

Optimización del recurso hídrico en maíz mediante riego por goteo superficial y subsuperficial (Original).

Water resource optimization in corn through surface and subsurface drip irrigation (Original).

Ángel Bladimir Paredes Loja. *Estudiante de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Machala. Machala, El Oro, Ecuador.*

[aparedes3@utmachala.edu.ec] [<https://orcid.org/0009-0004-0683-8741>]

Alexander Moreno Herrera. *Doctor en Biotecnología Aplicada, Fisiología Vegetal. Universidad Técnica de Machala. Machala, El Oro, Ecuador.*

[amoreno@utmachala.edu.ec] [<https://orcid.org/0000-0001-8898-4195>]

Resumen

En este estudio se evaluó la eficiencia del riego mediante sistemas por surcos, goteo superficial y subsuperficial a 10 y 20 cm de profundidad, en el cultivo de *Zea mays L.* El área cultivada abarcó 800 m² con maíz híbrido duro (Azor) y se aplicaron cuatro tratamientos: riego por surcos (T1, control), riego por goteo superficial (T2), riego por goteo subsuperficial a profundidades de 10 (T3) y 20 cm (T4), cada uno con cuatro repeticiones. En un diseño experimental de bloques completamente al azar, cada unidad experimental comprendía 50 m² (5 m * 10 m). Se llevaron a cabo análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones de medias, utilizando la prueba de Tukey. Se evaluaron algunas variables, incluyendo el rendimiento del cultivo, peso de la biomasa aérea y subterránea, en estado fresco y seco, la eficiencia del agua (EUA) y el volumen de agua aplicado. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) en todas las variables evaluadas. El rendimiento del grano seco alcanzó los 10376 kg/ha y la EUA fue de 8.9 kg/m³. En conclusión, el riego por goteo subsuperficial a 20 cm de profundidad demostró ser la opción de mayor eficiencia en este estudio.

Palabras clave: riego superficial, riego subsuperficial, biomasa de maíz,

eficiencia del agua

Abstract

In this study the efficiency of irrigation by furrow irrigation and surface and subsurface drip irrigation at 10 and 20 cm depth was evaluated in *Zea mays* L. The cultivated area covered 800 m² with hard hybrid corn (Azor) and four different treatments were applied: furrow irrigation (T1, control), surface drip irrigation (T2), subsurface drip irrigation at depths of 10 (T3) and 20 cm (T4), each with four replications. In a completely randomized block experimental design, each experimental unit comprised 50 m² (5 m * 10 m). Analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons were carried out using Tukey's test. Several variables were evaluated, including crop yield, weight of above and below ground biomass in fresh and dry state, water efficiency (EUA), volume of water applied. Statistically significant differences ($p < 0.01$) were observed in all the variables evaluated. The dry grain yield reached 10376 kg/ha, the EUA was 8.9 kg/m³. In conclusion, subsurface drip irrigation at 20 and 30 centimeters depth proved to be the most efficient option in this study.

Keywords: surface irrigation, subsurface irrigation, corn biomass, water efficiency

Introducción

La disponibilidad de agua a nivel mundial se está convirtiendo actualmente en un problema cada vez más crítico. Como recurso natural esencial, la demanda de agua está aumentando en proporción al crecimiento de las poblaciones urbanas, lo que está llevando a que se incremente su escasez. Este problema se agrava aún más debido a que el agua es un recurso limitado y no renovable en muchas regiones del mundo. Es

por ello que resulta urgente tomar medidas para proteger y conservar este recurso valioso (FAO, 2018).

Para aprovechar al máximo los cultivos, los recursos hídricos, la tecnología disponible y hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, es fundamental garantizar un manejo óptimo de los sistemas de riego (Martínez, 2001). Lo anterior es crucial en la agricultura ya que tiene un impacto directo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El método de riego por goteo es una de las formas disponibles para incrementar la producción de cultivos.

