

RIEGO DEFICITARIO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DE HÍBRIDO DE MAÍZ

REVISTA
ESPAMCIENCIA

DEFICIT IRRIGATION AND SEEDING DENSITY IN MORPHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE INDICATORS OF CORN HYBRID

Tapia Chávez, Richard Gabriel; León Aguilar, Rolando Venancio;
Torres García, Caridad Antonio

Richard Gabriel Tapia Chávez
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Rolando Venancio León Aguilar
rolando.leon@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Caridad Antonio Torres García
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Revista ESPAMCIENCIA
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador
ISSN: 1390-8103
Periodicidad: Semestral
vol. 12, núm. 2, 2021
revista@espam.edu.ec

Recepción: 25 Agosto 2021
Aprobación: 20 Diciembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/527/5274199007/>

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.269



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El rápido incremento de la población mundial ha hecho que el uso eficiente del agua sea una necesidad impostergable. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del riego deficitario y la densidad de siembra en indicadores morfofisiológicos y productivos del cultivo de maíz híbrido Py 4039 con riego por goteo. Se desarrolló un experimento bifactorial con arreglo de 4x3 con 12 tratamientos, se evaluaron cuatro porcentajes de la lámina bruta calculadas con el software Cropwat 8,0 y tres densidades de siembra. Se desarrolló un experimento en parcelas divididas. En las parcelas principales se evaluaron las láminas al 120, 100, 90 y 80% de la lámina bruta total y en las parcelas secundarias las densidades de siembras de 66 666, 50 000 y 40 000 plantas por ha. Las variables morfofisiológicas medidas fueron altura de plantas, diámetro del tallo, número de hojas y altura de inserción de la mazorca y las variables productivas: peso promedio de los granos y rendimiento estimado. El uso eficiente del agua se estimó por la relación entre la producción de maíz obtenida y el volumen de agua consumido. Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza bifactorial, con el programa estadístico (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System. Los resultados obtenidos demuestran que con lámina de riego de 376,31 mm y densidad de 66 666 plantas se alcanza rendimiento medio de 13,49 t.ha-1, y una eficiencia en el uso del agua de 8,98 kg de maíz producido por m-3 de agua aplicado.

Palabras clave: Agua, eficiencia, producción, rendimiento.

Abstract: The rapid increase in the world's population has made efficient use of water an urgent necessity. The objective of the research was to evaluate the effect of deficit irrigation and planting density on morphophysiological and productive indicators of the hybrid Py 4039 corn crop with drip irrigation. A bifactorial experiment was developed with a 4x3 arrangement with 12 treatments, four percentages of the raw sheet calculated with the Cropwat 8.0 software and three planting densities were evaluated. An experiment was developed in divided plots. In the main plots the sheets were evaluated at 120, 100, 90 and 80% of the total gross layer and in the secondary plots the planting densities of 66 666, 50 000 and 40 000 plants

per ha. The morphophysiological variables measured were plant height, stem diameter, number of leaves and corn insertion height, and the productive variables: average grain weight and estimated yield. The efficient use of water was estimated by the relationship between the corn production obtained and the volume of water consumed. The results were evaluated by means of a bifactorial analysis of variance, with the statistical program (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System. The results obtained show that with an irrigation sheet of 376.31 mm and a density of 66 666 plants, an average yield of 13.49 t.ha⁻¹ is reached, and an efficiency in the use of water of 8.98 kg of corn produced per m⁻³ of water applied.

Keywords: Water, efficiency, production, performance.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo, por su uso en la alimentación humana, animal, y como materia prima para la industria (Grande y Orozco, 2013; Coral et al., 2019). Según informe de la FAO (2016), en el 2014 se obtuvo la producción record de maíz seco duro a nivel mundial, superando los 1037,8 millones de toneladas. Carvajal y Caviades (2019) señalan que en la región sudamericana la producción se ha incrementado; sin embargo, se muestra gran variabilidad en cuanto a los rendimientos alcanzados, los cuales pueden ser superiores a las 10 t.ha⁻¹, señalando que aún existen zonas donde pueden ser inferiores a las 2,12 t.ha⁻¹.

En el Ecuador la producción de maíz seco duro ha tenido un ascenso significativo en los últimos años, tanto en área sembrada como en los niveles de rendimientos y producción alcanzados. En la campaña del 2020 la superficie sembrada en el país fue de 334 767 ha y la producción de 1 479 770 toneladas con un rendimiento medio de 6,56 t.ha⁻¹ (ESPAC, 2020).

Múltiples factores tienen influencia directa e indirecta en el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo del maíz (Bonilla y Singaña, 2019). Moran et al. (2020) precisan que la sustentabilidad de la producción maicera se puede lograr con la aplicación eficiente de las prácticas agrícolas, entre las que destacan el riego y la fertilización, consideran que la respuesta del cultivo del maíz está relacionada con las características del material de siembra, clima, suelo, agua, densidad poblacional entre otros.

El cultivo del maíz es una planta que presenta una demanda hídrica entre los 500 y 800 mm, sin embargo, la sequía y la escasez de agua son los elementos predominantes que limitan la producción agrícola en las regiones áridas y semiáridas del mundo (Chen et al., 2019). La búsqueda de alternativa que ayuden a disminuir el consumo de agua en la producción de maíz tiene un gran impacto en la actualidad. Dentro de estas acciones, el riego localizado por goteo se convierte en una alternativa viable ya que reduce las dosis de agua, con un ahorro significativo a la vez que se logra un mayor aprovechamiento por parte de la planta (Wittling et al., 2019). Además del método de riego se pueden aplicar acciones que ayudan a minimizar el consumo de agua, siendo el riego deficitario una opción.

