- **Fase de desarrollo del cultivo o Fase 2:** Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden de 70 – 80% c.
- **Fase de mediados del periodo o Fase 3:** Comprendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.
- **Fase final del periodo vegetativo (cosecha) o Fase 4:** Comprende desde el final de la fase anterior hasta que llega a la plena maduración o cosecha

2.12. FACTOR DE RESPUESTA DEL RENDIMIENTO (K_y)

El factor de respuesta del rendimiento (K_y) captura la esencia de la compleja

relación entre la producción y el uso de agua en los cultivos, en los que ocurren procesos biológicos, físicos y químicos. Esta relación muestra una validez significativa y proporciona un método utilizable para cuantificar el impacto de la escasez de agua en la producción. (FAO 2012).

Los valores de K_y son específicos para cada cultivo y varían durante el período de crecimiento, según las etapas de crecimiento las cuales comprenden:

- $K_y > 1$: la respuesta del cultivo es altamente sensible al déficit hídrico, con una disminución del rendimiento proporcionalmente mayor que la disminución del uso del agua debido al estrés.
- $K_y < 1$: el cultivo es más tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés, mostrando disminuciones del rendimiento proporcionalmente menores, debidas a la disminución del uso del agua.
- $K_y = 1$: la disminución del rendimiento es directamente proporcional a la disminución del uso del agua.

2.13. SECADO PARCIAL DE RAICES (PRD)

Para no reducir los rendimientos de los cultivos, la aplicación del déficit hídrico para ahorrar agua de riego, la tecnología de riego por déficit de secado parcial de raíces, comúnmente conocida como PRD (del acrónimo en inglés de Partial Rootzone Drying). Es una tecnología de riego local desarrollada en Australia que puede ahorrar agua de manera significativa sin reducir el rendimiento y la calidad de los cultivos. (Atoccsa 2015).

El PRD es una técnica de riego deficitario en la que parte del sistema radicular se mantiene húmedo para garantizar un suministro de agua limitado para mantener la vitalidad de la parte aérea, mientras que la otra parte del sistema radicular se mantiene seca, liberando así señales bioquímicas que se transportan a las hojas a través del xilema, ajusta la apertura de los estomas y limita la pérdida de agua por transpiración. Considerando que el delta del río Pearl es una estrategia potencial para ahorrar agua de riego; en este sistema se riega alternadamente sólo una parte del sistema radicular y su complemento se deja sin riego, hasta un determinado nivel de agotamiento de la humedad en el suelo (Sánchez y Meza 2015).

El propósito del riego alternativo es promover la producción de señales químicas de ácido abscísico (ABA). El ácido abscísico es una hormona reguladora de la conductancia estomática. La señal química proviene de las raíces en el lado seco, lo que reduce la conductancia estomática, la transpiración y la yema. crecimiento, manteniendo el suministro de agua a los cultivos desde las raíces de la parte del suelo húmedo para evitar daños graves causados por la falta de agua (Atoccsa 2015).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Calceta-Manabí, en el campus de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ubicada entre las coordenadas UTM 17 M 591209 m E 9909170 m S a una altitud de 18 m.s.n.m. durante el año 2020 en los meses de agosto a diciembre.



Figura. *Área del ensayo. Fuente: 2020 Google.*

3.2. DATOS CLIMÁTICOS

Los datos climáticos han sido obtenidos del registro histórico de la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí dichos datos son medias de 2011-2019

	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	84,7 6	0,64
Noviembre	2	90,59	30,44	22,26	84,8 4	0,63
Diciembre	41	77,87	30,45	22,27	84,9 0	0,57
Media		90	30	22	84	0,54
Σ anual	105 8	1082				

3.3. MATERIAL VEGETAL

Se utilizo el hibrido de maíz DASS 3383 SEMILLA DOW AGROSCIENCE.

3.4. FACTOR EN ESTUDIO

- Estrategias de riego deficitario

3.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

- Experimental

3.6. TRATAMIENTOS

La distribución de los tratamientos de esta presente investigación se presenta en la siguiente tabla:

TRATAMIENTOS

T1	Tratamiento control 100%
T2	ORDI 70 %
T3	ORDI 70 %+PRD 1S
T4	ORDI 70 %+PRD 2S
T5	PRD 70% 1S
T6	PRD 70% 2S

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se lo realizo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) realizando 6 tratamientos con 4 réplicas, para bloquear la pendiente del suelo.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se muestra a continuación:

ADEVA

Fuente de variación	GL
Total	23
Tratamiento	5
Bloque	3
Error experimental	15

3.9. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

3.9.1. TRATAMIENTO 1

El tratamiento 1 consistió en aplicar el 100 % de las necesidades hídricas del cultivo evitando que el mismo sufra un estrés hídrico. Para preparar el calendario de riego, se utilizó el año típico meteorológico (ATM) y durante el ensayo se irá reemplazando los datos climáticos calculados por valores observados. El riego se lo realizará mediante una cinta de riego por goteo ubicada a los lados de la hilera del cultivo. La dotación de agua prevista para este tratamiento es de 225 mm.

3.9.2. TRATAMIENTO 2

El tratamiento 2, consistió en aplicar la metodología ORDI 70% (Riego Deficitario Controlado y Optimizado) para volúmenes limitados. ORDI, considera los coeficientes del cultivo de maíz (K_y) y distribuye el agua (volumen limitado) a lo largo de la fase del cultivo logrando maximizar el rendimiento. El riego se lo realizará mediante una cinta de riego por goteo ubicada a los lados de la hilera del cultivo. La dotación de agua prevista para este tratamiento es de 157.5 mm.

3.9.3. TRATAMIENTOS 3 Y 4

Con el fin de determinar una nueva metodología se procedió a combinar dos metodologías de riego, por un lado, ORDI (Riego Deficitario Controlado Optimizado) el cual se encarga de distribuir la cantidad de agua aplicar según la etapa del desarrollo del cultivo y por otro lado la metodología PRD (Secado Parcial de Raíces) el cual consiste en la aplicación alternada del lado izquierdo o derecho de las raíces de las plantas.

