

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL MAIZ HÍBRIDO AGRI-104 EN DIFERENTES SISTEMAS, DENSIDADES DE SIEMBRA Y RIEGO LOCALIZADO

YIELD BEHAVIOR OF HYBRID MAIZE AGRI-104 ON DIFFERENT SOWING SYSTEMS, DENSITIES AND LOCALIZED IRRIGATION

Rolando León Aguilar, Antonio Torres García, Eduardo Héctor Ardisana, Osvaldo Fosado Téllez, Fernando Véliz Mantuano, Williams Pin Quimis

Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Email: rolandoleon1959@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
21/09/2018

Aceptado:
21/12/2018

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
10(1):124-130

Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento productivo del maíz (*Zea mays* L.) híbrido AGRI 104 con diferentes densidades y sistema de siembra bajo condiciones de riego localizado. La investigación se realizó en el campus experimental La Teodomira de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, entre los meses de julio y diciembre del 2016. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones en un arreglo bifactorial. Los factores estudiados fueron el sistema de siembra (superficial y con surcado) y la densidad de siembra, (0,40; 0,70 y 0,90 m entre hileras). Las variables evaluadas fueron: longitud y profundidad del bulbo húmedo, desarrollo del sistema radical, así como un conjunto de variables morfofisiológicas y de producción. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico StatGraphics Centurión XV. II v16.1.18 y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El bulbo húmedo alcanzado con el sistema de riego localizado garantizó una zona adecuada para el desarrollo del sistema radicular de las plantas sembradas con y sin surcado. La densidad de siembra tuvo un efecto significativo en la altura de las plantas. El sistema y la densidad de siembra influyeron significativamente sobre el rendimiento del híbrido de maíz AGRI 104.

Palabras clave: Riego localizado, rendimiento, surcado, bulbo húmedo, marco de siembra

Abstract

This research aimed to evaluate the yield behavior of mayze (*Zea mays* L.) hybrid AGRI-104 at different densities and sowing systems under localized irrigation. The research was carried out on the experimental campus "La Teodomira" of the faculty of Agronomic Engineering of the Technical University of Manabí, Ecuador, between July and December of 2016. A randomized complete block design with six treatments and three replicates was applied in a factorial arrangement. The factors subject of study were sowing systems (hand and ploughed), sowing density (0,40; 0,70 y 0,90 m between rows). The assessed variables were: length and depth of the wet bulb, root system development, as well as a set of morpho-physiological and yield variables. An analysis of variance (ANOVA) was carried out through the statistical package StatGraphics Centurion XV.II v16.1.18 and means were compared with Tukey ($p < 0,05$). Wet bulb reached with localized irrigation ensured appropriate conditions for the development of the root system of the plants sown both ploughed and without ploughed. Sowing density has a significant effect on plants length. Sowing systems and densities had a significant influence on the yield of hybrid mayze AGRI 104.

Keywords: Localized irrigation, yield, furrow, wet bulb, sowing frame

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se ha visto beneficiado debido a las características geográficas, climáticas y de suelo, lo cual es aprovechado por muchos productores. Las zonas donde se asientan las mayores producciones son la Costa y parte de la Sierra, y las provincias con mayor producción son: Guayas, Bolívar, El Oro, Manabí y Los Ríos.

Entre las variedades más representativas se encuentra el maíz amarillo duro (tipo cristalino) que sirve para la elaboración de alimentos balanceados para los animales y para el consumo humano, debido a su elevado contenido de fibra, carbohidratos, caroteno y su alto rendimiento (Monteros, 2016).

Según Castro (2017) el rendimiento nacional del cultivo de maíz duro seco (13% de humedad y 1% de impureza) en la época lluviosa del año 2017 fue de 5,51 t.ha⁻¹, con un peso promedio de los granos por mazorca de 132 gramos. La provincia de El Oro fue la de mayor productividad con 7,63 t.ha⁻¹ y la de menor rendimiento por unidad de superficie fue la del Guayas con 4,50 t.ha⁻¹. En la siembra se utilizaron varios híbridos, entre ellos sobresale Dekalb 7088 con el 17% de la superficie nacional; la densidad de siembra media fue 48 918 plantas por hectárea. En la provincia de Manabí se explotó una densidad media de 47 823 plantas.ha⁻¹, con un peso promedio de los granos por mazorca de 152 g y un rendimiento medio de 6,47 t.ha⁻¹, superando la media nacional.