Según Mustafa et al. (2017) el riego deficitario presenta rendimientos de granos similares a los alcanzados con el riego completo y, al mismo tiempo, podría ahorrar de 121-197 mm de agua por temporada. La aplicación del riego deficitario en el inicio de floración puede aumentar el rendimiento en el cultivo dependiendo del tipo de suelo y su fertilidad. Rivera et al. (2020), señalan que el riego deficitario puede ser una opción para disminuir hasta 20% de la ET_c en cultivos como el pimiento.

Wu et al. (2018) expresan que el riego deficitario es una alternativa de cultivo que se centra en el rendimiento de los cultivos, el ahorro de agua y el comportamiento fisiológico de las plantas, permitiendo

una mayor absorción de agua en la parte más húmeda del sistema de raíces que compensa la baja absorción del lado más seco. Mientras que Mendoza et al. (2016), manifiestan que es importante saber en qué etapas de crecimiento, utilizar el riego deficitario para lograr rendimientos óptimos.

Además del manejo adecuado del riego, existen otros factores para garantizar los niveles de producción de acuerdo al potencial productivo del cultivo, entre ellos la densidad de plantas por hectáreas. En estudio realizado por Martínez et al. (2017) para evaluar la respuesta de varios híbridos bajo diferentes densidades de siembran obtuvieron la mayor productividad de granos con un híbrido simple y 75 000 plantas.ha⁻¹, con rendimiento promedio de 9,07 t.ha⁻¹.

Por su parte Quevedo et al. (2015), al evaluar el híbrido impacto con una densidad de población de 112 500 plantas.ha⁻¹ obtuvieron rendimientos de 11,6 t.ha⁻¹ y una rentabilidad del 59,6%. Guangzhou et al. (2020) expresan que la selección óptima de la población en plantas permite que el maíz intercepte y utilice la radiación solar de manera más eficiente lo que contribuye a un aumento notable en el potencial de rendimiento de grano.

Cao et al. (2021) señalan que es importante tener en cuenta la densidad de siembra, si esta es alta, reduce la transmisión de luz dentro de una población y acelera la senescencia de las hojas lo cual afecta la fotosíntesis en el cultivo y la distribución de sustancias que limitan el desarrollo del grano.

El híbrido de maíz Pioneer 4039 es de excelente calidad, tallos, raíces, y sanidad de los granos. Combina uniformidad, estabilidad y alto rendimiento. Roca (2019) señala que es un híbrido con un buen cierre de punta de mazorca, grano pesado, recomienda distancia de siembra entre surcos de 0,8 a 0,9 metros, lo que permite una altura de mazorca entre los 1,45 m hasta 1,55 m con una altura de planta que puede alcanzar hasta los 2,33 m, y rendimiento agrícola de 8,06 t.ha⁻¹ de grano seco. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la densidad de siembra y el riego deficitario en indicadores morfofisiológicos y productivos del cultivo de maíz híbrido Pioneer, Py 4039.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del ensayo

La investigación se realizó en el campus experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la Parroquia Lodana, del cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador, localizada en las coordenadas geográficas 01°09'51" de Latitud Sur y los 80°23'24" de Longitud Oeste, a una altitud de 60 msnm. Presenta una temperatura promedio anual de 26,36°C, una humedad relativa promedio de 79,81%, con una evaporación promedio ascendente de los 1665 mm y una precipitación promedio anual de 738 mm.

Material genético

En el estudio se utilizó el híbrido de maíz (*Zea mays*) de la línea Pioneer, Py 4039. Los que recomiendan densidad de siembra entre las 62 500 y 67 000 plantas.ha⁻¹ Se caracteriza por un ciclo (55-57 días a la floración) y de (120-130 días) a la cosecha, con una altura de planta que puede alcanzar entre los 2,65 hasta 2,75 metros.

Diseño experimental

Se desarrolló un experimento bifactorial con arreglo de 4x3 para un total de 12 tratamientos con tres repeticiones.

Los factores en estudio fueron

1. Densidad de siembra: Se estudiaron tres densidades de siembra: 66 666, 50 000 y 40 000 plantas ha⁻¹. Para lograr estas densidades se realizó la siembra con un surco del cultivo para cada cinta de riego, la cual estaba colocada a un metro y se establecieron tres distancias entre plantas: 0,15-0,20-0,25 metros.

2. Riego deficitario controlado: Se estudiaron cuatro porcentajes de las láminas brutas totales aplicadas al cultivo 1(120%); 2(100%); 3(90%) y 4(80%) Las láminas de riego netas y brutas parciales y totales para el ciclo del cultivo, fueron determinadas mediante el software Cropwat. 8,0 (FAO, 2006). Los tratamientos se muestran en el cuadro 1.