En Ecuador, especialmente en la parte meridional del territorio, se encuentran áreas en las cuales las lluvias varían anualmente en un rango de 200 a 600 mm (MAGAP, 2017). Esta situación pone de manifiesto una clara insuficiencia de recursos hídricos, lo que se convierte en el factor predominante que restringe la capacidad de llevar a cabo la agricultura en dichas áreas.

Es esencial analizar algunas opciones y enfoques de riego para maximizar la eficiencia en el uso del agua. Los métodos de riego convencionales emplean grandes volúmenes de agua para satisfacer las demandas de los cultivos, principalmente debido a la alta evaporación (Bringas-Burgos et al., 2020). El riego por goteo subsuperficial se presenta como una solución para reducir el excesivo consumo de agua al disminuir las pérdidas ocasionadas por la evaporación. Al dirigir el riego a la profundidad donde se desarrolla el sistema de raíces de las plantas, se crea una zona húmeda bajo la superficie del suelo, evitando la exposición directa a la radiación solar.

En Ecuador, la producción predominante de maíz amarillo duro se concentra principalmente en las zonas de menor altitud, especialmente en las áreas bajas o costeras, que se sitúan por debajo de los 1200 m.s.n.m. Este tipo de maíz se utiliza

mayoritariamente en la elaboración de alimento balanceado. A pesar del incremento en la producción de este grano en Ecuador, en los últimos años es esencial desarrollar nuevos genotipos y sistemas altamente productivos para alcanzar la autosuficiencia y disminuir la necesidad de importar maíz (Limongi-Andrade et al., 2018).

Dado que el maíz pertenece a la categoría de cultivos C4, presenta una notable eficiencia en la utilización del agua. Esto se debe a su elevada tasa de fotosíntesis, la cual se mantiene con una limitada pérdida de agua a través de la transpiración (Intagri, 2018).

Lo anteriormente expuesto generó la necesidad de llevar a cabo una comparación de la eficacia entre el riego por goteo en la superficie y el riego subsuperficial a diferentes profundidades. Para esto, se diseñó un experimento con el propósito de analizar algunas variables destinadas a demostrar la eficacia de estos métodos de riego. El estudio se llevó a cabo en la Granja Santa Inés, ubicada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Materiales y métodos

Lugar del área experimental

El experimento tuvo lugar en el campo experimental de la finca Santa Inés, que forma parte de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. Dicha finca se encuentra en el km 5 1/2 de la vía Pasaje, en la provincia El Oro, en las coordenadas 620435 W y 9635962 S, en la Zona Geográfica 17 S.

Datos meteorológicos de la zona

El área posee un clima de tipo tropical semihúmedo, caracterizado por su altitud de aproximadamente 5 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio ronda los 25 °C, y la precipitación media se sitúa alrededor de 600 mm anuales,

presentando dos periodos de lluvias bien definidos: uno durante la temporada lluviosa que generalmente abarca de enero a abril, y otro más seco que se extiende de mayo a diciembre. La evapotranspiración de referencia en esta región oscila entre 1300 y 1500 mm, y el déficit hídrico anual varía entre 225 y 925 mm (INAMHI, 2022). El suelo se caracteriza por ser franco-limoso en los primeros 30 centímetros de profundidad.

Material vegetal

Se empleó una variedad de maíz híbrido multipropósito denominada Azor, producida por la marca Advanta. En lo que respecta a las particularidades vegetativas de este híbrido, sus hojas tienen una inclinación parcial hacia arriba, llegando a alcanzar una altura promedio de 2,50m. Presenta un período vegetativo que se caracteriza por ser semi-tardío, con una duración que oscila entre 125 y 135 días. La mazorca se encuentra ubicada a una altura de 1,30 metros del suelo, y la relación entre los granos y la mazorca desgranada es de 85/15.

