Recibido, 19/05/2025 Aceptado, 24/06/2025 DOI: 10.25127/agrops.20252.1091 CC BY NC SA Artículo original

Influencia de la frecuencia de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Influence of drip irrigation frequency on maize (*Zea mays* L.) crop yield.

Marlon Fernando Monge-Freile[1]*, Victor Manuel Brito-Gomez[1],
Dario Fernando Herrera-Jacome[1], Valeria Vintimilla Quintana[2]

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos estratégicos a nivel mundial por su relevancia agrícola, económica y alimentaria. No obstante, persisten vacíos en la investigación agronómica respecto a la eficiencia del manejo hídrico bajo sistemas tecnificados. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de distintas frecuencias de riego por goteo sobre el crecimiento, rendimiento y eficiencia hídrica del cultivo de maíz. Se implementaron cuatro tratamientos: T1 (riego cada 2 días), T2 (cada 4 días), T3 (cada 6 días) y T4 (cada 8 días), bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados revelaron que T4 (frecuencia de riego cada 8 días) promovió un desempeño superior del cultivo, destacando en variables agronómicas como altura de planta (2,25 m), número de hileras por mazorca (15), peso de semillas (2328,03 g), biomasa foliar (20,33 kg/ha) y rendimiento (14,67 t/ha). A las 16 semanas, T4 presentó consistentemente los mejores indicadores biofísicos frente a los demás tratamientos. Asimismo, alcanzó la mayor eficiencia en el uso del agua con 19,14 kg/m³, lo que confirma un uso racional y sostenible del recurso hídrico. Concluyendo que la frecuencia de riego cada 8 días resultó ser la más adecuada para optimizar el crecimiento, la productividad y la eficiencia hídrica del maíz bajo condiciones de riego por goteo.

Palabras claves: riego por goteo, Zea mays, eficiencia hídrica, manejo agronómico, rendimiento.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one of the strategic crops worldwide due to its agricultural, economic and food relevance. However, there are still gaps in agronomic research on the efficiency of water management under technified systems. The present study aimed to evaluate the effect of different drip irrigation frequencies on growth, yield and water efficiency of maize. Four treatments were implemented: T1 (irrigation every 2 days), T2 (every 4 days), T3 (every 6 days) and T4 (every 8 days), under a completely randomized block design with four replications. The results revealed that T4 (irrigation frequency every 8 days) promoted superior crop performance, standing out in agronomic variables such as plant height (2.25 m), number of rows per ear (15), seed weight (2328.03 g), leaf biomass (20.33 kg/ha) and yield (14.67 t/ha). At 16 weeks, T4 consistently presented the best biophysical indicators compared to the other treatments. It also achieved the highest water use efficiency with 19.14 kg/m³, which confirms a rational and sustainable use of water resources. In conclusion, the frequency of irrigation every 8 days proved to be the most adequate to optimize growth, productivity and water efficiency of corn under drip irrigation conditions.

Key words: drip irrigation, Zea mays, water efficiency, agronomic management, yields.

[1]Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Mocache, Los Ríos, Ecuador.
*Autor de correspondencia. E-mail: mmongef@uteq.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura continúa siendo uno de los pilares fundamentales de la economía global, desempeñando un papel esencial en la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible. En este contexto, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) ocupa un lugar estratégico, tanto por su relevancia como alimento básico para millones de personas, como por su rol en la agroindustria y en la generación de ingresos para los pequeños y medianos agricultores. En Ecuador, el maíz constituye uno de los cultivos más importantes en términos de superficie sembrada y producción, particularmente en provincias como Los Ríos, donde el cantón Mocache ha consolidado una alta participación en la oferta nacional del grano (León, 2019).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2016 se sembraron en Ecuador aproximadamente 485 696 hectáreas de maíz, generando una producción de 1 667 704 toneladas, con un rendimiento promedio de 3.17 t/ha (Caviedes, 2019). Sin embargo, a pesar del significativo aporte del cultivo al sistema agroalimentario, persisten limitaciones importantes que restringen su productividad, siendo la ineficiencia en el manejo del recurso hídrico una de las más relevantes. La dependencia de sistemas de riego tradicionales, como el riego por inundación, subfoliar y por aspersión, ha conllevado un uso inadecuado del agua, incrementando las pérdidas por evaporación y escorrentía, y comprometiendo el desarrollo fisiológico del cultivo (Sivisaca, 2013; Chang, 2020). A ello se suma la creciente presión ambiental derivada de la variabilidad climática, caracterizada por alteraciones en los patrones de temperatura y precipitación, que modifican la demanda hídrica de los cultivos y dificultan el diseño de estrategias de riego eficientes (Ortiz et al., 2021). La frecuencia de riego, en particular, constituye un factor agronómico crítico que debe ser cuidadosamente ajustado, ya que está influenciada por variables como la textura y capacidad de retención de agua del suelo, la profundidad radicular del cultivo, el estado fenológico, la cobertura vegetal y las condiciones climáticas locales (Morais et al., 2016). Estudios previos destacan que el suministro de agua debe adaptarse a la demanda hídrica específica del cultivo durante cada etapa de desarrollo, para evitar tanto el estrés hídrico como el exceso de humedad, factores que afectan negativamente el rendimiento (Villalobos & García, 2017).