CUADRO 1
Tratamientos evaluados. Porcentaje de lámina bruta total (Lbt) y densidad de siembra

Factor Porcentaje de la Lámina bruta	Densidad de siembra		
	A 66 666 plantas ha-1	B 50 000 plantas ha-1	C 40 000 plantas ha-1
1 (120% de la Lbt)	T1	T2	T3
2 (100% de la Lbt)	T4	T5	T6
3 (90% de la Lbt)	T7	T8	T9
4 (80% de la Lbt)	T10	T11	T12

El experimento se desarrolló en un diseño de parcelas divididas, en las parcelas principales se evaluó el factor riego deficitario en función de los porcentajes de la lámina bruta estudiados y en las parcelas secundarias se estudió las densidades de siembra. Con este diseño se logró regular los tiempos de riego aplicados de acuerdo a cada uno de los porcentajes evaluados.

Riego y determinación de las dosis aplicadas

Se utilizó un sistema de riego por goteo con cintas de la marca TORO con goteros separados a 0,20 metros, se realizó la evaluación del sistema determinando el caudal medio de los goteros y el porcentaje de uniformidad.

La programación del riego se realizó mediante software Cropwat 8,0. (FAO, 2006), para lo cual se utilizaron los datos del cultivo del maíz (Cuadro 2).

Las propiedades hidrofísicas del suelo cuadro 3.

CUADRO 2
Datos del cultivo del maíz

Parámetros	UM	Valor
Cultivo		maíz
Marco de siembra	m	Variado según el experimento (1x0,15); (1x0,20) y (1x0,25)
Días a la cosecha	días	120
Etapas para el manejo del riego	días	20; 40 y 20
Zr: Sistema radicular efectivo	m	0,15; 0,25 y 0,35
Kc: Coeficientes de cultivo		0,80; 1,15 y 0,90
F:Factor de agotamiento		0,30

Las propiedades hídricas de suelo, fueron determinadas en el laboratorio de suelo y aguas del departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí. Los datos del clima fueron tomados de la estación meteorológica La Teodomira con una serie de 18 años, comprendida entre el año 2000 y 2018.

CUADRO 3
Propiedades hidrofísicas del suelo

% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (g.cm3)	Densidad Real (g.cm3)	Porosidad (%)	Capacidad de campo (%Pss)	Punto de marchitez (%Pss)
52,4	47	0,6	Arc.Arenoso	1,22	2,65	57,73	23,25	12,20
44,8	46,2	9	Arc.Arenoso	1,25	2,65	57,73	24,39	13,04

Con la programación del riego, realizada mediante el Cropwat 8.0 se obtuvieron el número y las fechas de riego, así como las láminas netas y brutas parciales (Lnp y Lbp), en L.m²; a aplicar en cada riego, a las que se le determinaron los porcentajes evaluados (Cuadro 4).

CUADRO 4

Láminas netas y brutas por riego y totales aplicadas, según los porcentajes de la lámina bruta evaluados

Fechas de Riego	Lnp (L.m2)	Lbp (L.m2)	1(120 % de la Lbp) (L.m2)	2. (100 % de la Lbp) (L.m2)	3(90 % de la Lbp) (L.m2)	4 (80 % de la Lbp) (L.m2)
5/8/2019	10,0	11,1	12,21	11,1	9,99	8,88
9/8/2019	10,7	11,9	13,09	11,9	10,71	9,52
12/8/2019	11,0	12,2	13,42	12,2	10,98	9,76
15/8/2019	11,1	12,4	13,64	12,4	11,16	9,92
19/8/2019	14,7	16,4	18,04	16,4	14,76	13,12
23/8/2019	15,5	17,2	18,92	17,2	15,48	13,76
27/8/2019	15,8	17,5	19,25	17,5	15,75	14,00
31/8/2019	16,0	17,7	19,47	17,7	15,93	14,16
4/9/2019	18,8	20,9	22,99	20,9	18,81	16,72
8/9/2019	18,8	20,9	22,99	20,9	18,81	16,72
12/9/2019	20,4	22,6	24,86	22,6	20,34	18,08
16/9/2019	21,4	23,8	26,18	23,8	21,42	19,04
20/9/2019	21,4	23,8	26,18	23,8	21,42	19,04
24/9/2019	21,1	23,4	25,74	23,4	21,06	18,72
28/9/2019	21,1	23,4	25,74	23,4	21,06	18,72
2/10/2019	20,6	22,9	25,19	22,9	20,61	18,32
6/10/2019	19,8	22,0	24,20	22,0	19,8	17,60
10/10/2019	19,8	22,0	24,20	22,0	19,8	17,60
Total	308,0	342,1	376,31	342,1	307,89	273,68

Determinación de los tiempos de riego de acuerdo con los porcentajes de las láminas brutas a aplicar

Al tratarse del riego localizado se determinó la franja húmeda, la que se obtuvo mediante lecturas del contenido volumétrico de humedad a ambos lados de la cinta de goteros para lo cual se utilizó el sensor de humedad TDR-300, estimándose una franja húmeda de 0,40 metros. Los datos utilizados para calcular los tiempos de riego en correspondencia con los porcentajes de las láminas brutas aplicadas de acuerdo con las fechas de cada riego y en correspondencia con el desarrollo fenológico del cultivo se establecen en el cuadro 5. La determinación de los tiempos de riego se realizó mediante el siguiente procedimiento.

$$Tr = \frac{VNS}{VRS} (h) \quad [1]$$

$$VNS = Lbp \times Lfh \times Afh (h)$$

$$VRS = qg \times Ng (h)$$

Manejo agronómico del experimento

Se ejecutó la preparación del suelo de forma mecanizada, realizando las siguientes labores: arado, pase de rastra, permitiendo que el suelo quedara en óptimas condiciones. La siembra se realizó el 5 de agosto del 2019.

