



Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano

Effect of planting density and complementary irrigation on the morpho-phenology, yield, profitability, and efficiency of banana fertilization

Galo Cedeño García^{1,*} ; Ángel Guzmán Cedeño^{1,2} ; Héctor Zambrano Lucero¹ ; Leonardo Vera Macías¹ ; Cristian Valdivieso López¹ ; Geoconda López Álava¹ 

¹ Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2 ½ vía Calceta-El Gramal, Calceta, Manabí, Ecuador.

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ciudadela universitaria vía San Mateo, Manta, Manabí, Ecuador.

Received April 29, 2020. Accepted September 30, 2020.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano en el valle del río Carrizal, Ecuador. Los tratamientos consistieron en dos sistemas de producción (riego y secano) y cuatro densidades de siembra (1500, 2000, 2500 y 3000 plantas ha⁻¹). Las variables registradas fueron peso de racimo (kg), rendimiento de fruta (cajas ha⁻¹), beneficio económico neto (USD ha⁻¹) y eficiencia agronómica de NPK. El riego complementario incrementó la producción en 30%, en comparación al sistema de secano. El peso de racimo fue inversamente proporcional a las densidades de siembra, mientras que el rendimiento de fruta fue proporcional a las densidades. El modelo de regresión lineal mostró un incremento de 6,50 kg de fruta planta⁻¹ con riego complementario, mientras que en secano fue de 4,99 kg de fruta planta⁻¹, lo cual indicó una pérdida de 1,51 kg de fruta planta⁻¹ por falta de riego complementario. El mayor rendimiento comercial y beneficio económico neto fue 1398 cajas de fruta y 3665 USD ha⁻¹, respectivamente, con 3000 plantas ha⁻¹ bajo riego complementario.

Palabras clave: Musa AAB; densidad de plantas; producción; beneficio económico; eficiencia NPK.

Abstract

This research aimed to evaluate the effect of planting density and complementary irrigation on the morpho-phenology, yield, profitability, and efficiency of banana fertilization in the Carrizal River Valley, Ecuador. The treatments consisted of two production systems (irrigation and rainfed) and four planting densities (1500, 2000, 2500 and 3000 plants ha⁻¹). The variables recorded were bunch weight (kg), fruit yield (boxes ha⁻¹), net economic benefit (USD ha⁻¹) and NPK agronomic efficiency. Supplementary irrigation increased production by 30%, compared to the rainfed system. The bunch weight was inversely proportional to the crop densities, while the fruit yield was proportional to the densities. The linear regression model showed an increase of 6.50 kg of fruit plant⁻¹ with supplementary irrigation, while in rainfed the production was 4.99 kg of fruit plant⁻¹, signaling a loss of 1.51 kg of fruit plant⁻¹ due to lack of supplementary irrigation. The highest commercial yield and net economic benefit was 1398 boxes of fruit and 3665 USD ha⁻¹, respectively, with 3000 plants ha⁻¹ under supplementary irrigation.

Keywords: Musa AAB; plant density; production; economic benefit; NPK efficiency.

1. Introducción

El plátano producido en Ecuador tiene importancia en términos alimentario, social y económico, dado que el 79% de la producción se destina al consumo interno y

el 21% a exportación, lo cual genera seguridad alimentaria, empleo para 118.587 personas, y divisas para el país (Paz y Pesantes, 2013; MAG, 2017). En el mercado interno la comercialización se desarrolla

Cite this article:

Cedeño, G.; Guzmán, Á.; Zambrano, H.; Vera, L.; Valdivieso, C.; López, G. 2020. Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria* 11(4): 483-492.

* Corresponding author
E-mail: gcedeno@espm.edu.ec (G. Cedeño).

preferentemente por racimos, donde el tamaño es imprescindible para definir precios; sin embargo, con fines de exportación y mercados especializados la comercialización se realiza en cajas, donde el tamaño y calidad de la fruta es importante y debe cumplir los parámetros establecidos para dichos destinos (Beltrón *et al.*, 2018; Ponce *et al.*, 2018). La mayor superficie del cultivo de plátano se encuentra establecido bajo condiciones de secano, dado que según cifras oficiales solo el 32% de los cultivos permanentes cuenta con sistemas de irrigación, con el agravante de que gran parte de la superficie son plantaciones en avanzada edad y baja densidad de plantas (MAG, 2017; INEC, 2017). Este hecho denota una de las principales problemáticas causantes del bajo rendimiento del cultivo que en promedio es de 7,68 Mg ha⁻¹ año⁻¹, en relación con otros países productores de la región latinoamericana como El Salvador, Martinica, Republica Dominicana, Guatemala, Puerto Rico y Surinam que superan las 20 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (MAG, 2017; FAO, 2018). En este punto surgieron las preguntas de cuánto se puede incrementar el rendimiento del cultivo con el uso de altas densidades de siembra bajo sistemas de secano y riego complementario. Además, de cómo varía la eficiencia agronómica de la fertilización NPK con las densidades de siembra en los sistemas de secano y riego complementario.