En este escenario, el riego por goteo se posiciona como una alternativa tecnológicamente eficiente y ambientalmente sostenible, al permitir una aplicación localizada del agua directamente en la zona radicular, con menor pérdida por evaporación y lixiviación. Este sistema, además, puede ser automatizado, reduciendo la intervención humana y permitiendo un suministro controlado y constante del agua, lo que favorece el desarrollo fisiológico del maíz y mejora la eficiencia en el uso del recurso hídrico (López y Paz, 2021).

En respuesta a estas necesidades, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes frecuencias de riego por goteo sobre el rendimiento agronómico y la eficiencia hídrica del cultivo de maíz en condiciones ecuatorianas. Se buscó identificar la frecuencia de riego óptima que permita maximizar la producción, mejorar el crecimiento vegetal y, simultáneamente, optimizar el uso del recurso hídrico, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y a la rentabilidad del pequeño productor.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

La presente investigación se llevó a cabo en el campus "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el kilómetro 7½ de la vía Quevedo, El Empalme en el recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, a una altitud de 73 msnm, con coordenadas geográficas 01°09'49" de latitud Sur y 79°51'45" de longitud Oeste. Las condiciones edafoclimáticas del sitio fueron: altitud de 73 msnm, temperatura promedio anual de 24,87 °C, precipitación anual de 2223,85 mm, humedad relativa del 85,48 %, y una heliofanía media de 898,66 horas de luz al año, en un terreno de topografía regular (Meza 2013).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos de frecuencia de riego: T1 (cada 2 días), T2 (cada 4 días), T3 (cada 6 días) y T4 (cada 8 días), cada uno con cuatro repeticiones. En total, se evaluaron 960 plantas por

tratamiento. Para el análisis estadístico, se aplicó un Análisis de la Varianza (ANOVA, para la comparación de medias entre tratamientos; implementando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando las tablas del rango de Tukey.

Manejo experimental

Primero se realizó la limpieza del terreno con machetes para eliminar la maleza y, debido a la compactación del suelo, se efectuó una labranza mecánica. La siembra manual se llevó a cabo el 7 de octubre de 2021, utilizando espeques para hacer los hoyos donde se colocó una semilla de la variedad ADV 9313 por sitio, a una distancia de 80 cm entre hileras y 20 cm entre plantas; las semillas fueron previamente tratadas con Carbin para prevenir enfermedades y plagas. El control de malezas se hizo manualmente hasta los 60 días después de la siembra, luego se utilizó un control químico con Amina + Paraquat (1 l/ha) hasta el final del ciclo de tres meses. El riego se realizó mediante un sistema de goteo con cinta, con frecuencias de 2, 4, 6 y 8 días, ajustadas en función de la evapotranspiración y las condiciones climáticas. La fertilización consistió en la aplicación de Urea cada 15 días durante la fase inicial, Yara–Mila (N) + Muriato de Potasio en la etapa media, y 10-30-10 (mezcla física) en la fase de llenado de grano, siendo el esquema de fertilización igual para todos los tratamientos (Chugchilan 2022). El cultivo no presentó enfermedades, pero sí una plaga de Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) a los 17 días después de la siembra, la cual fue controlada con Cipermetrina (300 cc/ha). Finalmente, la cosecha de las mazorcas se realizó manualmente el 14 de enero de 2022, a los 90 días de la siembra, con producto apto para el consumo humano y la comercialización.