CUADRO 5
Parámetros para la determinación de los tiempos de riego.

Parámetro	Descripción
Tr	Tiempo de riego en (h)
VNS	Volumen que necesita surco (L)
VRs	Volumen que recibe el surco (L.h ⁻¹)
Lbp	Lámina bruta en (L.m ²)
Lfh	Largo de la franja húmeda (m)
Afh	Ancho de la franja húmeda (m)

Se realizaron fertilizaciones edáficas acorde a la fase del cultivo; la primera a los 10 días, después de la siembra se utilizó el fertilizante INDIA con la fórmula (16-16-16) con una dosis de 5 g.plantas⁻¹. La segunda aplicación se realizó a los 25 días, añadiendo 5 g.plantas⁻¹ con una mezcla de 7 kg del fertilizante INDIA (16-16-16) y 6 kg de Yaramila Hydra con formulación (19-4-19) y 4 kg de urea. La tercera aplicación se realizó a los 40 días, con una combinación de urea y nitrato de potasio, con dosis de 5 g. plantas⁻¹.

Las plagas fueron controladas con luger ingrediente activo (Thiamethoxam), las dosis aplicadas fueron 20 g.L⁻¹ a los 20 días. Para combatir la mayor plaga del cultivo de maíz *Spodoptera frugiperda*, se utilizó el insecticida Pyrinex con ingrediente activo Clorpirifos mezclado con arena, el producto se aplicó al iniciar la infestación del gusano cogollero que fue a los días 35 después de la siembra.

La cosecha se realizó 120 días después de la siembra, cuando se alcanzó la madurez fisiológica con un secado óptimo de los granos.

Evaluación de las variables morfofisiológicas y productivas

Para el análisis de estas variables se seleccionaron 9 plantas al azar por réplica para un total de 27 plantas por tratamientos. Las variables medidas fueron: altura de planta, diámetro del tallo, altura de inserción de mazorca. Las productivas fueron: longitud, diámetro y peso total de los granos por mazorcas y el rendimiento final.

Las variables morfofisiológicas fueron medidas a los 60 días después de la siembra. La altura de planta fue medida con un flexómetro en cm. La medición del diámetro del tallo de las plantas se realizó con un calibrador electrónico esta medida se tomó a 5 cm sobre el nivel del suelo.

El rendimiento, fue determinado de acuerdo con los tratamientos evaluados, se cosecharon 9 plantas por réplicas, para un total de 27 por tratamientos. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra. A las mazorcas cosechadas por plantas se le determinó: longitud, diámetro y peso de los granos. El rendimiento en t.ha⁻¹ se obtuvo de la multiplicación del peso promedio de los granos por la densidad de siembra evaluadas.

Se midió el consumo de agua en $L.m^2$ a partir de la suma de todas las láminas brutas parciales de riego aplicadas al cultivo y en correspondencia con cada uno de los porcentajes estudiados. Además, se evaluó el uso eficiente del agua representado en los $kg.m^{-3}$ de maíz producido, por m^3/ha^{-1} aplicado. Los metros cúbicos totales de agua fueron calculados de acuerdo al número de riego efectuado, las láminas brutas y el porcentaje de área humedecida, todos los valores fueron estimados para una ha de cultivo.

Análisis estadístico

Se realizó la evaluación individual y combinada de los factores en estudio. Las variables morfofisiológicas y productivas fueron evaluadas, mediante un análisis de varianza bifactorial con el programa estadístico (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System, aplicando la prueba de Tukey, para la comparación de media, para un nivel de significancia de ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6 se muestra el efecto individual y combinado de los factores en estudio con respecto a las variables morfofisiológicas: altura de planta, diámetro del tallo, altura de inserción de mazorca a los 60 días después de la siembra. Con respecto al efecto individual de los factores. El análisis de varianza expresó diferencia significativa entre las medias de las variables evaluadas, tanto para el porcentaje de las láminas de riego, así como para la densidad de siembra. Las plantas que recibieron el 120% de la lámina bruta alcanzaron una altura media de 243,11 cm, las cuales difieren de las medias del resto de los porcentajes evaluados.

En la variable diámetro del tallo no se presentó diferencia significativa cuando se aplicó 100 y 120% de la lámina bruta, estos porcentajes presentaron diferencias significativas con respecto al 90 y 80% de las láminas requeridas.

Con respecto a la variable altura de inserción de la mazorca, se presentó un comportamiento similar alcanzando la mayor media cuando se aplicó 120 % de la lámina bruta.

Los resultados obtenidos evidencian que cuando se reduce el requerimiento hídrico del cultivo del maíz, determinado a partir de las láminas brutas total y considerado como riego deficitario, se pueden producir afectaciones tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva afectando los parámetros morfofisiológicos como son: la altura, diámetro del tallo e inserción de mazorca Sifuentes et al. (2021), señalan que es importante manejar el riego del cultivo de maíz considerando la fenología y la disponibilidad hídrica.