En el tratamiento 3 se aplicó ORDI al 70 % más PRD alternando una semana el lado de las raíces que se riega y en el tratamiento 4 se aplicó ORDI al 70 % más PRD alternando dos semanas el lado de las raíces que se riega

3.9.4. TRATAMIENTOS 5 Y 6

El tratamiento 5 y 6 consistió en emplear la metodología PRD aplicando el 70% de agua prevista para el cultivo (157.5 mm). El tratamiento 5 se alternó cada semana el lado de raíces que se riega y en el tratamiento 6 se alternó cada 2 semanas.

3.10. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL (UE)

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

3.11. ESQUEMA GRAFICA DE LOS TRATAMIENTOS

	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 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

3.12. MANEJO DEL CULTIVO

Para garantizar un trabajo de calidad y por ende resultados confiables se le dio el siguiente manejo al cultivo:

3.12.1. PREPARACIÓN DEL SUELO

La preparación del suelo se realizó mediante labores de corte, limpieza de maleza y luego se procederá a arar el suelo para oxigenarlo y por lo consiguiente promover un buen desarrollo radicular de la planta.

3.12.2. SIEMBRA

La siembra se realizó durante el mes de agosto del 2020, se empleó el híbrido DASS 3383, con un distanciamiento de siembra, (0,70 x 0,20 m), depositando de forma manual una semilla por sitio.

3.12.3. 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 para gramíneas y maleza de hoja ancha, aplicando glifosato y amina a los 30 y 60 días después de la siembra.

3.12.4. RIEGO

Para la programación de riego se calculó el año Típico Meteorológico (TMY), mediante los datos climáticos de los años 2011 hasta el 2019, el cual constituye una alternativa para caracterizar el clima, mediante la identificación del mes que mejor representa las características medias de ese mes a partir de registros de varios años. También se utilizó MOPECO para la creación de los calendarios de riego, el cual diariamente se iba actualizando con los datos climáticos diarios; programando un calendario de riego para el T1, otro calendario para los T2, T3 y T4 y otro calendario para el T5 y T6.

3.12.5. FERTILIZACIÓN

Dado el análisis de suelo y la demanda nutricional del cultivo (Anexo 1) se recomendó el siguiente plan de fertilización.

PLAN DE FERTILIZACION PARA MAIZ

Fuentes fertilizantes	Kg/ha						g/ha				
	Cantidad (Kg/ha/año)	N	P ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	S	Zn	B	Mn	Fe	Cu
MicroEssential SZ	100	12	40			10	1000				
Korn Kali	375			150	23	19		800			
Sulfato de Mg	100				25	20					
Urea	400										
TOTAL	975	200	40	150	18	49	100	800	0	0	0

Cantidad de fertilizante a aplicarse 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

Costo de fertilización			
Fuente	Cantidad	Precio U	TOTAL
MESZ	2	32	64
K.KALI	8	28	224
Sulfato de Mg	2	25	50
Urea	8	23	184
		Total	522

3.13. VARIABLES A EVALUAR

3.13.1. DIÁMETRO DE MAZORCA

Se tomó la muestra y se procedió a medir la zona ecuatorial y base con un calibrador. g/m²

3.13.2. LONGITUD DE MAZORCA

Se procedió a medir la mazorca desde la base de inserción hasta la punta de las mismas, con la ayuda de una cinta métrica.

3.13.3. NÚMERO DE HILERAS

Se realizó el conteo total de las hileras de las mazorcas.

3.13.4. NÚMERO DE GRANOS POR HILERAS

Se efectuó el conteo del número de granos por hilera de cada mazorca.

3.13.5. PESO DE 100 GRANOS

Se seleccionaron 100 granos por unidad experimental, se ajustaron a una humedad del 15.5% y fueron pesados en una balanza digital de precisión.

3.13.6. RENDIMIENTO

Esta variable fue evaluada al momento de la cosecha en seco donde se utilizó la formula presentada a continuación:

$$R = (\text{Numero de hileras} * \text{Numero de granos por hileras} * ((\text{peso de 100 granos})/100) * 7000 / (1000 * 1000))$$

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LONGITUD DE LA MAZORCA

La longitud de mazorca no fue influenciada significativamente ($p=0.0825$) por los tratamientos de riego deficitario. **La figura 1** muestra que, aunque no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, se puede notar una diferencia numérica de entre uno a dos centímetros de diferencia entre los tratamientos de riego deficitario y el tratamiento control con el 100% de los requerimientos hídricos del cultivo.

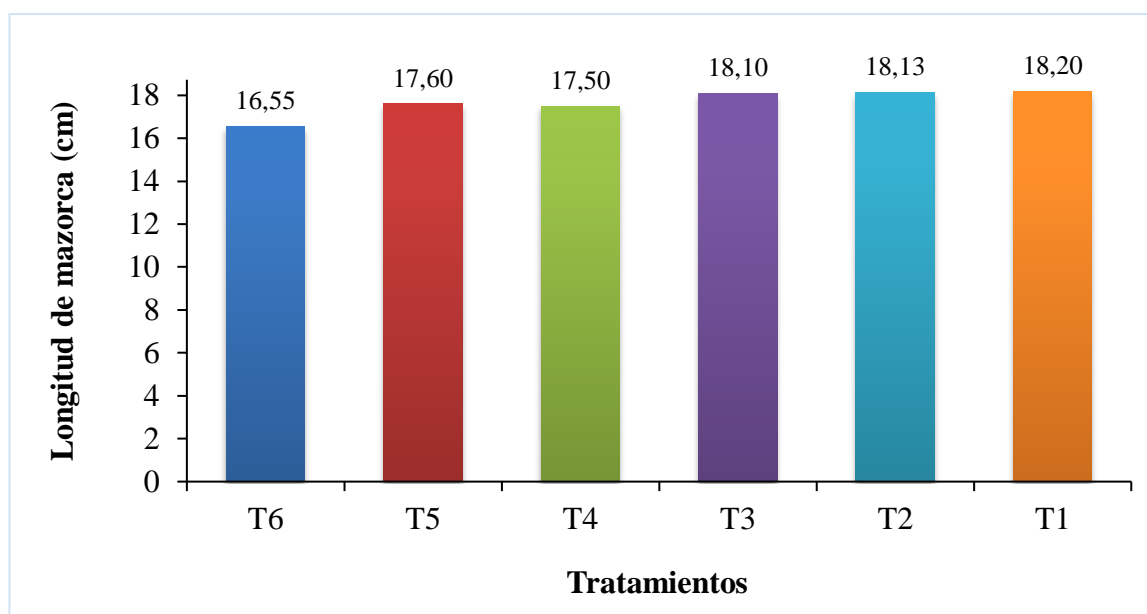


Figura 1. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre la longitud de mazorca en maíz amarillo duro.