La búsqueda de altos rendimientos es de vital importancia para el logro de la rentabilidad de este cultivo. En un ensayo realizado por Vallone *et al.* (2010), en el que estudiaron densidades de siembra de 50 000, 65 000, 80 000, 95 000 y 110 000 plantas.ha⁻¹, se alcanzó el máximo rendimiento con densidades de 65 000 y 80 000 plantas.ha⁻¹, observándose que en las densidades mayores decaía el rendimiento por abortos de granos y aumento de individuos estériles, y en las densidades bajas debido a la escasa capacidad de compensación tanto vegetativa como reproductiva.

El INIAP (2013) informa que en las zonas maiceras de Guayas y Los Ríos, la distancia de siembra más utilizada para los híbridos de maíz es de 0,80 m entre surcos y 0,20 metros entre plantas, depositando una semilla por sitio, con lo que se obtiene una población de 62 500 plantas.ha⁻¹; además señala que existen híbridos de maíz que soportan mayor densidad de población en comparación con las variedades.

Uno de los híbridos que se cultiva en el Ecuador es el AGRI 104, por su alto rendimiento. Este híbrido fue creado por la casa comercial boliviana Agricomseeds,

para climas cálidos y medianamente cálidos. Tiene una altura media de 2,10 m; el grano es anaranjado, duro y semidentado; tiene un alto potencial de rendimiento con un peso promedio de 400,2 g por cada 1000 semillas; presenta resistencia al volcamiento y es tolerante a enfermedades. Velásquez y Vincés (2011), plantean que el híbrido AGRI 104 presenta buen comportamiento agronómico y su rendimiento supera las 5 t.ha⁻¹, en siembra superficial sin surcos y con un distanciamiento de 0,80 m entre hileras por 0,30 m entre plantas, para una densidad poblacional de 41 625 plantas.ha⁻¹.

Además del material y de la densidad de siembra, existen otros problemas para los pequeños y medianos productores en cuanto al rendimiento del cultivo del maíz, entre los que se encuentran el manejo agronómico y la afectación por plagas. En el manejo agronómico, el riego y el empleo de las densidades de siembra óptimas en función de las potencialidades de las semillas que se usan se convierten en premisas insoslayables para incrementar el rendimiento del cultivo (Peñañiel, 2015).

En el informe agroproductivo del INEC (2018) se señala que en el Ecuador el riego por aspersión y localizado se han desarrollado especialmente en la Costa para cultivos de exportación como el banano, las flores, las hortalizas y los frutales y que la alta rentabilidad de estos cultivos ha inducido a los agricultores a realizar inversiones en las instalaciones de riego; en cambio, en el año 2017 existían 35 532 ha de maíz con riego, cifra que solo representa el 10 % de la superficie total sembrada.

El rasgo distintivo del riego por goteo es que provee a la planta la cantidad exacta de agua que necesita; además ofrece otros beneficios, entre ellos la reducción del consumo de agua y de mano de obra, un mejor manejo de la fertilización y del control de plagas y enfermedades; sin embargo, una de las principales limitantes del riego localizado está relacionada con su alto costo de inversión y manejo del sistema (Peñañiel, 2015).

En cuanto a las necesidades hídricas, Caveró (2012) plantea que la cantidad y la frecuencia de riego varían con el tipo de suelo y las condiciones climáticas; en ausencia de lluvias es necesario dar de 14 a 18 riegos durante el ciclo.

El riego localizado presenta un conjunto de ventajas en comparación con el riego por surcos y por aspersión de cubrimiento total (García y Briones, 2015) que lo convierten en una tecnología viable para el desarrollo del cultivo del maíz. Ante esta problemática se evidencia la necesidad de investigar el comportamiento productivo del maíz híbrido AGRI 104 con diferentes densidades y sistema de siembra y tecnología de riego localizado, lo cual constituye el objetivo de la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó de julio a diciembre del 2016 en el campus experimental La Teodomira, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana, del cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador. Sus coordenadas geográficas son 01° 09' 51" S y 80° 23' 24" W, y su altitud 60 msnm.