En relación al factor densidad de siembra se presentó un efecto significativo entre las medias de las densidades evaluadas, la mayor media con 233,75 cm se alcanzó con una densidad de 40 000 plantas ha^{-1} . Comportamientos similares presentaron las variables diámetro del tallo e inserción de la mazorca.

Con respecto a la interacción de los factores en estudio, como se aprecia en el cuadro 6 se presentó diferencia significativa entre las medias de las variables diámetro del tallo y altura de inserción de la mazorca. Con respecto al diámetro promedio de los tallos, los tratamientos T1 y T6, (120 y 100% de la lámina bruta total) y densidad de 40 000 plantas por ha, no mostraron diferencias significativas entre ellos, alcanzando las mayores medias con 32,41 y 31,92 mm respectivamente. Sin embargo, estos tratamientos difieren de los tratamientos T9 y T12 (90 y 80% de la lámina bruta) e igual (densidad de siembra 40 000 plantas. ha^{-1}), lo cual demuestra que, aunque presentan densidades de plantas similares, recibieron el 90 y 80% de la lámina bruta requerida.

CUADRO 6
Variables morfológicas: altura de planta, diámetro del tallo,
altura de inserción de mazorca a los 60 días después de la siembra

Efectos individuales los factores en estudio	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Altura de inserción de mazorca (cm)
Porcentaje de la lámina bruta aplicado			
1 Lbt1: (120 % de la Lbt)	243,114 a	29,929 a	128,062 a
2 Lbt2: (100 % de la Lbt)	230,987 b	29,5773 a	120,73 b
3 Lbt3: (90 % de la Lbt)	218,756 c	28,5319 b	118,304 c
4 Lbt4: (80 % de la Lbt)	217,916 c	28,6677 b	118,304 c
Error estándar	0,96	0,10	0,16
Densidad de siembra			
A 66 666 plantas ha	221,727 c	27,6639 c	118,5 c
B 50 000 plantas ha	227,599 b	28,7529 b	121,473 b
C 40 000 plantas ha	233,754 a	31,1126 a	124,078 a
Error estándar	0,83	0,09	0,13
Interacciones			
	NS	*	*
T1 Lbt1 + A	233,903	28,15 efg	119,43 d
T2 Lbt1 + B	243,725	29,21 cd	129 b
T3 Lbt1 + C	251,714	32,41 a	135,38 a
T4 Lbt2 + A	224,699	27,86 fg	118,5 de
T5 Lbt2 + B	231,281	28,94 de	119,65 d
T6 Lbt2 + C	236,982	31,92 a	124 c
T7 Lbt3 + A	214,819	27,28 g	118 e
T8 Lbt3 + B	217,696	28,42 def	118,43 de
T9 Lbt3 + C	223,753	29,88 bc	118,46 de
T10 Lbt4 + A	213,486	27,35 g	118,01 e
T11 Lbt4 + B	217,696	28,42 def	118,43 de
T12 Lbt4 + C	222,567	30,22 b	118,46 de
Error estándar	1,67	0,19	0,27

Letras diferentes en una misma columna expresan diferencias significativas según Tukey para ($p < 0,05$)

Respecto a la variable altura de la inserción de la mazorca, el tratamiento (T3) (120% de la Lbp y 40 000 plantas.ha⁻¹) presentó diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos evaluados, alcanzando la mayor media con 135 cm

La respuesta en el comportamiento de las variables morfofisiológicas coincide con lo planteado por Bonilla y Singaña, (2019) y Moran et al. (2020) quienes señalan que factores como el requerimiento hídrico y la densidad poblacional definen la respuesta morfológica del maíz. Este resultado se corresponde con lo planteado por Chen et al. (2019), quienes señalan que la demanda hídrica del maíz puede considerarse entre los 500 y 800 mm, donde la escasez de agua puede disminuir su rendimiento. La utilización del riego localizado por goteo ayudó a disminuir el volumen de agua a utilizar para el riego del cultivo del maíz, coincidiendo con lo señalado por Wittling et al. (2019).

Estos resultados inducen a la necesidad de trabajar en función de lo planteado por Mendoza et al. (2016), quienes manifiestan que es importante saber en qué etapas de crecimiento se debe aplicar el riego deficitario para lograr rendimientos óptimos. Los resultados obtenidos coinciden con lo planteado por Guangzhou et al. (2020), quienes expresan que la selección óptima de la población en maíz, permite que intercepte y utilice la radiación solar de manera más eficiente, lo que contribuye a un aumento notable en el potencial de rendimiento de grano. También Cao et al. (2021), señalan que se deben manejar densidades óptimas para lograr un adecuado proceso fotosintético y con ello garantizar un óptimo desarrollo del grano.

Con la aplicación del 120 y 100% de la Lbp, se obtuvieron valores de alturas de plantas similares a lo reportado por Roca (2019), para el híbrido de maíz Pioneer 4039 quien expresa que este híbrido puede alcanzar altura de planta hasta los 2,33 m, con un rendimiento agrícola de 8,06 t.ha⁻¹ de grano seco.

Resultados del comportamiento de las variables productivas

En el cuadro 7 se expone el comportamiento individual de los factores en estudio sobre las variables productivas evaluadas: longitud promedio de las mazorcas en cm (LM), diámetro medio de las mazorcas en cm (DM), número promedio de hileras por mazorcas (NH), peso promedio de los granos por mazorcas en kg (PG) y rendimiento estimado en t.ha⁻¹. El análisis de varianza mostró un efecto significativo de los factores evaluados con respecto a las variables productivas analizadas.