Los resultados obtenidos se asemejan a los reportados por Diaz et al. (2009), quienes evaluaron la productividad y calidad del grano de cinco híbridos de maíz en dos localidades de la Provincia de los Ríos, definiendo que obtuvieron un promedio entre 15,35 cm y 18,14 cm dentro de las localidades evaluadas.

4.2. DIÁMETRO BASE DE MAZORCA

El diámetro base de mazorca fue influenciada significativamente ($p=0.0098$) por los tratamientos de riego deficitario (**Figura 2**). Los resultados indican que la estrategia de riego PRD 70%-2S (T6) alcanzó el menor diámetro base de mazorca con 47.25 mm, en relación a las demás estrategias de riego que obtuvieron mayores valores de diámetro base de mazorca, siendo el tratamiento ORDI-70%(T2) que logró mayor diámetro base de mazorca con 50.68 mm (Figura 2).

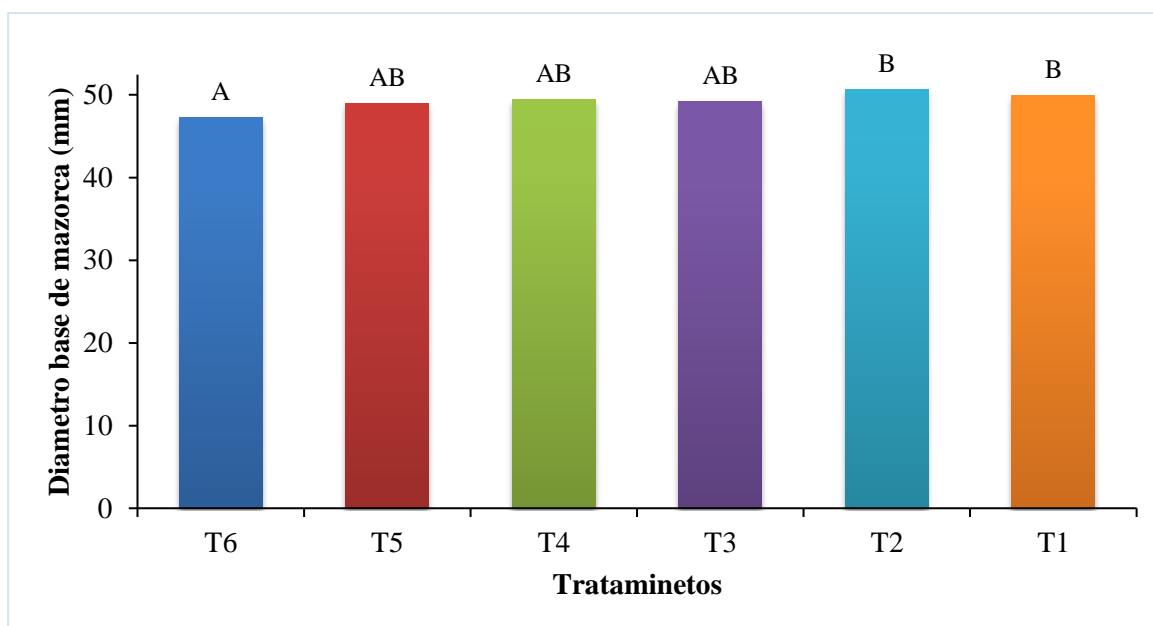


Figura 2. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el diámetro base de mazorca en maíz amarillo duro. Barras con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidades de error.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Telleria, 2015), donde evaluó el efecto del riego deficitario en dos variedades de maíz, como estrategia de adaptación al cambio climático, donde uno de sus objetivos era evaluar el efecto del riego deficitario sobre el rendimiento en el cultivo de maíz, por lo que manifiesta dentro de sus resultados que los tratamientos que sufrieron un estrés hídrico notorio se vieron afectados dentro de esta variable.

4.3. DIÁMETRO ECUATORIAL

La **Figura 3** muestra que dentro de la variable diámetro ecuatorial de mazorca los tratamientos de riego deficitario fueron influenciados significativamente ($p=0.0061$). Los resultados muestran que la estrategia de riego PRD 70%-2S (T6) alcanzó el diámetro ecuatorial de mazorca más bajo con 46.88 mm, en relación a las demás estrategias de riego que obtuvieron mayores valores, siendo el tratamiento ORDI-70% (T2) el cual logró un mayor diámetro ecuatorial de mazorca con 49.68 mm (Figura 2).