Variables evaluadas

Comportamiento agronómico y productivo

Se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas por parcela, con un total de 16 parcelas (4 por tratamiento), para medir la altura de planta desde el cuello de la raíz hasta la espiga cada 7 días, expresando los resultados en centímetros; el ancho del tallo se midió en las mismas plantas y tiempos con un calibrador pie de rey. El número de hojas por planta se obtuvo mediante conteo visual hasta la aparición de la hoja bandera, mientras que el largo y ancho de hoja se midieron usando cinta métrica, promediando los datos en centímetros. Para la longitud de mazorca, se eligieron 10 mazorcas al azar por tratamiento, midiéndolas desde la base hasta el ápice; el diámetro de mazorca se registró en el tercio medio de cada mazorca con un calibrador. El número de hileras de granos se determinó contabilizando las hileras en 10 mazorcas por parcela. El peso global de semillas se evaluó con una balanza gramera usando las mismas mazorcas y el rendimiento de biomasa seca foliar útil se determinó pesando hojas previamente deshidratadas en estufa durante 48 horas. Luego, se calculó el rendimiento en kilogramos por hectárea utilizando la fórmula propuesta por

(Pinargote 2018), que consiste en multiplicar el peso húmedo por parcela (Php), el peso seco (Ps) y un factor de corrección (Fc), el cual ajusta el valor según la relación entre el área total de una hectárea y el área de la parcela evaluada, además de convertir el peso de gramos a kilogramos. Así, el rendimiento por hectárea (Rsb, en kg/ha) se expresa como: $Rsb = Php \times Ps \times Fc$.

Finalmente, el rendimiento de grano se estimó a partir del peso total obtenido en cada parcela útil, y se expresó en kilogramos por hectárea. Para ello, se aplicó la fórmula utilizada en estudios agronómicos, en la cual el rendimiento por hectárea (Kg/ha) se calcula multiplicando el rendimiento de la parcela útil (Rpu, en kilogramos) por 10 000 (superficie de una hectárea en m^2), y dividiendo el resultado entre el área efectiva de la parcela evaluada (Apu, en metros cuadrados). Así, la fórmula es: $Kg/ha = (Rpu \times 10\,000 m^2) / Apu.\ m^2$

Volumen de eficiencia hídrica

El volumen de eficiencia hídrica para cada frecuencia de riego se determinó calculando la relación entre el rendimiento del cultivo y el volumen total de agua aplicado por tratamiento, expresado en metros cúbicos por hectárea (m^3/ha). Esta eficiencia se estimó mediante la fórmula: $m^3/ha = Rc / Vt$, donde Rc corresponde al rendimiento del cultivo en kilogramos por hectárea y Vt al volumen total de agua utilizada en cada tratamiento, también expresado en metros cúbicos por hectárea. Esta relación permite evaluar la productividad del agua aplicada en función del rendimiento obtenido.

III. RESULTADOS

Altura de planta

El análisis de varianza determino que los tratamientos estudiados no obtuvieron significancia estadística (Tabla 2). Sin embargo, la mayor altura de planta al final del estudio con 2.25 cm correspondió al T4 (Frecuencia de 8 días), numéricamente superior al T1 (Frecuencia de 2 días) que registro el menor valor con 2.01 cm.

Tabla 2. Altura de planta promedio.

Tratamientos	Altura de planta (m)	
T1 (2 días)	2,01	a
T2 (4 días)	2,19	a
T3 (6 días)	2,12	a
T4 (8 días)	2,25	a
Promedio	2,14	
CV (%)	24,16	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba Tukey (p≤0.05).

Diámetro del tallo

Según el análisis de varianza, los tratamientos no alcanzaron significancia estadística, con un coeficiente de variación de 8.98 %. Sin embargo, el efecto del T4: Frecuencia de 8 días produjo plantas de mayor diámetro de tallo con 2.90 cm (Tabla 3).

Tabla 3. Diámetro promedio.

Tratamientos	Ancho del tallo (cm)	
T1 (2 días)	2,50	a
T2 (4 días)	2,00	a
T3 (6 días)	2,10	a
T4 (8 días)	2,90	a
Promedio	2,38	
CV (%)	8,98	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Número de hojas por planta

El análisis de varianza determinó que los tratamientos estudiados en la variable número de hojas por planta, alcanzaron significancia estadística con un coeficiente de variación de 16.72 %. Siendo, el T4 el mejor tratamiento: Frecuencia de 8 días con un registro de 13.1 hojas por planta. Mientras que, en contraparte los tratamientos T1, T2 y T3 no obtuvieron diferencia significativa entre ellas en el número de hojas por planta, mientras que, si difirieron estadísticamente con T4 (Tabla 4).