Diseño experimental

La superficie de cultivo total destinada al maíz abarcó una extensión de 800m²; las semillas se plantaron con un espacio de separación de 80cm entre las hileras y 40cm entre las plantas, colocando dos semillas en cada punto de siembra. El diseño experimental adoptado fue en bloques completamente al azar, que comprendían tres tratamientos y un testigo relativo, cada uno de ellos con cuatro repeticiones, donde se dispusieron 16 unidades experimentales de 50m² cada una (10 metros de longitud por 5 metros de ancho). Los tratamientos evaluados incluyeron: riego por surcos (testigo relativo; T1), riego por goteo superficial (T2), riego por goteo subsuperficial a 10 cm (T3) y a 20 cm (T4).

Características del sistema de riego

Los goteros utilizados tuvieron un caudal nominal de 1,65 litros por hora, con una variación de $\pm 5\%$ según las especificaciones del fabricante (Hydrodrip Super Flat Integral Dripline, PLASTRO). Estos goteros funcionaron con una presión de trabajo de 10 metros de columna de agua (mca). Se dispusieron a una distancia de 80 cm entre los laterales de riego y a 50 cm entre cada gotero, para asegurar una distribución uniforme de agua en una franja horizontal continua. Los laterales de riego fueron de tubería de polietileno de 16 mm de diámetro, mientras que la tubería secundaria tuvo un diámetro de 32 mm en polietileno, y la tubería principal fue de PVC, con un diámetro de 40 mm. El sistema de riego recibió una presión de 12 mca en la salida del cabezal de riego, suministrada por un equipo motobomba alimentado por un pozo subterráneo.

Planificación de riego

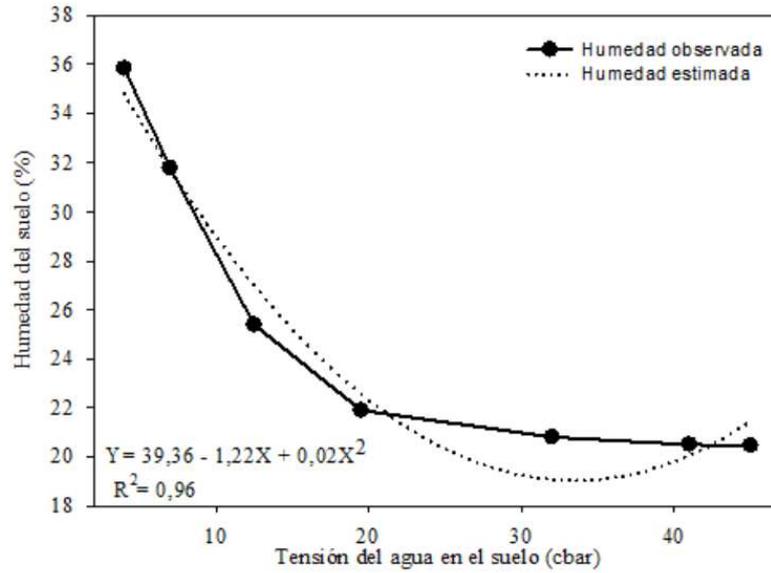
Se llevó a cabo una planificación del riego con el propósito de determinar el momento adecuado para aplicar el riego y la cantidad de agua que se debía proporcionar. Cada tratamiento contó con su propio sistema de riego independiente, el cual estaba controlado mediante una válvula de compuerta. La cantidad de agua suministrada se registró utilizando válvulas volumétricas de alta precisión (caudalímetro). Las frecuencias y duraciones de los riegos se ajustaron en base a las lecturas obtenidas de los tensiómetros instalados para cada tratamiento. Previamente a su instalación, se realizaron ajustes de calibración en los tensiómetros.