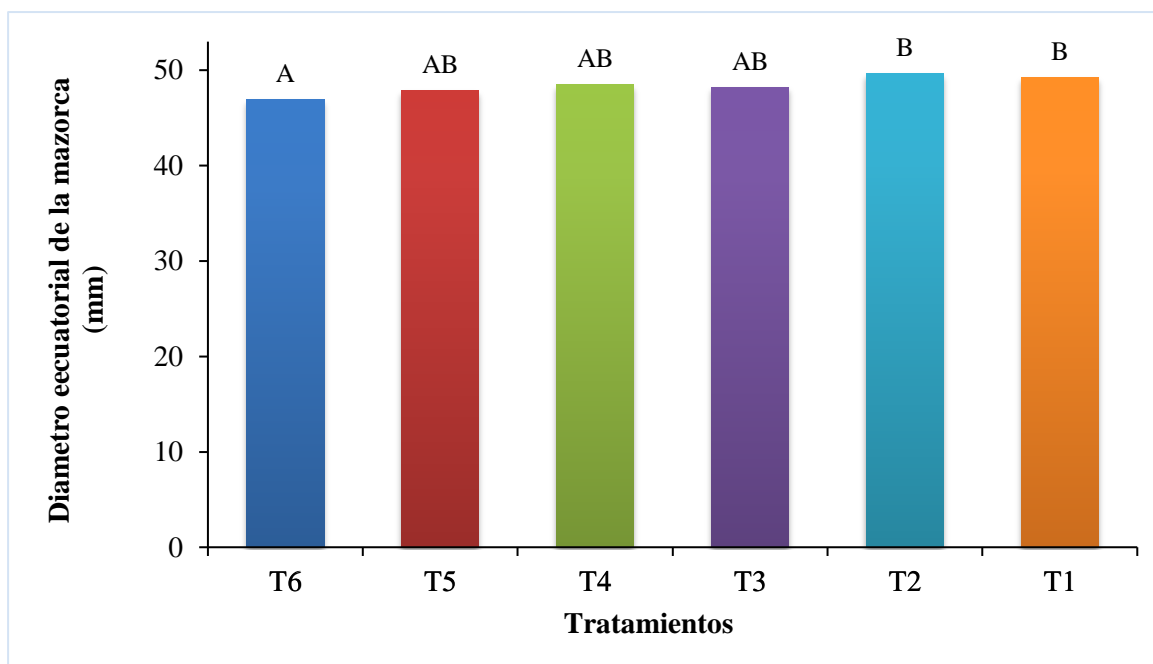


Figura 3. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el diámetro ecuatorial de mazorca en maíz amarillo duro. Barras con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidades de error.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Valero *et al.* (2017), donde evaluó el efecto del déficit de suministro de agua en el rendimiento y en la calidad de un cultivo de maíz dulce, por lo que refleja en sus resultados que los tratamientos que sufrieron el efecto del déficit de suministro de agua se vieron afectados dentro de esta variable.

4.4. NÚMERO DE HILERAS

El número de hileras no se vio influenciado significativamente ($p=0.2355$) por los tratamientos de riego deficitario. La **figura 4** muestra que, aunque no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, se puede notar una diferencia numérica de un centímetro de diferencia entre el tratamiento PRD 70%-2S (T6) con los demás tratamientos.

Estos datos concuerdan con los expuestos por Ángeles *et al.* (2010), quienes evaluaron la caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz, definiendo que obtuvieron un promedio dentro de esta variable entre 11 a 14 hileras dentro de su investigación.

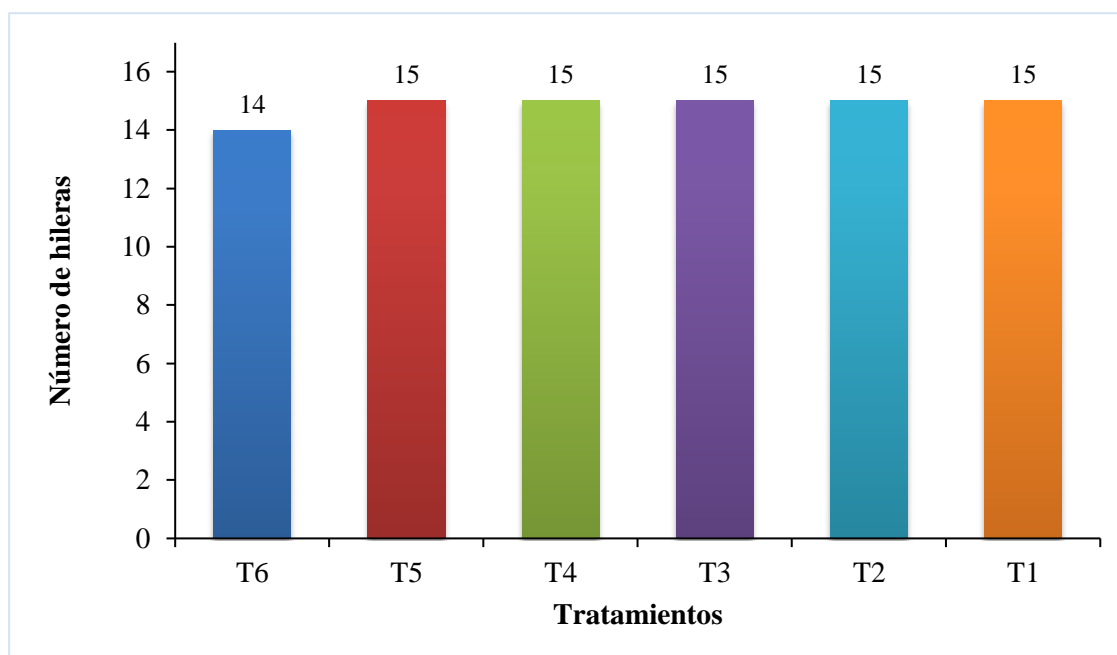


Figura 4. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el número de hileras en maíz amarillo duro.

4.5. NÚMERO DE GRANOS POR HILERA

La **Figura 5** muestra que el número de granos por hilera fue influenciado significativamente ($p=0.0112$) por los tratamientos de riego deficitario. Los resultados indican que la estrategia de riego PRD 70%-2S (T6) alcanzó el menor valor, con un promedio de 32 granos por hilera, en relación a las demás estrategias de riego que obtuvieron mayores valores de granos por hileras, siendo el tratamiento control 100% (T1) el cual logró un mayor promedio con 36 granos por hileras (Figura 5).

En los resultados reportados por (García y Santos, 2017) en su investigación acerca de riego deficitario en maíz, manifiestan que dentro de esta variable obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos donde aplicaron el 100% de las necesidades hídricas con un valor mayor en comparación al tratamiento donde aplicaron un riego deficitario controlado, lo cual corrobora con nuestros resultados donde empleando una metodología similar en la cual se obtuvieron las mismas diferencias significativas.