Se evaluó el comportamiento productivo del maíz híbrido AGRI 104 bajo diferentes sistemas y densidades de siembra con tecnología de riego localizado. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en un arreglo bifactorial 2x3, para un total de 6 tratamientos. Los factores en estudio fueron:

Factor 1 (Sistema de siembra): A) siembra en superficie con espedado tradicional; B) siembra con surcado a 20 cm de profundidad, colocando la semilla en el fondo del surco, usando el esqueque similar a la siembra en superficie.

Factor 2 (Distancia entre hileras): 1) 0,40 m; 2) 0,70 m; 3) 0,90 m. En todos los casos se colocó una cinta de riego en cada hilera de plantas y la distancia entre plantas fue de 0,30 m en todos los tratamientos. Con estos marcos de siembra, las densidades de plantación respectivas fueron: 1) 83 250, 2) 47 619 y 3) 36 963 plantas.ha⁻¹.

Los tratamientos en estudio se codificaron -según las combinaciones de ambos factores- de la siguiente manera: T1 (A-1); T2 (A-2); T3 (A-3); T4 (B-1); T5 (B-2) y T6 (B-3). Para el manejo del riego se tuvieron en cuenta los factores del cultivo, el suelo y los datos climáticos, los que se obtuvieron de la información de la estación meteorológica La Teodomira a partir de una serie de 12 años, comprendida entre 2005 y 2016. Se determinaron las propiedades hidrofísicas del suelo (Cuadro 1). La programación del riego se realizó con el software CROPWAT v. 8.0 para Windows.

Se utilizó un sistema de riego presurizado con tecnología de riego por goteo. Los goteros se encontraban distanciados a 0,15 m. Con la programación del riego se determinaron los valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia por etapas y promedios con 4,54 mm.d⁻¹, obteniendo que los requerimientos hídricos totales del cultivo ascendieron a 367,8 mm.

Se calcularon las dosis netas, las dosis brutas medias, los intervalos, la cantidad de riegos y el tiempo para cumplir con la dosis de riego en cada una de las etapas de desarrollo del cultivo. Las dosis brutas por etapas (para cada uno de los marcos de siembra) fueron de 14, 22 y 22 L.m⁻², con intervalos de 3, 4 y 5 días, y la cantidad de

riegos 6, 10 y 4 para un total de 20 riegos en toda la etapa de desarrollo del cultivo.

Cuadro 1. Propiedades hidrofísicas del suelo

Parámetros	Valores
Tipo de suelo	Franco arcilloso
Capacidad de campo (% del peso del suelo seco)	35
Punto de marchitez (% del peso del suelo seco)	17
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	1,25
Factor de agotamiento (f)	0,25
Etapas de desarrollo del cultivo en días	20 - 30 y 20 días respectivamente
Profundidad radical efectiva por etapas H (m)	0,15 - 0,25 - 0,35
Coefficientes de cultivos por etapas Kc	0,8 - 1,15 - 0,90

Para el cálculo del tiempo de riego se realizó la evaluación del sistema con el objetivo de conocer el caudal de entrega de los emisores; se seleccionaron 16 emisores en el área del experimento, con lo que se obtuvo una media de 1,55 L.h⁻¹, con un coeficiente de uniformidad del 92%. El tiempo de riego se determinó a partir de la relación entre el volumen de agua que necesita y recibe el surco. El volumen que necesita el surco se obtuvo de multiplicar el área longitudinal humedecida por la línea de goteros por las dosis brutas en L.m⁻² en cada una de las etapas de desarrollo del cultivo; el volumen de agua que recibe el surco se obtuvo de multiplicar el caudal medio de los goteros (obtenido mediante la evaluación del sistema) por el número de goteros en el lateral. Con estos resultados los tiempos de riego por etapas fueron de 38, 52 y 60 minutos respectivamente.

Se realizó la caracterización química del suelo en que se desarrolló el experimento en el laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad (AGROCALIDAD), encontrándose valores bajos de nitrógeno y materia orgánica; altos de fósforo, potasio y calcio; y niveles medios de hierro, manganeso y zinc (cuadro 2).

La fertilización se realizó por vía edáfica y foliar (3 aplicaciones en el ciclo de vida del cultivo): a los 10 días después de la siembra, momento en que se aplicaron 5 g por planta del fertilizante Yaramila Complex con la fórmula 12-11-18, a los 25 días después de la emergencia (Cytokín y urea), y a los 35 días después de la emergencia 40 mL de Evergreen + 2,3 kg de urea + ¼ de Yaramila complex en 20 L de agua).