Control de humedad del suelo

Para determinar el nivel óptimo de humedad necesario para el cultivo, se procedió a la instalación de 16 tensiómetros de tipo Irrrometer® en cada unidad

experimental, previamente calibrados en el lugar del experimento. Los tensiómetros se ubicaron en el suelo previamente al nivel de capacidad del campo. En cada lectura realizada por los tensiómetros, se determinó el contenido de humedad del suelo mediante la medición de su peso utilizando el método gravimétrico. Cuando la curva de lectura se estabilizaba en posición horizontal, la lectura del tensiómetro, conocida como *cbar*, señalaba la necesidad de riego para la planta. Este principio se aplicó para la programación del riego, y las lecturas proporcionaron información sobre el potencial matricial del suelo, es decir, la tensión con la que el suelo retenía las partículas de agua (Ferreyra et al., 2018). Este dispositivo permitió gestionar de manera efectiva el nivel de estrés hídrico en el suelo, evitando tanto el exceso como la deficiencia de agua.

Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo, granja experimental UTMACH



Fuente: Conde-Solano et al., 2021

Los tensiómetros se ubicaron a una profundidad de 20 cm dentro de la zona de influencia del gotero, ya que a esta profundidad se encuentra la mayor densidad de raíces en el sistema radical. El suministro de agua se inició cuando el manómetro registró una lectura de 45 *cbar* y se detuvo cuando esta cifra descendió a 10 *cbar*, lo que señaló que el nivel de humedad del suelo había alcanzado su capacidad de retención de agua.

Eficiencia del agua

En un enfoque más extenso, la eficiencia del agua o productividad hídrica en la agricultura implica incrementar la cantidad de productos agrícolas, ganaderos, acuícolas y forestales obtenidos por cada unidad de agua utilizada en su proceso de producción (FAO, 2012).

Para llevar a cabo este estudio, se adoptó la definición de eficiencia del agua (Mekonnen y Hoekstra, 2011). Esta definición se basa en un cociente en el que el numerador representa la cantidad de biomasa producida en un cultivo específico, y el denominador representa la cantidad de agua utilizada para su producción. La fórmula general para calcular un índice de eficiencia en el uso del agua se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{producción (kg)}}{\text{agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

Se evaluó la productividad del cultivo mediante la medición del peso de la biomasa aérea (tallos y hojas), biomasa subterránea (raíz) y biomasa de la mazorca (grano seco), en un conjunto de 10 plantas por cada unidad experimental, lo que equivale a un total de 40 plantas por cada tratamiento; la eficiencia del agua estuvo determinada por la relación de los metros cúbicos de agua utilizados y el rendimiento de cada uno de los parámetros de biomasa que se midieron en el experimento.

Cada variable fue sometida a un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de detectar diferencias estadísticamente significativas en los resultados de los tratamientos. Para identificar los tratamientos más efectivos, se procedió a la comparación de las medias de dichos tratamientos mediante la prueba de Tukey para múltiples comparaciones de medias (con un nivel de significancia establecido en $p \leq 0,05$). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software estadístico

SPSS®, versión 22 (IBM SPSS Statistics 22).

Análisis y discusión de los resultados

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los efectos de los tratamientos de biomasa de la mazorca en grano seco (kg/m^2 ; $p < 0.025$) y en la eficiencia del agua (expresada en kg/m^3 ; $p < 0,002$). En lo que respecta al rendimiento del cultivo en respuesta a los tratamientos, se identificaron tres grupos de tratamientos. Dentro de cada grupo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$), pero sí se detectaron diferencias estadísticamente reveladoras entre los grupos ($p < 0,01$). Entre ellos, el grupo de control o testigo relativo, el tratamiento de riego por goteo subsuperficial (20cm) y en el otro grupo, se incluye el tratamiento de riego por goteo subsuperficial (10cm) y goteo superficial (Tabla1).

El tratamiento de riego por goteo subterráneo a 20 cm de profundidad obtuvo el rendimiento más alto, con una media de 166 g. planta (equivalente a 10376 kg/ha), seguido de los tratamientos de riego por goteo superficial y subsuperficial a 10 cm de profundidad, que obtuvieron un rendimiento de 146 g. planta (equivalente a 9127.5 kg/ha). El cuarto grupo superó a los demás tratamientos en aproximadamente 1,000 kg más de producción de grano seco.