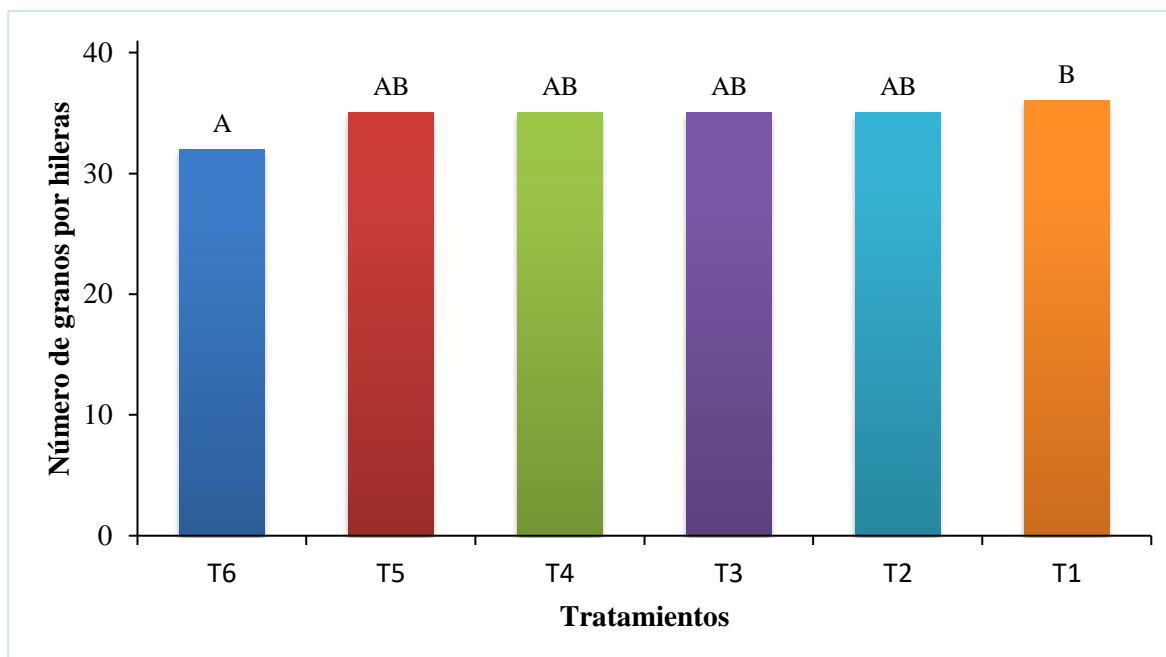


Figura 5. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el número de granos por hilera en maíz amarillo duro. Barras con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidades de error.

4.6. PESO DE 100 GRANOS

Para la variable peso de 100 granos se encontraron diferencias significativas a (0,0001) lo cual indica que la estrategia de riego PRD 70%-2S (T6) alcanzó el menor peso con 30,78 g, en relación a las demás estrategias de riego que obtuvieron mayores valores dentro de esta variable, siendo el tratamiento ORDI-70% (T2) que logró el mayor peso de 100 granos con 32,65 g (**Figura 6**).

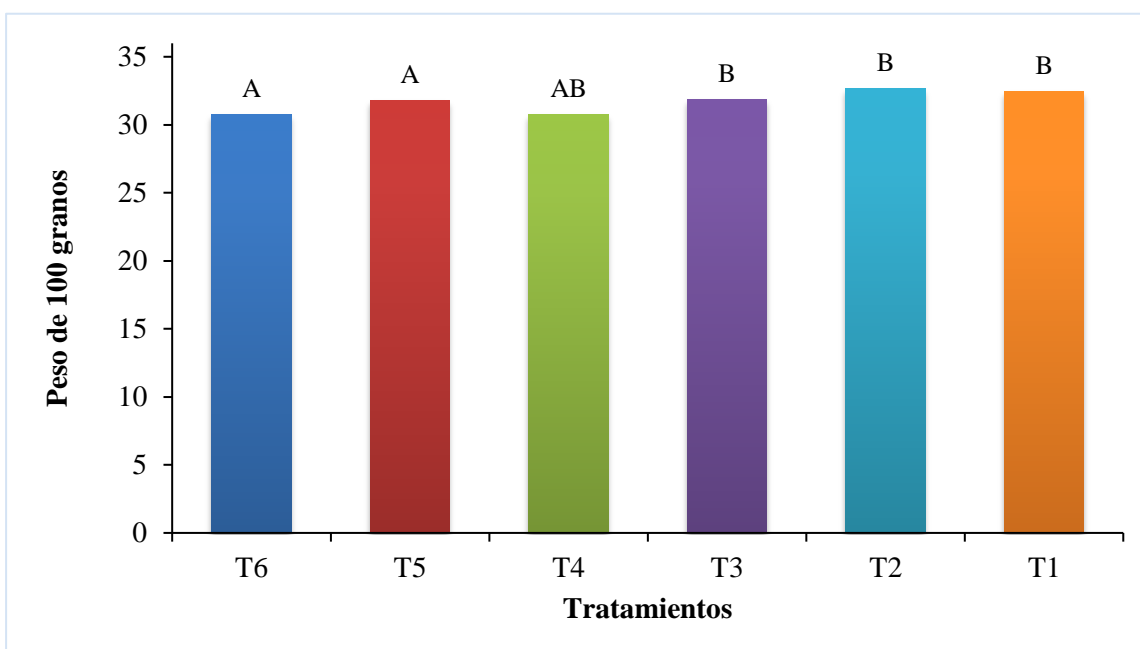


Figura 6. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el peso de 100 granos en maíz amarillo duro. Barras con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidades de error.

Estos resultados se asemejan al realizado por (Callero, 2014) en su investigación acerca del efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento del cultivo de maíz, quien manifiesta que el peso potencial de los granos se ve afectado principalmente por el déficit hídrico.

4.7. RENDIMIENTO Mg Ha⁻¹

El rendimiento Mg ha⁻¹ fue influenciado significativamente ($p=0.0001$) por los tratamientos de riego deficitario (**Figura 7**). Los resultados indican que la estrategia de riego PRD 70%+2S (T6) obtuvo el menor rendimiento con 9,4 Mg ha⁻¹, en relación a las demás estrategias de riego que consiguieron mayores rendimientos, siendo el tratamiento ORDI-70% (T2) que logró obtener el valor más alto con 11,74 Mg ha⁻¹ seguido del tratamiento sin déficit hídrico con 12,09 Mg ha⁻¹ (Figura 7).

Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por (Carvalho *et al.*, 2014) en donde la metodología ORDI demostró ser eficiente para simular diferentes estrategias de riego deficitario, con lo cual se justifica dicho rendimiento a través de la ecuación propuesta por (Stewart *Et al.*, 1977) citado por (Nascimento *et al.*, 2019) en donde menciona que para estimar el rendimiento de grano basado en la proporción de la cosecha real (ETa) a ETm en cada una de las etapas de crecimiento del cultivo requiere la simulación de la progresión del contenido de humedad en la zona de la raíz. Por lo tanto, cuando $ETa < ETm$, la planta sufre estrés hídrico lo cual resulta en una disminución del rendimiento real de grano ya que es menor o igual que el rendimiento potencial obtenido en condiciones de ausencia de estrés hídrico.