Las variables longitud y diámetro medio de la mazorca, no presentaron diferencias significativas cuando se aplicaron 120 y 100% de la lámina bruta total, alcanzando valores entre los 17,68 y 16,98 cm de longitud y 4,82 y 4,79 cm de diámetro respectivamente. Estos valores difieren significativamente a cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total, donde se alcanzó una longitud media por mazorcas de 14,82 cm y un diámetro medio 3,72 cm.

CUADRO 7
Variables productivas evaluadas

Efectos individuales los factores en estudio	LM (cm)	DM (cm)	NH	PG (kg)	Rendimiento en t.ha ⁻¹
Porcentaje de la lámina bruta aplicado	*	*	*	*	*
1 (120% de la Lbt)	16,987 ab	4,794 a	15 a	0,232 a	10,446 a
2 (100% de la Lbt)	17,685 a	4,821 a	15 a	0,193 b	8,493 b
3 (90% de la Lbt)	16,576 b	3,972 b	14 b	0,180 b	8,018 b
4 (80% de la Lbt)	14,828 c	3,723 c	13 b	0,125 c	5,636 c
Error estándar	2,87	0,47	0,11	0,0036	0,16
Densidad de siembra	NS	NS	*	*	*
A 66 666 plantas/ha	16,5054	4,31901	15 a	0,175 b	10,024 a
B 50 000 plantas/ha	16,6084	4,33821	14 b	0,181 ab	7,816 b
C 40 000 plantas/ha	16,4248	4,32663	14 b	0,192 a	6,604 c
Error estándar	2,48	0,41	0,10	0,0031	0,13

Letras distintas en una misma columna expresan diferencias significativas según Tukey ($p < 0.05$)

Leyenda: Longitud de mazorca en cm (LM), diámetro medio de la mazorca en cm (DM), Número de hileras de granos por mazorcas (NH), peso promedio de los granos por mazorcas en kg (PG) y rendimiento estimado en ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Los resultados evidencian que un déficit en los requerimientos hídricos del cultivo del maíz, tanto en la etapa vegetativa como reproductiva puede conducir a una disminución significativa de las variables productivas como son la longitud de la mazorca, diámetro y número de hileras. Con respecto a la variable peso promedios de los granos, siendo una variable que define el rendimiento final de conjunto con la densidad de siembra, se presentó un efecto significativo cuando se aplicó el 120% de la lámina bruta, con este porcentaje se alcanzó el peso promedio de los granos más altos con $232 \text{ g} \cdot \text{mazorca}^{-1}$, los cuales difieren con el resto de los porcentajes evaluados, y donde se alcanzó una diferencia de $107 \text{ g} \cdot \text{mazorca}^{-1}$ comparados cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total.

Con respecto al rendimiento también se presentó un efecto significativo según los porcentajes de la lámina bruta evaluados, con la aplicación del 120% de la lámina bruta se obtuvo el rendimiento más alto con $10,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ con una diferencia de $4,81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ comparado cuando se aplicó el 80% de la lámina total.

El factor densidad de siembra no presentó diferencia significativa para las variables longitud y diámetro de la mazorca, pero si existió un efecto significativo en las variables productivas: número de hileras (NH), peso promedio de los granos por mazorca (PG) y rendimiento estimado en $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Con respecto al peso promedio de los granos no se presentó diferencia significativa cuando se evaluaron densidades de 40 000 y 50 000 plantas. ha^{-1} . El mayor peso promedio de los granos se obtuvo cuando se utilizó la densidad de siembra de 40 plantas. ha^{-1} con peso promedio de 192 gramos.

En lo referente al rendimiento, la densidad de siembra de 66 666 plantas. ha^{-1} expresó el mayor rendimiento estimado con $10,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentando diferencia significativa con respecto a 50 000 y 40 000 plantas. ha^{-1} . Estos resultados están dados por el factor densidad de plantas ya que con 66 666 plantas. ha^{-1} fue donde se obtuvo el peso promedio de los granos por mazorca más bajo comparado con el resto de las densidades evaluadas.

En el gráfico 1 se expone el resultado de la interacción de los factores en estudio porcentajes de la lámina bruta aplicado y la densidad de plantas sobre la variable del rendimiento estimado en $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ se obtuvo diferencia significativa entre las medias de los tratamientos evaluados, el mayor rendimiento estimado con $13,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, se alcanzó en el tratamiento T1 cuando se aplicó 120% de la lámina bruta total y se evaluó una densidad de siembra de 66 666 plantas por ha, con una diferencia de $9,24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ comparado con el tratamiento T12 donde se aplicó 80% de la lámina bruta total y una densidad de 40 000 plantas ha^{-1} , representando un déficit de agua de un 20% comparado con lámina bruta total aplicada al 100% y de un 40 por ciento comparado cuando se aplicó el 120% de la lámina bruta total.