En lo que respecta a la eficiencia en la utilización del agua para el rendimiento del grano seco, el tratamiento que más destacó fue el sistema de riego por goteo subterráneo a una profundidad de 20 cm, con un valor de 8.9 kg/m^3 , el cual está seguido por los tratamientos de riego por goteo superficial y subsuperficial a 10 cm de profundidad (7 kg/m^3). En contraste, la menor eficiencia en el uso del agua se observó en el tratamiento de riego por surcos (grupo de control), con un valor de 2.9 kg/m^3 .

Mediante el uso de sistemas de riego por goteo subterráneo en Quevedo,

Ecuador, se lograron rendimientos de 10,720 kg/ha según un estudio realizado por Caviedes-Cepeda et al., (2022) . Asimismo, en el valle de Joa, provincia de Manabí, Ecuador, Álvarez y Álvarez (2018), como resultado de su estudio informó rendimientos de grano de maíz de 7,050 kg/ha.

Tabla 1. Análisis del peso de la biomasa de la mazorca en forma de grano seco, cantidad de agua suministrada y eficiencia del agua en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), según los sistemas de riego utilizados.

Tratamientos	Biomasa de la mazorca en grano seco (kg/ha)	Volumen de agua utilizado (m³)	Eficiencia del agua (kg/m³)
T1: Riego por surcos (grupo de control)	9097b	3125.7a	2.9c
T2: Riego por goteo superficial	9120b	1421.2b	6.4b
T3: Riego por goteo subsuperficial (10 cm)	9135b	1201.4b	7.6b
T4: Riego por goteo subsuperficial (20 cm)	10376a	1165.8b	8.9a

Fuente: elaboración propia.

Las medias que comparten la misma letra en la misma columna no muestran diferencias estadísticamente significativas (con un nivel de relevancia de $p \leq 0,05$) debido a los tratamientos que se aplicaron, según los resultados obtenidos en la prueba de Tukey

En lo que respecta a la producción de biomasa foliar, aunque no se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se destacó el sistema de riego por goteo superficial, que logró el rendimiento más alto. Este sistema registró 183 g.planta (equivalente a 11437.5 kg/ha) de biomasa fresca. En contraste, la biomasa seca resultante fue de 51 g. planta (3187.6 kg/ha). Por otro lado, el tratamiento de riego por surcos presentó el rendimiento más bajo, con 177 g. planta

(equivalente 11062.5a kg/ha) de biomasa fresca y una biomasa seca de 49 g. planta (equivalente a 3083.1 kg/ha).

Con respecto a la eficiencia en la utilización del agua, es importante destacar que el sistema de riego por goteo subterráneo tiene la capacidad de prevenir un uso excesivo de agua al disminuir las pérdidas causadas por la evaporación del suelo. Se ha identificado que el agua que se encuentra en la capa superficial del suelo y que se pierde debido a la radiación solar se denomina consumo no beneficioso para la planta (Bringas-Burgos et al., 2020).

En relación con la eficiencia del agua para la producción de biomasa foliar fresca, los resultados indican que el tratamiento de riego por goteo subterráneo a una profundidad de 20 cm alcanzó la mayor eficiencia, registrando 9,6 kg/m³. En contraste, la menor eficiencia en el uso del agua se observó en el tratamiento de riego por surcos (testigo relativo), con 3/5 kg.m³, con diferencias significativas con respecto al riego superficial y subsuperficial a 10 y 20 cm. .

A diferencia de la eficiencia del agua en biomasa foliar fresca, la biomasa foliar seca no tuvo diferencia estadística en los tratamientos de riego por goteo superficial, subsuperficial a 10 y 20 cm de profundidad; sin embargo, el único que tuvo diferencia estadística con respecto a estos grupos fue el riego por surcos.