Para el control del cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) se realizó una aplicación líquida dirigida al cogollo de la planta, empleando Solaris (Spinetoram) a los 15 días (20 mL en 20 L de agua) y

otra a los 36 días, depositando un cebo en el cogollo de la planta (2 kg de arena + 20 mL de Solaris).

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo

Parámetro	Unidad	Resultados	Valoración
pH		6,79	Prácticamente Neutro
Materia orgánica	%	2,01	Bajo
Nitrógeno	%	0,10	Bajo
Fósforo	ppm	24,4	Alto
Potasio	cmol.kg ⁻¹	1,40	Alto
Calcio	cmol.kg ⁻¹	15,10	Alto
Magnesio	cmol.kg ⁻¹	5,55	Alto
Hierro	ppm	23,3	Medio
Manganeso	ppm	3,34	Bajo
Cobre	ppm	3,24	Medio
Zinc	ppm	-1,60	Bajo

Variables evaluadas

Bulbo húmedo: Se realizaron calicatas al azar (una por tratamiento). Con un flexómetro se midió el cono de humedecimiento alcanzado en los ejes del área influenciada por el gotero (horizontal y vertical) 24 horas después del riego.

Desarrollo del sistema radical: Se realizaron calicatas al azar (una por tratamiento) alrededor de las plantas hasta la profundidad que alcanzaron las raíces. Con un flexómetro se midió la longitud de las raíces tanto en el eje vertical como horizontal, así como la determinación de la zona en la que se concentraba el mayor porcentaje de raíces.

Variables morfofisiológicas: Se evaluaron 60 días después de la germinación, en 10 plantas seleccionadas aleatoriamente en cada réplica, para un total de 30 por tratamiento. Se determinó la altura de planta (AP), el diámetro del tallo (DT), el número de hojas (NH), la altura de la inserción de la flor femenina (AFF) y de la masculina (AFM) en cada planta.

Variables de producción: Se evaluaron cuando la mazorca alcanzó la madurez comercial con un porcentaje de humedad entre el 12 y el 14%, en 10 plantas seleccionadas aleatoriamente en cada réplica (30 por tratamiento). Se determinó el peso de la mazorca sin hojas (PMSH), la longitud (LM) y el diámetro de la mazorca (DM), el número de hileras (NH), el número de granos (NG) y el peso de los granos (PG) por mazorca. Con los valores de los pesos promedios de los granos y la densidad poblacional por tratamiento se estimó el rendimiento en t.ha⁻¹.

El análisis de varianza (ANOVA) se hizo con el paquete estadístico StatGraphics Centurión XV. II v16.1.18 y para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bulbo húmedo

Los resultados para esta variable se presentan en el cuadro 3. Para los sistemas de siembra no se encontraron diferencias significativas entre las medias de las longitudes del bulbo húmedo alcanzadas en el eje horizontal en el lado izquierdo del gotero, pero sí se observaron en la longitud del bulbo en el eje horizontal del lado derecho y en su profundidad. En ambos casos la siembra en superficie con espeado tradicional produjo los valores significativamente mayores.

Las tres distancias entre hileras provocaron diferencias en las longitudes en ambos lados del bulbo húmedo (con valores significativamente mayores para la distancia de 0,70 m) y en la profundidad, en la que el valor estadísticamente superior se alcanzó a los 0,90 m.

Los tratamientos con distancia entre hileras de 0,70 m, sembrados tanto en superficie como con surcado (T2 y T5), no mostraron diferencias significativas entre ellos y alcanzaron las mayores longitudes del eje humedecido en el sentido horizontal del lado derecho. Los tratamientos con distancia de 0,90 m entre hileras, sembrados por cualquiera de los dos sistemas (T3 y T6), no presentaron diferencias significativas entre ellos y mostraron los menores valores. En el eje vertical, el tratamiento que mostró el valor más alto fue el de 0,90 m entre hileras sembrado en superficie (T3).

Las diferencias significativas obtenidas entre los tratamientos estudiados pueden deberse a varias razones. Cadena (2014) plantea que la forma y el tamaño del bulbo están determinados por 4 factores: el tipo de suelo, el caudal del gotero, la duración y la frecuencia del riego.