Estas diferencias muestran que las plantas que fueron manejadas con riego deficitario controlados donde se les aplicó el 80% de la lámina bruta total, recibieron un volumen de agua de $68,4 \text{ L} \cdot \text{m}^2$ menos que las que fueron regadas al 100% de la lámina bruta total y comparadas con las plantas que recibieron el 120% de la lámina bruta total se les aplicó $102,6 \text{ L} \cdot \text{m}^2$ comparadas con las que recibieron el 80% de lámina bruta total. Los resultados obtenidos del rendimiento evidencian que la aplicación del riego deficitario en el híbrido de maíz evaluado puede tener un efecto negativo en el comportamiento productivo del mismo.



GRÁFICO 1

Resultados de la interacción porcentajes de la lámina bruta total aplicado y densidad de plantas por hectárea en la variable rendimiento estimado en t.ha⁻¹

Los resultados obtenidos evidencian que bajo las condiciones en las cuales se realizó la investigación con el 120% de la lámina bruta se aplicó una lámina de agua total de 376,31 mm, resultando inferior a los 500 mm que reportan Chen et al. (2019), como necesidad para el cultivo del maíz. Los resultados difieren de lo reportado por Wittling et al. (2019), quienes señalan que el riego deficitario es una opción que ayuda a minimizar el consumo de agua en el cultivo, al aplicar esta alternativa no resultó una variable positiva debido a la disminución de los rendimientos alcanzados, cuando se aplicó en 90 y el 80% de la lámina bruta total calculada mediante la programación y el uso del software Cropwat.

Los resultados obtenidos también difieren de lo planteado por Mustafa et al. (2017), quienes expresan que el riego deficitario presenta rendimientos de granos similares a los alcanzados con el riego completo.

Con base en los hallazgos de Mendoza et al. (2016) y dado los resultados del presente estudio, para lograr rendimientos óptimos es importante saber en qué etapas de crecimiento se debe utilizar el riego deficitario.

Citando a Quevedo et al. (2015), al evaluar el híbrido impacto, y densidad de 112 500 plantas.ha⁻¹ el rendimiento promedio fue de 11,6 t.ha. Así mismo, echando una mirada a los valores reportados por Martínez et al. (2017), con 75 000 plantas.ha⁻¹, se obtuvo un rendimiento promedio de 9,07 t.ha⁻¹. Sin embargo, los resultados de este estudio evidencian que en el cultivo de maíz, la técnica de riego localizado por goteo infiere en el uso eficiente del agua y se pueden obtener rendimientos superiores a las 13 t.ha⁻¹.

Con la aplicación del 120% de la lámina total 376,31 L.m⁻² equivalente a 376,31 mm se obtuvo un resultado superior a lo alcanzado por Roca (2019), quien reportó rendimiento agrícola del híbrido Py 4039 de 8,06 t.ha⁻¹ de grano seco.

Cao et al. (2021) señalan que es importante tener en cuenta la densidad de siembra, si esta es alta, reduce la transmisión de luz dentro de una población y acelera la senescencia de las hojas, lo cual afecta la fotosíntesis en el cultivo y la distribución de sustancias que limitan el desarrollo del grano.

Los resultados obtenidos evidencian que con una densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹ y la aplicación de 376,31 mm se pueden obtener rendimientos en el híbrido evaluado superior a las 13 t.ha⁻¹

En el cuadro 8 se expresa la eficiencia en el uso del agua, en función de la tecnología de riego utilizada que fue por goteo. Con las mediciones de la franja húmeda se comprobó que solo se humedeció el 40% del área. Para el análisis de la eficiencia del agua las láminas brutas totales fueron expresadas en m³.ha⁻¹, y se hicieron los análisis en función de la hectárea. De acuerdo a los tratamientos evaluados se puede observar un incremento del consumo de agua por hectárea en la medida que se aumentó los porcentajes de las láminas de riego. El mayor volumen aplicado fue 1505,2 m³.ha⁻¹, cuando se evaluó el 120% de la lámina y el menor volumen aplicado correspondió al 80% de la lámina con 1094,7 m³ ha⁻¹. Como se aprecia, tanto el porcentaje

de agua aplicado, como la densidad de siembra tienen incidencia en la eficiencia del uso del agua. Al definir la eficiencia del uso del agua como la relación del rendimiento en t.ha^{-1} con respecto al volumen de agua utilizado en $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ se obtuvo que la mejor eficiencia se presentó con el tratamiento T1, 120% de la lámina bruta total y 66 666 plantas. ha^{-1} al obtenerse una relación de 8,98 kg de maíz por m^3 de agua aplicado.

CUADRO 8
Análisis de la productividad del agua estimado en m³.t de maíz producida

Porcentajes de la lámina bruta total	Rendimiento (kg. ha-1)	Consumo de agua (m3. ha-1)	Eficiencia del uso de agua (kg.m-3)
T1(120% de la lámina bruta total)	13 490	1505,2	8,98
T2 (120% de la lámina bruta total)	10 400	1505,2	6,92
T3 (120% de la lámina bruta total)	7 800	1505,2	5,19
T4 (100% de la lámina bruta total)	9 700	1368,4	7,08
T5(100% de la lámina bruta total)	8 130	1368,4	5,94
T6 (100% de la lámina bruta total)	7 630	1368,4	5,57
T7 (90% de la lámina bruta total)	9 770	1231,5	7,93
T8 (90% de la lámina bruta total)	7 550	1231,5	6,13
T9 (90% de la lámina bruta total)	6 720	1231,5	5,45
T10 (80% de la lámina bruta total)	7 120	1094,7	6,5
T11 (80% de la lámina bruta total)	5 520	1094,7	5,04
T12 (80% de la lámina bruta total)	4 250	1094,7	3,88

La eficiencia en el uso del agua más baja se obtuvo cuando se aplicó la lámina del 80% de la lámina total con un volumen de agua aplicado de 1094,7 m³.ha⁻¹, y densidad de 40 000 plantas.ha⁻¹ donde se obtuvo el rendimiento más bajo con 4 250 kg.ha⁻¹ y una eficiencia en el uso del agua de 3,88 kg.m³ de agua aplicado con una diferencia de 5.1 kg de maíz producido por m³ e agua aplicado comparado con el tratamiento del 120% de la lámina y 66 666 plantas.ha.