Tabla 4. Número promedio de hojas por planta.

Tratamientos	Nº hojas por planta	
T1 (2 días)	10,60	b
T2 (4 días)	11,70	b
T3 (6 días)	11,60	b
T4 (8 días)	13,10	a
Promedio	11,75	
CV (%)	16,72	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Largo de hoja

El análisis de varianza estadística reflejo que los tratamientos si alcanzaron significancia estadística, siendo 10.51 %, el respectivo coeficiente de variación. El mayor valor de largo de hoja en las plantas se obtuvo con el T4: Frecuencia de 8 días con 101.84 cm, estadísticamente superior a T1 (85.81 cm) pero estadísticamente igual a T3 y T2 que registraron valores entre 95.69 y 94.56 cm respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Largo de hoja promedio.

Tratamientos	Largo de hoja (cm)	
T1 (2 días)	85,81	b
T2 (4 días)	94,56	ab
T3 (6 días)	95,69	ab
T4 (8 días)	101,84	a
Promedio	94,48	
CV (%)	10,51	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Ancho de la hoja

El análisis de varianza determino alta significancia estadística para los tratamientos estudiados, con un coeficiente de variación de 4.87 %. Siendo el mejor tratamiento el T4: Frecuencia de 8 días con el mayor ancho de hoja, con 9.17 cm, superando a los demás tratamientos que oscilaron valores de igualdad estadística con 8.64 y 8.56 cm y el menor promedio de diámetro registrado fue de 7.47 cm, correspondiente a T1: Frecuencia de 2 días (Tabla 6).

Tabla 6. Ancho de hoja promedio.

Tratamientos	Ancho de la hoja (cm)	
T1 (2 días)	7,47	c
T2 (4 días)	8,56	b
T3 (6 días)	8,64	bc
T4 (8 días)	9,17	a
Promedio	8,46	
CV (%)	4,87	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Longitud de mazorca

Conforme al análisis de varianza, los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de variación de 13.20 %. Siendo el T4: Frecuencia de 8 días, el tratamiento que produjo mazorcas de mayor longitud con un valor de 18.38 cm, sin diferir estadísticamente de T3: Frecuencia de 6 días y T2: Frecuencia de 4 días, con promedios de 16.75 y 15.75 cm, pero si superior al T1 que registró mazorcas con 13.50 cm de longitud (Tabla 7).

Tabla 7. Longitud de mazorca promedio.

Tratamientos	Longitud de mazorca (cm)	
T1 (2 días)	13,50	b
T2 (4 días)	15,75	ab
T3 (6 días)	16,75	ab
T4 (8 días)	18,38	a
Promedio	16,10	
CV (%)	13,20	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Diámetro de mazorca

El análisis de varianza reflejo que los tratamientos en estudio no registraron significancia estadística, existiendo un 8.84 % de coeficiente de variación. Sin embargo, el mayor valor de diámetro de mazorca se presentó en el T4: Frecuencia de 8 días con 10.83 cm, en igualdad estadística con el T3: Frecuencia de 6 días con 10.50 cm, superiores estadísticamente a los restantes tratamientos que produjeron mazorcas con promedios de 10.17 y 9.57 cm de diámetro, ostentando el menor promedio el T1: Frecuencia de 2 días (Tabla 8).

Tabla 8. Diámetro promedio de mazorca.

Tratamientos	Diámetro de mazorca (cm)	
T1 (2 días)	9,57	a
T2 (4 días)	10,17	a
T3 (6 días)	10,50	a
T4 (8 días)	10,83	a
Promedio	10,27	
CV (%)	8,84	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Número de hileras de granos

De acuerdo, con el análisis de varianza los tratamientos de estudio no alcanzaron significancia estadística, con un coeficiente de variación de 8.21 %. No obstante, T4: Frecuencia de 8 días, cosechó mazorcas con mayor número de hileras de granos, registrando un promedio de 15.00 hileras, superando estadísticamente al T3: Frecuencia de 6 días que produjo mazorcas con un promedio de 13.50 hileras de granos, mientras que los tratamientos sobrantes obtuvieron promedios estadísticos iguales con 13.00 hileras, correspondientes al T2: Frecuencia de 4 días y T1: Frecuencia de 2 días, respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9. Número promedio de hileras de granos.