Moreno y Villafañe (2009), señalan que la variabilidad espacial del suelo puede afectar la distribución en el perfil del agua aplicada mediante un sistema de goteo; Génova *et al.* (2013) obtuvieron diferencias significativas en el cono de humedecimiento al comparar la respuesta productiva del tomate con riego por goteo superficial y subterráneo. Por su parte Méndez *et al.* (2016) al evaluar el cono de humedecimiento en suelos ferralíticos rojos y francos utilizando sistemas de riego por goteo subsuperficial en la caña de azúcar, concluyeron que el nivel de traslape que ocurre en el riego por goteo depende de la textura del suelo y de la descarga de los emisores.

Los resultados obtenidos evidencian que los dos elementos que parecen tener la mayor incidencia en el comportamiento del bulbo húmedo son las características del suelo y el caudal del gotero, por cuanto el tiempo y la frecuencia de riego fueron similares para todos los tratamientos. Aunque de la evaluación del sistema de riego se obtuvo un caudal medio de 1,54 L.h⁻¹ y un coeficiente de uniformidad de 92%, las variaciones en los caudales de los goteros y el tipo de suelo pueden generar

diferencias en el área del bulbo húmedo. Apaza y López (2016) señalan que el riego tecnificado por goteo es de interés debido a su alta eficiencia de aplicación del agua, requerida por cualquier sistema para que se garantice el retorno de la inversión.

Cuadro 3. Longitud y profundidad del bulbo húmedo

Efectos individuales e interacción	Longitud del bulbo húmedo lado izquierdo (m)	Profundidad del bulbo húmedo (m)	Longitud del bulbo húmedo lado derecho (m)
Sistema de siembra			
A	0,24	0,29 a	0,25 a
B	0,25	0,25 b	0,24 b
Error estándar	0,006	0,005	0,005
Distancia entre hileras			
1	0,24 b	0,25 b	0,25 b
2	0,28 a	0,24 b	0,28 a
3	0,22 b	0,33 a	0,21 c
Error estándar	0,007	0,007	0,007
Interacción			
T1 (A-1)	0,24	0,25 bc	0,25 b
T2 (A-2)	0,28	0,25 bc	0,30 a
T3 (A-3)	0,21	0,38 a	0,21 c
T4 (B-1)	0,25	0,26 b	0,25 b
T5 (B-2)	0,28	0,23 c	0,27 ab
T6 (B-3)	0,23	0,28 b	0,21 c
Error estándar	0,10	0,01	0,002

Letras diferentes en una misma columna expresan diferencias significativas para la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Desarrollo del sistema radical

El comportamiento del sistema radical se muestra en el cuadro 4, observándose diferencias significativas para todos los tratamientos, tanto en el eje horizontal como en el vertical. En el análisis de las interacciones, la mayor profundidad de las raíces se alcanzó en el tratamiento con sistema de siembra con surcado y 0,90 m entre hileras (T6), que fue diferente al T3 (igual distancia entre hileras, pero sembrado superficialmente). Esto indica que el sistema de siembra con surcado puede estimular la emisión de raíces más que la densidad poblacional.

Cuadro 4. Longitud y profundidad del sistema radical

Efectos individuales e interacción	Longitud de las raíces lado izquierdo (m)	Profundidad de las raíces (m)	Longitud de las raíces lado derecho (m)
Sistema de siembra			
A	0,24 b	0,14 b	0,21 a
B	0,33 a	0,15 a	0,19 b
Error estándar	0,006	0,04	0,009
Distancia entre hileras			
1	0,22 b	0,13 b	0,19 c
2	0,33 a	0,14 b	0,23 a
3	0,31 a	0,16 a	0,18 b
Error estándar	0,008	0,005	0,001
Interacción			
T1 (A-1)	0,22 c	0,13 c	0,22 ab
T2 (A-2)	0,26 b	0,14 bc	0,26 a
T3 (A-3)	0,25 bc	0,15 b	0,15 c
T4 (B-1)	0,23 c	0,13 c	0,17 bc
T5 (B-2)	0,40 a	0,15 b	0,20 b
T6 (B-3)	0,38 a	0,18 a	0,22 ab
Error estándar	0,001	0,007	0,01

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

Varios elementos pueden influir sobre este comportamiento, entre ellos el bulbo húmedo, las características del suelo, la densidad y el sistema de siembra. Según los resultados del bulbo húmedo y el desarrollo radical alcanzado en todos los tratamientos estudiados, las raíces se desarrollaron dentro de la zona humedecida por los emisores de riego, lo que indica que las plantas contaron con el requerimiento hídrico adecuado para su desarrollo, corroborando que la programación y las dosis de riego aplicadas, así como los tiempos de riego y los intervalos establecidos, proporcionaron una zona humedecida óptima para el desarrollo de las plantas.