CONCLUSIONES

Con la aplicación del 120% de la lámina de riego bruta total calculada, equivalente a 376,31 mm y densidad de 66 666 plantas.ha, se alcanzó el rendimiento más alto con 13,49 t.ha⁻¹, con una eficiencia en el uso del agua de 8,98 kg de maíz seco duro por m³ de agua aplicado. Cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total con densidad de siembra de 40 000 plantas.ha⁻¹ el rendimiento descendió de forma significativa alcanzando 4,25 t.ha⁻¹ y una eficiencia en el uso del agua de 3,88 kg.m⁻³ aplicado, evidenciándose que una reducción en requerimiento hídrico del híbrido de maíz PIONEER 4039 y de la densidad de siembra pueden disminuir de forma significativa el rendimiento del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Bonilla A. y Singaña, A. 2019. La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador la granja: Revista de Ciencias de la Vida 29(1):70-83.
- Cao Yu-jun, W. Li-chan, G Wan-rong, W Yong-jun , Z. Jun-hua1 2021 Increasing photosynthetic performance and post-silking N uptake by moderate decreasing leaf source of maize under high planting densityJournal of Integrative Agriculture 2021, 20(2): 494–510
- Carvajal F. y Cepeda, G. 2019. Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo: ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, Vol. 11 Núm. 1: Número especial de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz
- Coral J., Andrade, H., Pumisacho, M., Caicedo J. y Salazar, D. 2019. Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la Parroquia Malchinguí: Avances en Ciencias e Ingeniería (ACI): 11(1):40-49.
- Chen, Y., Marek, G., Marek, Gowda, P., Xue, Q., Moorhead, J., & Heflin, K. 2019. Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation scheduling algorithm for corn (*Zea mays* L.) production in the US Southern Great Plains. Environmental modelling & software, 118: 23-34.
- ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua). 2020. Tercer Censo Agropecuario por muestreo. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo: Serie Riego 56 Roma ISBN 92-5-304219-2
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). 2016. Ahorrar para crecer en la práctica maíz, arroz y trigo Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Guía para la Producción Sostenible de Cereales ISBN 978-92-5-308519-4
- Grande T. y Orozco, B. 2013. Producción y procesamiento del maíz en Colombia: Revista Científica Guillermo de Ockham, 11(1):97-110
- Guangzhou, G., Liu, W., Yang, Y., Guo, X., Zhang, G., Li, J., Xie, R., M, Bo, M., Keru, W., Peng, H. y Li, S. 2020. Marginal superiority of maize: an indicator for density tolerance under high plant density. Scientific reports, 10(1):1-6
- Martínez R., Tiago, O. y De Castro G. 2017. Evaluación de la densidad de plantas, componentes fenológicos de producción y rendimiento de granos en diferentes materiales genéticos de maíz: Idesia (Arica), 35(3):23-30.

- Mendoza C., Sifuentes, E., Ojeda, W. y Macías, J. 2016. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation: Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 8(1)
- Moran E., Cobos, F., Mora E., Lombeida, R. y Medina L. 2020. Sustentabilidad del sistema de producción de maíz en la localidad de Ventanas, Ecuador: JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH Vol. 5, Núm. CININGEC E-ISSN:2528-8083
- Mustafa, S., Vanuytrecb, E., & Huysmans, M. 2017. Combined deficit irrigation and soil fertility management on different soil textures to improve wheat yield in drought-prone Bangladesh. Agricultural Water Management. 191:124-137.
- Quevedo, Y., Barragán, E., y Beltrán J. 2015 Efecto de altas densidades de siembra sobre el híbrido de maíz (*Zea mays* L.) impacto: Scientia Agroalimentaria: 2:18-24.
- Rivera R., Moreira, J., Moreira, Moreira, C. y Cevallos, J. 2020. Respuesta del cultivo de *Capsicum annuum* L. Alriego deficitario etapa inicial y de desarrollo: ESPAMCIENCIA, 11(2):88-94.
- Roca, C. 2019. Respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias en la parroquia La Esperanza del cantón Quevedo. Quevedo-UTEQ, 88 p.
- Sifuentes E., Ojeda, W., Macías, J., Mendoza, C. y, Preciado P. 2021. Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua: Agrociencia, 55(3):1
- Wittling C., Molle, B. y Cheviron B. 2019 Wittling C., Molle, B. y Cheviron B. Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context. Agricultural Water Management, Elsevier Masson, 223
- Wu, Y., Du, T., Yuan, Y., & Shukla, M. K. 2018. Stable isotope measurements show increases in corn water use efficiency under deficit irrigation. Scientific reports, 8(1):14113