Tratamientos	Número de hileras de granos	
T1 (2 días)	13,00	a
T2 (4 días)	13,00	a
T3 (6 días)	13,50	a
T4 (8 días)	15,00	a
Promedio	13,63	
CV (%)	8,21	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Peso global de semillas

El análisis de varianza determino que los tratamientos no registraron significancia estadística, con un coeficiente de variación de 17.79 %. Sin embargo, el mayor peso de semillas presento el efecto de T4: Frecuencia de 8 días con 2328.03 gr, numéricamente superior a los restantes tratamientos que registraron promedios de 2076.90 y 1706.58 gr, siendo el menor valor el T1: Frecuencia de 2 días (Tabla 10).

Tabla 10. Peso global promedio de semillas.

Tratamientos	Peso global de semillas (gr)
T1 (2 días)	1706,58 a
T2 (4 días)	2175,30 a
T3 (6 días)	2076,90 a
T4 (8 días)	2328,03 a
Promedio	2071,70
CV (%)	17,79

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0,05).

Rendimiento de biomasa seca foliar útil

El análisis de varianza estadística reflejó que los tratamientos si alcanzaron diferencia estadística, siendo 3.16 %, el respectivo coeficiente de variación. Siendo, tanto T4: Frecuencia de 8 días (20.33 kg/ha), como T2: Frecuencia de 4 días con un promedio de los mejores tratamientos con registros de 20.33 y 19.53 kg/ha respectivamente. Los menores promedios los presentaron T3: Frecuencia de 6 días y T1: Frecuencia de 2 días, con 10.96 y 11.06 kg/ha respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Rendimiento promedio de biomasa seca foliar útil (kg/ha).

Tratamientos	Rendimiento de biomasa seca foliar útil (kg/ha)
T1 (2 días)	11,06 b
T2 (4 días)	19,53 a
T3 (6 días)	10,96 b
T4 (8 días)	20,33 a
Promedio	15,47
CV (%)	3,16

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05).

Rendimiento del grano

Según el análisis de varianza los tratamientos no reflejaron significancia estadística, cuyo coeficiente de variación fue de 17.72 %. Sin embargo, la aplicación de T4: Frecuencia de 8 días produjo el mayor rendimiento con un promedio de 14.67 t/ha, superando numéricamente a los otros tratamientos que presentaron rendimientos con valores de 13.70 y 10.75 t/ha, registrando el menor rendimiento el T1: Frecuencia de 2 días (Tabla 12).

Tabla 12. Rendimiento promedio del grano (t/ha).

Tratamientos	Rendimiento del grano (t/ha)
T1 (2 días)	10,75 a
T2 (4 días)	13,70 a
T3 (6 días)	13,11 a
T4 (8 días)	14,67 a
Promedio	13,06
CV (%)	17,72

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0,05).

Volumen de agua aplicada

El mayor volumen eficiente del uso de agua en el cultivo se evidencio en el T4: Frecuencia de 8 días, ascendiendo a 19.14 m^3/ha, que pertenece a los 766.54 m^3/ha al recurso hídrico aplicado. Sin diferir a los valores de 17.87 y 17.10 m^3/ha correspondientes a los T2: Frecuencia de 4 días y T3: Frecuencia de 6 días con 766,54 m^3/ha de volumen total aplicado. El valor más bajo se registró en T1: Frecuencia de 2 días con 14.02 m^3/ha de eficiencia hídrica; en este último tratamiento se aplicó de agua igual 766.54 m^3/ha por medio de la aplicación de riego, con un tiempo de 1816.29 minutos (Tabla 13).

Tabla 13. Volumen de eficiencia hídrica.

Tratamientos	Rendimiento del grano (kg/ha)	Volumen aplicado (m^3/ha)	Eficiencia del uso del agua (kg/m^3)
T1 (2 días)	10 750	784,8	13,70
T2 (4 días)	13 700	772,3	17,74
T3 (6 días)	13 110	736,0	17,81
T4 (8 días)	14 670	772,7	19,00
Promedio			17,06

IV. DISCUSIÓN

El sistema de riego por goteo ha demostrado ser una alternativa eficiente para mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos, especialmente en escenarios de escasez hídrica creciente. No obstante, su adopción en contextos rurales enfrenta limitaciones debido a los elevados costos de inversión y mantenimiento (Liotta et al., 2015). En este sentido, optimizar la frecuencia de riego se presenta como una estrategia clave para maximizar la eficiencia del recurso, sin comprometer el desempeño agronómico

del cultivo de maíz.