En los dos ejes, el sistema radicular fue inferior a los valores que se obtuvieron para el bulbo húmedo en todos los tratamientos estudiados, lo que evidencia que con el riego localizado se garantiza una superficie humedecida óptima para el desarrollo del cultivo del maíz.

Variables morfofisiológicas:

En el cuadro 5 se expone el comportamiento de las variables evaluadas. El análisis de varianza de las interacciones mostró diferencias significativas únicamente entre los tratamientos para la variable altura de las plantas.

Cuadro 5. Variables morfofisiológicas a los 60 días de la siembra

Efectos individuales/interacción	AP (cm)	DT (cm)	NH	AFM (cm)	AFF (cm)
Sistema de siembra					
A	209,44 b	2,33	15	44,73 b	28,38 a
B	217,70 a	2,36	15	48,30 a	27,40 b
Error estándar	2,26	0,26	0,09	0,69	0,34
Distancia entre hileras					
1	203,00 b	2,08 b	14 b	45,61	25,55 b
2	217,46 a	2,43 a	15 a	46,65	28,60 a
3	219,51 a	2,52 a	15 a	47,28	29,53 a
Error estándar	2,77	0,32	0,11	0,84	0,42
Interacción					
T1 (A-1)	196,00 c	2,01	14	43,06	26,50
T2 (A-2)	214,10 b	2,46	14	45,73	28,50
T3 (A-3)	218,30 ab	2,51	15	45,04	30,16
T4 (B-1)	211,53 b	2,15	14	48,16	24,60
T5 (B-2)	220,83 a	2,39	15	47,56	28,70
T6 (B-3)	220,73 a	2,54	15	45,16	28,90
Error estándar	3,93	0,46	0,16	1,19	0,59

Letras diferentes en una misma columna expresan diferencias significativas para la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los valores mayores se alcanzaron en los tratamientos T6 (surgado con 0,90 m entre hileras), T5 (surgado con 0,70 m entre hileras) y T3 (sembrado en superficie con 0,90 m entre hileras).

Este último a su vez fue estadísticamente semejante a T2 (sembrado en superficie con 0,70 m entre hileras) y T4 (surcado con 0,40 m entre hileras). El tratamiento T1, que combinaba la siembra superficial con la menor distancia entre hileras (0,40 m) fue significativamente inferior a todos.

Estos resultados evidencian que tanto el sistema de siembra como la densidad poblacional, tienen efecto significativo en el crecimiento longitudinal de las plantas. Es interesante que los menores valores para esta variable se alcanzaron en los tratamientos con mayor densidad de siembra (83 mil plantas.ha⁻¹), lo que puede estar dado por la competencia por los nutrientes, el agua y la luz, entre otros factores. Guevara *et al.* (2015) plantean que en densidades de siembra altas se puede producir competencia tanto en la hilera como entre hileras de siembra.

Variables de producción:

Los resultados de los valores de estas variables se presentan en el cuadro 6. Para esta variable, conjuntamente con el tratamiento T3 (siembra superficial y densidad de 36 963 plantas.ha⁻¹). Estos mismos tratamientos se habían comportado de forma similar para la variable altura de las plantas; a la vez, estuvieron en los rangos más altos en todas las restantes variables de producción.