En cuanto a la biomasa foliar seca, los resultados obtenidos fueron similares a los informados por Alvarado (2022), quien obtuvo rendimientos de 50,3 g por planta. De manera similar, Rodríguez et al. (2016), reportaron rendimientos de biomasa fresca de hojas que variaron entre 150 y 206 g por planta.

Tabla 2. Análisis del peso de la biomasa foliar fresca y seca, cantidad de agua suministrada y eficiencia del agua en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), en relación con los sistemas de riego utilizados

Tratamientos	Biomasa foliar frescas (kg/ha)	Biomasa foliar secas (kg/ha)	Volumen de agua utilizado (m³)	Eficiencia del agua (biomasa fresca kg/m³)	Eficiencia del agua (biomasa seca kg/m³)
T1: Riego por surcos (grupo de control)	11062.5a	3083.1a	3125.7a	3.5b	1.0b
T2: Riego por goteo superficial	11437.5a	3187.6a	1421.2b	8.0c	2.2a
T3: Riego por goteo subsuperficial (10 cm)	11375a	3170.2a	1201.4c	9.5a	2.6a
T4: Riego por goteo subsuperficial (20 cm)	11187.5a	3118a	1165.8c	9.6a	2.7a

Fuente: elaboración propia.

Cuando se emplearon letras distintas en el interior de cada columna, se señala que se observaron diferencias estadísticas significativas, según los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), como resultado de la influencia de los tratamientos aplicados.

En el análisis de la biomasa del tallo, el sistema de riego por goteo subsuperficial a 20 cm de profundidad produjo el rendimiento más alto, alcanzando 501 g.planta (equivalente a 31337.5 kg/ha) de biomasa fresca y de biomasa seca dio un valor de 159 g.planta (equivalente a 9934 kg/ha). El sistema de menor producción fue el riego por surcos con una media de 447 g .planta (equivalente a 27937.5 kg/ha) de biomasa fresca y 142 g .planta (equivalente a 8856.2 kg/ha) de biomasa seca; este tratamiento fue el único que tuvo diferencias estadísticas frente a los otros grupos.

En relación con la eficiencia del agua para la producción de biomasa de tallos, los resultados indican que el tratamiento de riego por goteo subterráneo a una profundidad de 20 cm alcanzó la mayor eficiencia, registrando 26.9 kg/m³ de biomasa

fresca y 8.5 kg/m³ de biomasa seca, sin contar con diferencias estadísticas frente al riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad. En contraste, la menor eficiencia en el uso del agua se observó en el tratamiento de riego por surcos (testigo relativo), con 8.9 kg/m³ de biomasa fresca y 2.8 kg/ m³, con diferencias significativas con respecto al riego superficial, subsuperficial a 10 y 20 cm de profundidad (Tabla 3).

El rendimiento superior en términos de tallo fresco y la mayor eficiencia del agua logrados con el riego subterráneo pueden atribuirse a una reducción en las pérdidas de nitrógeno debido a la evaporación y el drenaje, en comparación con el riego superficial y riego por surcos (Lamm et al., 2001).

Estos resultados superaron los datos obtenidos por Alvarado (2022), quien indicó valores de 79.8 gramos por planta de biomasa seca de tallos. Del mismo modo, en experimentos realizados en la provincia de Santa Elena, Ecuador, en la zona de Tumbaco, en 2019 se obtuvieron resultados de 28.200 kilogramos por hectárea de biomasa fresca de tallos.

Tabla 3. Análisis del peso de la biomasa de tallos frescos y secos, cantidad de agua suministrada y eficiencia del agua en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en relación con los sistemas de riego utilizados

Tratamientos	Biomasa tallos frescas (kg/ha)	Biomasa tallos secas (kg/ha)	Volumen de agua utilizado (m³)	Eficiencia del agua (biomasa fresca kg/m³)	Eficiencia del agua (biomasa seca kg/m³)
T1: Riego por surcos (grupo de control)	27937.5b	8856.2c	3125.7a	8.9c	2.8c
T2: Riego por goteo superficial	30187.5b	9569.4a	1421.2b	21.2b	6.7b
T3: Riego por goteo subsuperficial (10 cm)	30937.5a	9807.2a	1201.4c	25.8a	8.2a

T4: Riego por goteo subsuperficial (20 cm)	31337.5a	9934a	1165.8c	26.9a	8.5a
---	----------	-------	---------	-------	------

Fuente: elaboración propia.