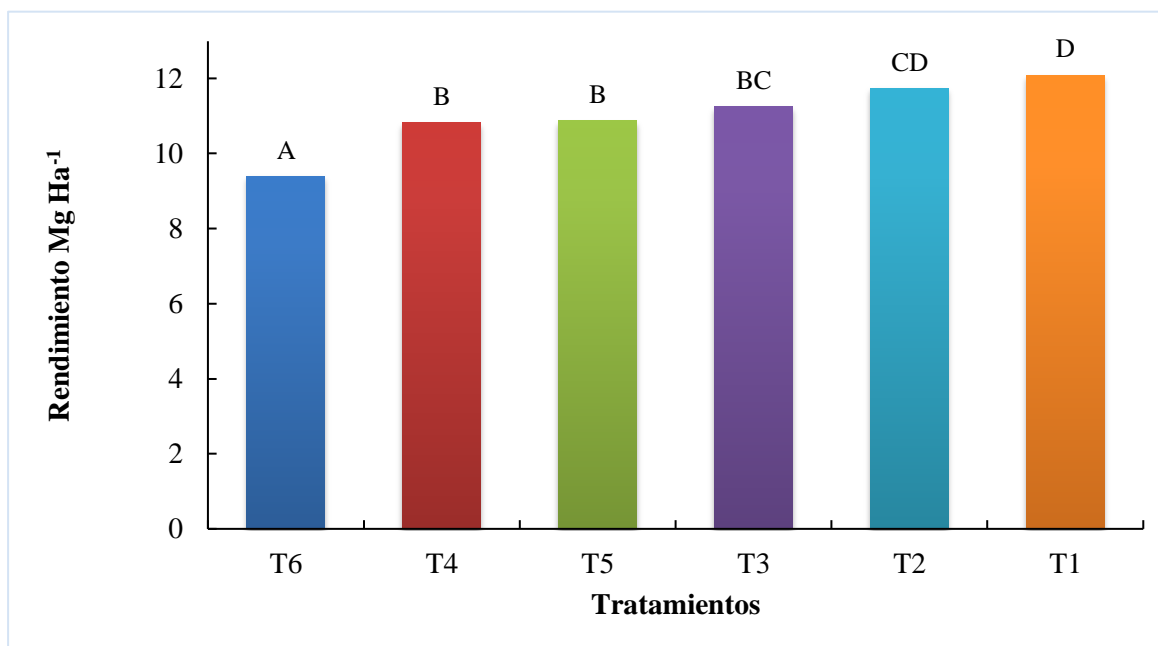


Figura 7. Efecto de varios tratamientos de riego deficitario sobre el peso de 100 granos en maíz amarillo duro. Barras con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidades de error

4.8. PRODUCTIVIDAD DE AGUA

En cuanto a la productividad del agua la cual se basa en el rendimiento obtenido sobre la cantidad de agua suministrada expresada en Kg mm^{-1} se determinó que el tratamiento T2 fue el más productivo teniendo en consideración que se le aplicó una reducción del 30 % y obtuvo un total de 62,35 Kg/mm a diferencia del T1 con 44,93 Kg/mm , el cual se le aplicó el 100% de sus requerimientos hídricos con lo cual se respalda lo mencionado por Ozcelik *et al.* (2021) en donde menciona que la productividad del agua se utiliza ampliamente como indicador para medir el éxito de las políticas destinadas a una gestión eficiente del agua enfocándose en el sector agrícola.

PRODUCTIVIDAD DE AGUA Kg/mm	
44,93	T1
62,35	T2
59,80	T3
57,46	T4
57,73	T5
49,92	T6

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El tratamiento con riego deficitario optimizado por etapas fenológicas alcanzó la mayor productividad del agua, con $62,35 \text{ kg mm}^{-1}$.
- Los tratamientos de riego deficitario con secado parcial de raíces intercalado una semana, mostraron mayor rendimiento, en relación a los intercalados dos semanas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de riego deficitario optimizado por etapas fenológicas ya que existe un ahorro del 30% de recursos hídricos a comparación del Tratamiento control el cual se aplicó la lámina de riego al 100%.
- Se recomienda aplicar riego deficitario con secado parcial de raíces intercalado una semana, dado que ofrecen mayores ventajas productivas del cultivo y del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen Richard, G., Pereira, Luis, Dirk, Raes and Martin, Smith. 2006. "Evapotranspiración Del Cultivo: Guías Para La Determinación de Agua de Los Cultivos." *Fao* 56:297. doi: 10.1016/j.msea.2011.05.042.
- Allen Richard, G., Luis S, Pereira, Martin Smith, Dirk y James L, Wright. 2005. "FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions ." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(1):2–13. doi: 10.1061/(asce)0733-9437(2005)131:1(2).
- Álvarez, M., & Plúa, H. (2018). *Parámetros hídricos: cultivo de maíz en el Valle de Joa, Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5081/5/INIAPEEPPDF02.pdf>
- Anapalli Saseendran, S., Lajpat R, Ahuja., Prasanna H, Gowda., Liwang Ma, Gary Marek, Steven R, Evett and Terry A, Howell. 2016. "Simulation of Crop Evapotranspiration and Crop Coefficients with Data in Weighing Lysimeters." *Agricultural Water Management* 177:274–83. doi: 10.1016/j.agwat.2016.08.009.
- Ángeles Gaspar, E., Ortiz Torres, E., López A, P y López Romero, G. 2010. "Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de molcaxac, puebla" *Fitotec. Mex. Vol. 33 (4): 287 – 296*.
- Atoccsa Gomez, Rossana. 2015. "Aplicación De Riego Deficitario De Secado Parcial De La Zona De Raices En El Cultivo De Durazno, Mediante El Riego Por Goteo." Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria la Molina.Lima.
- Aydinsakir Koksak., Sekip Erdal, Dursun Buyuktas, Ruhi Bastug and Ramazan Toker. 2013. "The Influence of Regular Deficit Irrigation Applications on Water Use, Yield, and Quality Components of Two Corn (Zea Mays L.) Genotypes." *Agricultural Water Management* 128:65–71. doi: 10.1016/j.agwat.2013.06.013.
- Badillo Herrera, Adriana. 2016. "Evaluación del aporte de gallinaza fresca en el rendimiento del cultivo de maíz (*zea mais*) variedad iniap 122, en dosis diferentes, en la parroquia malchinguí, cantón pedro moncayo, provincia pichincha" Tesis de Grado. Universidad Nacional De Loja. Loja.
- Castillo Hurtado, Mario. 2015. "Elaboración de una bebida a partir del maíz morado