El rendimiento se estimó a partir de la densidad de siembra y el peso promedio de los granos por mazorca (Gráfico1). El mayor rendimiento estimado correspondió al tratamiento sembrado superficialmente y con una densidad de 83 250 plantas.ha⁻¹ (T1), con 10,46 t.ha⁻¹ seguido del tratamiento sembrado con surcado y con la misma densidad de siembra (T4). Considerando que en estos tratamientos se obtuvieron los pesos de granos por mazorca más bajos, los resultados están dados por la densidad de siembra; ello demuestra que un aumento en la densidad puede generar un mayor rendimiento asociado al número de plantas por unidad de área. El tratamiento T5 (sistema de siembra con surcado y densidad de 47 619 plantas.ha⁻¹), que ocupó el tercer lugar estadísticamente, mostró altos valores de número de granos, peso de los granos y peso de las mazorcas; en este, con una diferencia de 34 964 plantas.ha⁻¹ con respecto al tratamiento T1, la diferencia en producción es de 0,87 toneladas. En cambio, entre el tratamiento T5 y el T4, con una diferencia de 35 631 plantas.ha⁻¹, la diferencia en el rendimiento es de 0,25 toneladas. Es decir, la densidad de siembra es un factor determinante en el rendimiento, pero su relación con este no es directamente proporcional. Además, los costos del sistema se incrementan con el aumento de la densidad, por la mayor cantidad de semillas, el volumen de fertilizantes y plaguicidas requeridos, lo que genera la

necesidad de estudiar los efectos económicos al variar las densidades de siembra.

Cuadro 6. Valores de las variables de producción

FV	PMSH	LM (cm)	DM (cm)	PG (g)	NH	NG
Sistema de siembra						
A	192,0b	16,7	15,4	156,7	14	444,3
B	204,3a	17,0	15,3	163,1	14	448,2
EE	6,33	0,25	0,14	5,12	0,14	10,3
Marco de siembra						
1	150,2b	14,7 b	14,5 b	120,4b	14	390,4b
2	214,7a	17,8 a	15,5 a	174,2a	14	475,9a
3	229,4a	18,0 a	16,0 a	185,0a	14	472,5a
EE	7,76	0,32	0,17	6,27	0,17	12,6
Interacción						
T1 A-1	153,3b	14,5b	14,8cd	125,7c	14	406,3b
T2 A-2	188,0ab	17,3a	15,2bc	152,2b	14	462,8a
T3 A-3	234,6a	18,3a	16,2 a	192,3a	14	463,9a
T4 B-1	147,1b	15,0b	14,3d	115,2c	14	374,5b
T5 B-2	241,5a	18,2a	15,8ab	196,3a	14	489,0a
T6 B-3	224,2a	17,8a	15,8ab	177,8a	14	481,0a
EE	10,97	0,45	0,25	8,87	0,24	17,76

Letras diferentes en una misma columna expresan diferencias significativas para la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los resultados alcanzados superan a los valores reportados por Castro (2017) para la provincia de Manabí, donde la media alcanzada en el peso por mazorca fue de 152 g y el rendimiento de 6,47 t.ha⁻¹ para el periodo de época seca. También se coincide con Vallone *et al.* (2010), que obtuvieron los mayores rendimientos en el cultivo del maíz seco duro con densidades entre las 65 000 y 80 000 plantas.ha⁻¹, planteando que a densidades mayores decae el rendimiento por abortos de granos y aumento de individuos estériles, y en densidades bajas por la escasa capacidad de compensación tanto vegetativa como reproductiva.

El rendimiento obtenido se corresponde con lo planteado por Velásquez y Vences (2011), quienes señalan que el híbrido AGRI 104 presenta un buen comportamiento agronómico y rendimiento, y que supera las 5 t.ha⁻¹ cuando se siembra en superficie con un distanciamiento de siembra de 0,80 m entre surcos por 0,30 m entre plantas. Finalmente, los rendimientos superan también los alcanzados por Virgen *et al.* (2014) y Medina *et al.* (2018).

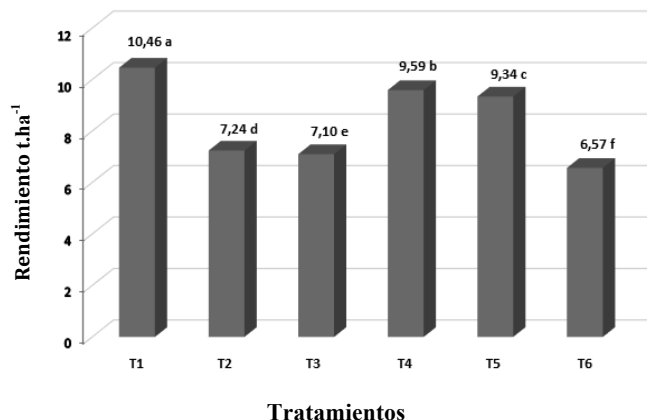


Gráfico 1. Rendimientos estimados (t.ha⁻¹) del híbrido AGRI 104 en las combinaciones de sistemas y densidades de siembra

CONCLUSIONES

El bulbo húmedo alcanzado con el sistema de riego localizado garantizó una zona de humedad adecuada para el desarrollo del sistema radical de las plantas sembradas con y sin surcado.