Cuando se emplearon letras distintas en el interior de cada columna, se señala que se observaron diferencias estadísticas significativas, según los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), como resultado de la influencia de los tratamientos aplicados.

En lo que concierne a la biomasa radicular, aunque no se existieron diferencias entre los tratamientos, el grupo de riego por goteo superficial mostró el mayor rendimiento con 101 g .planta (equivalente a 6312.5 kg/ha) de biomasa fresca. La biomasa seca en este caso fue de 34 g .planta (equivalente a 2127.3 kg/ha). Por otro lado, el tratamiento de riego por goteo subterráneo a 10 cm de profundidad obtuvo el rendimiento más bajo, con 83 g.planta (equivalente a 4687.5 kg/ha) de biomasa fresca. La biomasa seca fue de 28 g.planta (equivalente a 1748.2 kg/ha) (Tabla 4).

La eficiencia más alta se observó en los tratamientos de riego por goteo subterráneo a una profundidad de 10 y 20 cm, registrando 4,4 kg/m³ para la biomasa fresca y 1,5 kg/m³ para la biomasa seca, en ambos tratamientos, con diferencias significativas frente al sistema de riego por surcos. En contraste, la eficiencia más baja en el uso del agua se encontró en el tratamiento de riego por surcos, con 1,9 kg/m³ para la biomasa fresca y 0.6 kg/m³ para la biomasa seca (Tabla 4).

En evaluaciones efectuadas por Suelo et al. (2020), se lograron valores de 30 a 35 gramos por planta de biomasa seca de raíces 75 días después de la siembra, los cuales difirieron de los resultados obtenidos en el presente estudio.

Tabla 4. Análisis del peso de la biomasa de radicular fresca y seca, cantidad de agua suministrada y eficiencia del agua en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), según los sistemas de

riego utilizados

Tratamientos	Bio masa radicular fresca (kg/ha)	Bio masa radicular seca (kg/ha)	Volu men de agua utilizado (m³)	Eficie ncia del agua (biomasa fresca kg/m³)	Eficie ncia del agua (biomasa seca kg/m³)
T1: Riego por surcos (grupo de control)	b 5875	.9b 1979	7a 3125.	1.9c	0.6c
T2: Riego por goteo superficial	.5a 6312	.3a 2127	2b 1421.	4.4a	1.5a
T3: Riego por goteo subsuperficial (10 cm)	.5b 4687	.7b 1579	4c 1201.	3.9b	1.3a
T4: Riego por goteo subsuperficial (20 cm)	.5b 5187	.2b 1748	8c 1165.	4.4a	1.5a

Fuente: elaboración propia.

Cuando se emplearon letras distintas en el interior de cada columna, se señala que se observaron diferencias estadísticas significativas, según los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), como resultado de la influencia de los diferentes tratamientos aplicados.

Conclusiones

La aplicación de riego subterráneo a profundidades de 20 cm promovió un mayor crecimiento de las plantas y aumento en el rendimiento de la biomasa tallos y granos.

El riego superficial conllevó a un mayor desarrollo de la biomasa de raíces.

La eficiencia del agua para el riego del cultivo de maíz, con el propósito de producir hojas, tallos y granos, es más favorable cuando se emplea el riego subsuperficial en las capas más profundas del suelo, donde se concentra la mayor parte del sistema radicular de la planta. Esto permite maximizar la utilización del agua

aplicada y consumida.