Los resultados de esta investigación aportan información relevante sobre la tensión hídrica en el maíz, evidenciando que una frecuencia de riego adecuada incrementa el rendimiento del cultivo, mejorando el crecimiento de las plantas y el desarrollo de las mazorcas. Esto concuerda con Guamán et al. (2020), quienes señalan que el maíz es altamente sensible al exceso hídrico y requiere un drenaje eficiente para mantener una evapotranspiración óptima (Aizpuru, 2014; Morais et al., 2016).

Los rendimientos obtenidos son consistentes con los reportados por Vargas (2022) en quinua, donde frecuencias de riego de 5 días incrementaron la producción de 4,38 t/ha a 6,46 t/ha, y por Montes (2019) en mora, con un aumento de 4,31 t/ha a 5,56 t/ha al espaciar el riego de 3 a 7 días. Estos resultados sugieren que un mejor balance aire-agua en el suelo favorece el metabolismo vegetal, aunque deben evitarse excesos de humedad que propicien plagas y enfermedades (Casaza, 2014).

La biomasa foliar también mostró un comportamiento favorable con menores frecuencias de riego. La mayor producción de materia seca se alcanzó a 8 días, superando significativamente otras frecuencias, salvo la de 4 días, que presentó una ligera disminución. Este patrón es similar al reportado por Frowen (2015) en camote, donde una frecuencia de 4 días optimizó la biomasa foliar, asociándose a una mayor expansión foliar y eficiencia de nutrientes (Meléndez.2006).

En Ecuador, Caviedes et al. (2022) destacan la falta de tecnificación en el riego del maíz, lo que limita el desarrollo fenológico del cultivo (León, 2019). Por tanto, la adopción de sistemas de riego por goteo, que optimizan los parámetros fisiológicos y bioquímicos del cultivo, resulta estratégica.

Además de su eficiencia hídrica, el riego por goteo ofrece bajos costos de operación y amplia automatización (Valdivielso, 2020). En este estudio, menores frecuencias de riego favorecieron el crecimiento vegetativo, reafirmando la importancia de ajustar la frecuencia de riego para maximizar la productividad. Resultados similares se observaron en sábila (Gerardo et al., 2018), donde parámetros biofísicos fueron eficientes independientemente de ligeras variaciones en la frecuencia de riego, aunque siempre condicionados por el entorno climático.

La eficiencia en el uso del agua fue mayor en frecuencias extendidas de riego. A 8 días, se observó un incremento notable en los parámetros vegetativos y en el rendimiento del maíz, en línea con Zubillaga (2017), quien en amaranto reportó una eficiencia de uso hídrico superior al aumentar la frecuencia de riego de 7 a 14 días, mejorando un 1,22% la producción.

Finalmente, el estudio confirma que las frecuencias de riego aplicadas no afectaron negativamente las fases de crecimiento, floración, llenado de grano y madurez del maíz. No obstante, se recomienda realizar investigaciones complementarias que analicen de forma específica el efecto del riego por goteo en distintas variedades y etapas fenológicas para validar estos hallazgos.

V. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que el cultivo de maíz alcanzó un desempeño agronómico significativamente superior bajo una frecuencia de riego de 8 días, optimizando tanto el desarrollo vegetativo como reproductivo del cultivo. El tratamiento T4 evidenció incrementos notables en variables clave como altura y diámetro de planta, número de hojas, biomasa foliar, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras de grano y peso de semilla, lo que se tradujo en una mayor eficiencia productiva y rentabilidad.

Asimismo, esta frecuencia de riego permitió maximizar el uso del recurso hídrico, logrando un equilibrio técnico entre productividad y sostenibilidad. La implementación del riego por goteo con menor frecuencia no solo mantuvo el rendimiento, sino que también favoreció un uso racional del agua, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso en contextos agrícolas con limitaciones hídricas. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de estrategias de riego optimizadas como herramientas clave para mejorar la eficiencia agroproductiva en sistemas intensivos de cultivo de maíz.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aizpuru, M. (2014). *Zea mays L.: maíz.* Recuperado

el 5 de Abril de 2022, de UNAVARRA: https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Zea_mays_p.htm

Casaza, H. (2014). *La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua [Tesis de Ingeniería]*. Quito: FLACSO Andes. Obtenido de La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua [Tesis de Ingeniería].: https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/1365/2/TFLACSO-02-2009SBM.pdf

Caviedes, M., Carvajal, F., & Zambrano, J. (Abril de 2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (Zea mays. L) en el Ecuador. *Avances en ciencias e ingenierías, 4*(1), 1-21. doi:https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588

Caviedes, M., (2019). Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1), 116-123.