- (*Zea mays* L.) como alternativa para el consumo diario" Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil.
- Carvalho, D. F., Domínguez, A., Neto, D. H. O., Tarjuelo, J. M., & Martínez-Romero, 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>
- Callero Daruich, Walter. 2014. "Maíz, efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento" Tesis de Grado. Universidad de La República. Montevideo. Uruguay.
- Cholango, Humberto y Ramos, Alex. 2019. "Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027." Obtenido el 26 de noviembre del 2020. <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/RESUMEN-PNRD-2019-2027.pdf>
- Conceição, B.,Carvalho, D., Domínguez, A., Tarjuelo, J y Martínez Romero, A. 2015. "comparación entre la propuesta generadas por el Modelo de Simulación de Riego Optimizado con un riego constante en cultivo de zanahoria en brasil." XXXIII Congreso Nacional de Riegos Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Çolak, Yeşim Bozkurt., Attila Yazar., Sertan Sesveren, and İlker Çolak. 2017. "Evaluation of Yield and Leaf Water Potential (LWP) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems." *Scientia Horticulturae* 219:10–21. doi: 10.1016/j.scienta.2017.02.051.
- CREA (Centro Regional de Estudios del Agua). 2010. El riego y sus tecnologías 1ª ed. Albacete-España.
- Demin, Pablo. 2014. "Aportes Para El Mejoramiento Del Manejo de Los Sistemas de Riego." *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*" 1ª ed. Argentina.
- Diaz, Carlos Enrique y Pretel, Edwin Raul. 2015. "Diseño Hidraulico Y Agronomico Para Un Sistema De Riego Tecnificado Del Sector La Arenita, Distrito Paijan-Chicama." Tesis de Grado. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo.
- Diaz, Gorqui., Sabando, Freddy., Zambrano, Samir y Vasconez, Gregorio. 2009. "Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de los ríos." *Ciencia y*

Tecnología 2(1) 15-23.

- ESPAC. 2017. "Módulo de Tecnificación Agropecuaria ESPAC 2017." Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.
- Fereres, Elias and Soriano, María. 2007. "Deficit Irrigation for Reducing Agricultural Water Use." *Journal of Experimental Botany* 58(2):147–59. doi: 10.1093/jxb/erl165.
- FAO. 2012. "Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Vol. 66.
- FAO. 2016. "Ahorrar Para Crecer En La Práctica: Maíz, Arroz, Trigo". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- González Robaina, Felicita., Herrera Puebla, Julián., López Seijas, Teresa y Cid Lazo, Greco. 2013. "Funciones Agua Rendimiento Para 14 Cultivos Agrícolas En Condiciones Del Sur de La Habana." *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 22(3):5–11.
- Geerts, Sam, and Dirk, Raes. 2009. "Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas." *Agricultural Water Management* 96(9):1275–84. doi: 10.1016/j.agwat.2009.04.009.
- González, B; Calderón, A; Robledo, M; Dionicio, J; Rodríguez, J; Reyes, A y Fernández. A. (2015). Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Vol. 6. p 37-50.
- Hidalgo, J. (2014). "Respuesta del híbrido de maíz (zea mays l.) dk- 7088 a la fertilización con macro y microelementos, bajo riego por goteo en el cantón Balzar- Guayas". Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8158/1/Tesis%20Imprimir.pdf>
- INEC. 2019. "Contenido Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEC. 2018. "Documento Metodológico de La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019." Instituto Nacional de Estadística y Censos..
- INIAP. 2012. "Estudio de desarrollo radicular de la planta de maiz (zea mayz) por medio del tratamiento de la semilla antes de la siembra" Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Estación Experimental Portoviejo.
- Layedra Silva, Marlon. 2020. "Análisis socioeconómico ex post proyecto Agroproductivo del sistema de riego la Josefina, parroquia San Isidro

- Cantón Guano, Provincia de Chimborazo" Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba.
- Lagos, Luis., Lama, Waldo., Hirzel, Juan, Souto, Camilo y Lillo, Mario. 2017. "Evaluación de Riego Deficitario Controlado Sobre La Producción de Kiwi (*Actinidia Deliciosa*).” *Agrociencia* 51(4):359–72.
- Lardizábal, Ricardo. 2011. "Componentes de riego por goteo” Obtenido el 26 de noviembre del 2020. http://bvvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/305/ACCESO_Produccion_Riego_Componentes_12_11_HANDOUTS.pdf?sequence=21-21.
- León Aguilar, Rolando., Torres García, Antonio., Héctor Ardisana, Eduardo., Fosado Téllez, Osvaldo y Véliz, Fernando. 2018. "Comportamiento Productivo Del Maiz Híbrido Agri- Riego Localizado” *Espam ciencia. Vol. 8 N° 2. pp:123-129. ISSN: 1390-8103*.
- López Mata, E., Orengo Valverde, J., Tarjuelo, J., Martínez Romero, A y Domínguez, A. 2016. "Desarrollo De Un Algoritmo De Solución Directa Para El Cálculo De Distribuciones Óptimas De Cultivos Bajo Riego Deficitario Controlado.” Presentado en el XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla.
- Masaquiza Chimbolema, Juan. 2016. "Valoración del rendimiento de maíz (*zea mays*) en relación con la aplicación de biodegradantes en el sector la isla, Cantón Cumandá.” Tesis de Grado. Universidad Técnica De Ambato. Ambato.
- Nascimento, A. K., Schwartz, R. C., Lima, F. A., López-Mata, E., Domínguez, A., Izquierdo, A., Tarjuelo, J. M., & Martínez-Romero, A. (2019). Effects of irrigation uniformity on yield response and production economics of maize in a semiarid zone. *Agricultural Water Management*, 211(August 2017), 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.051>
- Ogasawara, Jorge. 2017. "Estudios de Los Diferentes Sistemas de Riego Agrícola Utilizados En Paraguay.” Obtenido el 26 de noviembre del 2020. [http://www2.aladi.org/nsfaladi/Estudios.nsf/4040FC1C4A77A47E0325819B0065757B/\\$FILE/DAPMDER_04_17_PY.pdf](http://www2.aladi.org/nsfaladi/Estudios.nsf/4040FC1C4A77A47E0325819B0065757B/$FILE/DAPMDER_04_17_PY.pdf).
- Ozcelik, Nadin, Miguel Rodríguez, Stephan Lutter, and Antonio Sartal. 2021. "Indicating the Wrong Track? A Critical Appraisal of Water Productivity as

an Indicator to Inform Water Efficiency Policies.” *Resources, Conservation and Recycling* 168:105452. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105452.