Referencias bibliográficas

- Alvarado Ramírez, E.F. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L) amarillo duro bajo riego tecnificado en Pillcomarca-Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, 4(2), 35–45. <https://doi.org/10.47840/ReInA.4.2.1501>
- Álvarez Álvarez, M.J., y Álvarez Plúa, H.A. (2018). *Parámetros hídricos: cultivo de maíz en el Valle de Joa, Ecuador Producción y calidad del maíz (Zea mays.L) bajo riego por goteo en el Valle de Joa, Cantón Jipijapa, Provincia de Manabí*. INIAP - Estacion Experimental Portoviejo. Editorial Académica Española.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/5081/5/INIAPEEPPDF02.pdf>
- Bringas-Burgos, B., Mendoza-Muñoz, I., Navarro-González, C., González-Ángeles, Á., y Jacobo-Galicia, G. (2020). Análisis de sistemas de riego por gravedad y goteo subsuperficial basada en una encuesta de muestra de conveniencia en el valle de Mexicali. *Revista Vínculos*, 5(3).
<https://doi.org/10.24133/vinculospe.v5i3.1725>
- Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F., y Zambrano-Mendoza, J. L. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1).
<https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Conde-Solano, J. L., Sánchez-Urdaneta, A. B., Colmenares de Ortega, C. B., Ortega Alcalá, J., y Vásquez, E. R. (2021). Eficiencia de Uso del Agua en Riego por Goteo Superficial y Subsuperficial en *Zea mays* L. *Revista Técnica De La*

Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia, 44(2), 75–82.

<https://doi.org/10.22209/rt.v44n2a02>

Lamm, F. R., Trooien, T. P., Manges, H. L., y Sunderman. H. D. (2001). Nitrogen fertilization for subsurface drip– irrigated corn. *Transactions of the ASAE*, 533(105), 533-542. <https://doi.org/10.13031/2013.6113>

FAO. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura : la gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Mundi-Prensa, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). www.fao.org/publications

FAO. (2018). Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. En *Source: Mountain High Maps*. www.fao.org/publications

Ferreira, R., Selles, G., Silva, H., Ahumada, R., Muñoz, I., y Muñoz, V. (2018). Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid “Crimson Seedless”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(7), 1109–1118. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000700006>

INAMHI. (2022, julio 10). *Datos meteorológicos*. INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología <https://www.inamhi.gob.ec/>

Intagri. (2018). *Plantas C3, C4 y CAM*. Equipo Editorial INTAGRI. https://www.intagri.com/public_files/125.-Plantas-C3-C4-y-CAM.pdf

Limongi-Andrade, R., Alarcón-Cobeña, D., Zambrano-Zambrano, E., Caicedo, M., Villavicencio-Linzan, P., Eiguez, J., Navarrete, B., Yanez, C., y Zambrano, J. L. (2018). Development of a new maize hybrid for the Ecuadorian lowland. *Agronomía Colombiana*, 36(2), 174-179. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n2.68782>

- Rodríguez Larramendi, I., Guevara Hernández, F., Ovando Cruz, J., Marto González, J.R., y Ortiz Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*zea mays* L.) en comunidades de la región frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37 (3), 137-145.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n3/ctr15316.pdf>
- MAGAP. (2017). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia del Oro 2017- 2025*. <https://datos.eloro.gob.ec/PDF%20PDYOT/PDYOT%20PROVINCIAL%20EL%20ORO%20PDF-1/files/basic-html/page292.html>
- Martínez, L. F. (2001). *Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado*. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile).
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7729/NR28083.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Mekonnen, M. M., y Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Suelo, E. U., Delgado, R.; Castro, L.; Cabrera, E.; San Vicente, F.; de Jesús, M.; Canache, S.; Navarro, L. y Noguera, I. (2020). *Evaluation of some characteristics of the root system of maize (hybrid inia 68) sowed under minimum and conventional tillage in a fluventic haplustoll soil of Maracay, Venezuela I.*