La densidad de siembra tuvo un efecto significativo en la altura de las plantas; los tratamientos de mayor densidad produjeron plantas con menores alturas en ambos sistemas de siembra con y sin surcado.

El sistema y la densidad de siembra influyen significativamente sobre el rendimiento del híbrido de maíz AGRI 104.

LITERATURA CITADA

Apaza, G. y López, C. 2016. Evaluación de la uniformidad de un sistema presurizado de riego por goteo para cultivos de zonas alto-andinas de Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, La Paz, 3(3): 7-17.

Cadena, V. 2014. Hablemos de riego CONGOPE ISBN: 978-9942-11-054-Primera Edición-2014. Quito, Ecuador.

Castro, M. 2017. Rendimiento del maíz duro seco en invierno 2017. Dirección de análisis y procesamiento de la información. Coordinación general del sistema de información nacional. Ministerio de la Agricultura y Ganadería. Quito Ecuador.

Cavero, J. 2012. Fertirrigación en maíz: boletín de Fertirriego. Csic-Aula Dei. Tierras De Castilla y León: Agricultura 190: 48-52.

García, I y Briones, G. 2015. Sistema de riego por aspersión y por goteo. 3ra Edición. México. Editorial Trillas, UAAAM

Génova, L., Andreau, R., Etchevers, P., Zabala, M., Chale, W., Etcheverry, M., Romy, C. y Salgado H. 2013. Respuesta productiva del tomate (*Solanum*

lycopersicum L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata 112(1): 18-26.

Guevara, A., Barcenas, G., Salazar, F. R., González, E. y Suzán, H. 2015. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39(4): 431-439

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) 2013. Información proporcionada por el Programa de Mejoramiento de Maíz de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo-Ecuador.

INEC, (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censo). 2018. Unidad De Estadísticas Agropecuarias.

Medina, A. J., Santiago, G. A., Soto, J. M. y Hernández, M. 2018. Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 21: 4306-4316.

Méndez, N., Mujica, A. y Mundiel, D. 2016. Evaluación direccional del cono de humedecimiento en suelos ferralíticos rojos y francos utilizando sistemas de riego subsuperficial en la caña de azúcar. *Revista Universidad y Ciencia*, UNAN-Managua 9(15): 32-43.

Monteros, A. 2016. Rendimientos de maíz duro seco verano. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura Y Pesca Quito, Ecuador. p 14.

Moreno, M. y Villafañe, R. 2009. Distribución espacial de la humedad en tres perfiles de un suelo regado por goteo. *Bioagro* 21(3): 227-231.

Peñañel, 2015. Evaluación de la Lámina de Riego Superficial Sobre el rendimiento de cuatro híbridos en el cultivo de Maíz, (*Zea Mays* L.)". Tesis de grado previa a la obtención del Título de: Ingeniero Agrónomo Universidad Agraria de Guayaquil.

Velásquez, J. y Vines, E. 2011. Comportamiento agronómico de 15 híbridos de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en el valle del río Portoviejo. Universidad Técnica de Manabí. Tesis de grado. p 60.

Vallone, P., Guadelj, V., Galarza, C., Masiero, B., Vranicich, C. y Nebrada, J. 2010. Ensayo de densidad y distancias de siembra en maíz. INTA. Estación Experimental Marcos Juárez. Argentina. pp. 11-15. Disponible en: agrolluvia.com/wp-content/uploads/2016/12/ensayo-de-densidad-y-distancia-de-siembra-de-maiz.pdf. (Revisado en diciembre 05 del 2016).

Virgen, J., Zepeda, R., Avila M. A., Espinosa, A., Arellano, J. L. y Gámez, A. J. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana* 25(2): 323-335.