- Peñafiel Valle, Angel. 2015. “Evaluacion de la lamina de riego superficial sobre el rendimiento de cuatro híbridos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)” Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil.
- Sánchez, Miguel A y Meza, Ruth . 2015. “Evaluación Del Rendimiento Del Cultivo De Papa Bajo La Aplicación Del Riego Deficitario (Prd) Utilizando Cintas De Riego.” *Anales Científicos* 76(1):21. doi: 10.21704/ac.v76i1.760.
- Sánchez, Iván. 2014. “Maíz I (*Zea Mays*).” *Reduca (Biología). Serie Botánica* 7(2):151–71.
- Santos Poseiro, S y Garcia, F. 2015. “Riego deficitario en maiz” Tesis de Grado. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- Telleria Zagredo, Alan. 2015. “Efecto del riego deficitario en dos variedades de maíz, como estrategia de adaptacion al cambio climatico, en la comunidad la granja, municipio de palca, departamento de la paz” Tesis de Grado. Universidad mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia.
- Valero, J., Fabeiro, C., De Santa, F y Lopez, H. 2017. “Efecto del déficit de suministro de agua en el rendimiento y en la calidad de un cultivo de maíz dulce.” *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*. Vol. 95 N.º 3, 218-240.
- Vasquez, Absalon., Vasquez, Issaak., Vasquez, Cristian y Cañamero Miguel. 2017. *Fundamentos de La Ingeniería de Riegos*. 1ª ed. Lima-Perù.
- Vega Ponce, Emil., Jarre Cedeño, César y Calderon Cedeño, Amador. 2013. “Análisis de Períodos Para Producir Maíz (*Zea mays* l.) considerando la distribución temporal de la precipitación y la evapotranspiración.” *Revista La Técnica* 11:34–40.

ANEXOS

ANEXO 1. análisis de suelo



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.ettp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD			PARA USO DEL LABORATORIO		
Nombre :	Valdivieso Lopez Cristian Sergio		Nombre :	ESPAM		Cultivo Actual :		
Dirección :			Provincia :	Manabi		N° Reporte :	5707	
Ciudad :	Calceta		Cantón :	Calceta		Fecha de Muestreo :	03/06/2019	
Teléfono :			Parroquia :			Fecha de Ingreso :	03/06/2019	
Fax :			Ubicación :			Fecha de Salida :	17/06/2019	

N° Muest.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm				
	Identificación	Area		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
95260	Muestra 1		6,7 PN	16 B	26 A	0,91 A	19 A	2,0 M	10 M	2,1 M	6,1 A	156 A	38,8 A	0,71 M



La muestra se conserva en el laboratorio por tres meses. Después de este tiempo se aceptarán reemplazos de la muestra.

INTERPRETACION				ELEMENTOS: de Na a B		METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES	
<p>pH</p> <p>MAc = Muy Acido LAc = Liger. Acido EA = Liger. Alcalino RC = Requiere Cal</p> <p>Aa = Acido PN = Frac. Neutro MeAl = Media Alcalino</p> <p>MeAc = Media Acido N = Neutro Al = Alcalino</p>				<p>B = Bajo</p> <p>M = Medio</p> <p>A = Alto</p>		<p>pH = Suelo: agua (1:2,5)</p> <p>N,P,B = Colorimetría</p> <p>S = Turbidimetría</p> <p>K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica</p>		<p>Urea Modificado</p> <p>N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn</p> <p>Fosfato de Calcio Monobásico</p> <p>BS</p>	

Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.ettp@iniap.gob.ec



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.ettp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD			PARA USO DEL LABORATORIO		
Nombre :	Valdivieso Lopez Cristian Sergio		Nombre :	ESPAM		Cultivo Actual :		
Dirección :			Provincia :	Manabi		N° de Reporte :	5707	
Ciudad :	Calceta		Cantón :	Calceta		Fecha de Muestreo :	03/06/2019	
Teléfono :			Parroquia :			Fecha de Ingreso :	03/06/2019	
Fax :			Ubicación :			Fecha de Salida :	17/06/2019	

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	(meq/l) ^{1/2}	ppm	Textura (%)			Clase Textural	
	Al+H	Al	Na									C.E.	M.O.	Mg		K
95260					6,2 A	9,5	2,20	23,08	21,91				24	37	39	Franco-Arcilloso



La muestra se conserva en el laboratorio por tres meses. Después de este tiempo se aceptarán reemplazos de la muestra.

INTERPRETACION			ABREVIATURAS		METODOLOGIA USADA	
<p>Al+H, Al y Na</p> <p>B = Bajo NS = No Salino S = Salino B = Bajo</p> <p>M = Medio LS = Lig. Salino MS = Muy Salino M = Medio</p> <p>T = Tóxico</p>			<p>M.O. y Cl</p> <p>B = Bajo</p> <p>M = Medio</p> <p>A = Alto</p>		<p>C.E. = Conductímetro</p> <p>M.O. = Titulación de Weikley Blue</p> <p>Al+H = Titulación con NaOH</p>	

Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.ettp@iniap.gob.ec

x. w. [Signature]

RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA

[Signature]

RESPONSABLE LABORATORIO

ANEXO 2. Limpieza del área experimental



Anexo 3. Arado del lote



ANEXO 4. Instalación del sistema de riego



ANEXO 5. Prueba de funcionamiento del sistema de riego



ANEXO 6. Aplicación del herbicida para control de malezas



ANEXO 7. Disposición de los tratamientos



ANEXO 8. Evaluación de las variables



ANEXO 9. Diferencias entre tratamientos