Chang, L. (2020). Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand [Tesis de Ingeniería]. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo: https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2799

Chugchilan, L. (2022). Efecto de la frecuencia de riego por goteo en la producción del cultivo de maíz (Zea mays L.) [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/55b0339b-3ded-4d1e-9bbb-8aea6fdb98ce/content

Gerardo, J., Pujols, P., Tornes, N., & Machado, J. (2018). Efecto de diferentes frecuencias y dosis de riego por goteo en el cultivo de sábila en el Municipio Colina del estado Falcón. *KOINONIA, 3*(5), 99-109. Obtenido de https://www.academia.edu/37365627/Efecto_de_diferentes_frecuencias_y_dosis_de_riego_por_goteo_en_el_cultivo_de_s%C3%A1bila_pdf

Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, A., Ulloa, S., & Romero, E. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra, 7*(2), 47-56. doi:https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196

León Ortiz, S.P. (2019). *Análisis de la producción, comercialización y rentabilidad del cultivo de maíz en el cantón Mocache* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional UTECQ. https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3614

Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). Riego por goteo (1.ª ed., Vol. 3). PROSAP; INTA.

López, C., & Paz, C. (2021). *Sistema de riego por goteo para un cultivo de maíz de la empresa Distribuciones del Campo CR [Tesis de Ingeniería]*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/e410b713-bb93-41be-b317-86610718643c/content

Meléndez, L., Hernández, A., & Fernández, S. (2006). Efecto de la fertilización foliar y edáfica sobre el crecimiento de plantas de maíz sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro, 18*(2), 11-21. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612006000200005

Meza, J. (2013). Propagación vegetativa de plátano Dominique (Musa paradisiaca) bajo dos porcentajes de sombra con la aplicación de cuatro dosis de benzilaminopurina (BAP) en el cantón El Empalme provincia del Guayas. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. https://repositorio.utc.edu.ec/items/bbf4e642-1805-429e-aeeb-4fc16549181d

Morais, M., Rebouças, M., Brasil, S., Palau, C.,

& Vasconcelos, D. (2016). Efecto de la frecuencia de riego sobre la calidad del tomate en la región costera del nordeste brasileño. *Congreso Nacional de Riegos, 16*(34), 1-8. http://dx.doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.A16

Ortiz, R., Chile, M., Cartagena, Y., Morillo, R., Vásquez, C., Romero, M., Torres, P. (2021). Efecto del riego por goteo de bajo volumen en el rendimiento del cultivo de fréjol variedad "Rojo del Valle" en los andes ecuatorianos. *Manglar, 18*(13), 253-260. https://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/view/263

Pinargote, J. (2018). Producción de biomasa y determinación del índice de cosecha en genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd), en la Finca Experimental "La María" [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4723/1/T-UTEQ-0237.pdf

Sivisaca, J. (2013). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en la producción del cultivo de fréjol (Phaseoius vulgaris L.), según la evaporación del tanque evaporímetro clase A [Tesis de Maestría]*. Loja: Universidad Nacional de Loja. Obtenido de https://dspace.unl.edu.ec/items/4897a047-3698-491e-9a29-39b53981a4bd

Valdivielso, A. (2020). *¿En qué consiste el riego por goteo?* Recuperado el 29 de Julio de 2022, de Iagua: https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-riego-goteo

Vargas, G. (2022). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en el rendimiento de cultivo de quinua bajo condiciones edafoclimaticas en el Centro Agronomico K'ayra-San Jeronimo Cusco [Tesis de Ingeniería]*. Cusco: Universidad Nacional De San Anthonio Abad del Cusco. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6532/253T20220123_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villalobos, V., & García, M. (2017). *El agua para la agricultura de las Américas* . Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA): https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6148/BVE17109367e.

Zubillaga, M. (2017). *Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina [Tesis de Ingeniería]*. Bahía Blanca: Universidad Nacional Del Sur Bahía Blanca. Obtenido de https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/4132/Tesis%20Zubillaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y