En este sentido, se ha identificado al estrés hídrico como el factor abiótico más limitante en la producción de musáceas debido a la creciente variabilidad de las precipitaciones y la competencia por los recursos hídricos, que están surgiendo como importantes limitaciones tanto para la producción comercial como para la de subsistencia. Se han reportado pérdidas de rendimiento inducidas por estrés hídrico de hasta 65% debido a la pérdida de peso del racimo incluso en áreas de lluvia moderada a baja (Kissel *et al.*, 2015; Panigrahi *et al.*, 2020). Estudios realizados en Urabá-Colombia determinaron que cuando el banano se cultiva sin riego complementario, el rendimiento puede llegar a reducirse entre 25 – 30%, por lo que el riego suplementario es importante para evitar tales pérdidas (Toro *et al.*, 2016). En trabajos realizados por Camili *et al.* (2015) en Mato Grosso-Brasil, concluyeron que con riego complementario los racimos de banano alcanzaron pesos promedio de 14,73 kg en relación con los 8,06 kg obtenidos sin el uso de riego. En cuanto al uso de densidades de siembra, varios estudios han confirmado que a mayor densidad de plantas se incrementa significativamente el

rendimiento de fruta, lo cual es más notorio cuando las densidades interactúan favorablemente con el riego y la fertilización (Athani *et al.*, 2009; Hanuman *et al.*, 2016; Ulloa *et al.*, 2017; Patel *et al.*, 2018). Por su parte, investigaciones realizadas en la zona semiárida del estado de Bahía-Brasil, evidenciaron que es posible obtener mayores rendimientos y eficiencia en el uso del agua utilizando mayor densidad de siembra y niveles de irrigación por debajo del 100% de la evapotranspiración del cultivo (Dos Santos *et al.*, 2019). En cuanto al uso eficiente de nutrientes, investigaciones realizadas en banano por Ndabamenye *et al.* (2013a) y Mahmoud y Ali (2014), determinaron que a mayores densidades de siembra mejora significativamente la absorción y recuperación de nutrientes aplicados con la fertilización. Estudios recientes de simulación con modelos de respuestas del maíz y maní al agua para diferentes fechas y densidades de siembra bajo riego y secano conducidos Nebraska, EE.UU y las llanuras del norte de China, respectivamente, determinaron que el uso de estos modelos en diferentes situaciones del manejo de los cultivos pueden optimizar el rendimiento de los cultivos y productividad del agua bajo limitaciones hídricas, sin embargo, hacen falta mejoras para que los modelos puedan convertirse en una herramienta confiable para estudiar la respuesta de una amplia gama de cultivos al agua bajo diversas prácticas de manejo (Sandhu y Irmak, 2019; Zhao *et al.*, 2019). En otras investigaciones realizadas en trigo, cebada y maíz, revelaron que sistemas de siembra con surcos de cresta con riego deficitario, acolchado y densidades de siembras adecuadas, mejoran el rendimiento de grano y productividad del agua en secano, debido a un mejor crecimiento y distribución radical y acumulación de agua en el suelo (Ahmadi *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2020; Zheng *et al.*, 2020).

Bajo este contexto surge la necesidad de establecer las densidades de siembra adecuadas bajo condiciones de riego complementario y secano en el valle del río Carrizal, el mismo que se ubica en el trópico seco de la provincia de Manabí, donde teóricamente las precipitaciones no abastecen las necesidades hídricas del cultivo de plátano, debido a que el periodo de lluvias se concentra en pocos meses. Por lo antes expuesto, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano en el valle del río Carrizal, Ecuador.

2. Materiales y métodos

Localización y descripción de la zona de estudio

La investigación se desarrolló de noviembre de 2017 a diciembre del 2018, en campus politécnico de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), ubicada en la parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí. El experimento se localizó geográficamente en las coordenadas 0°49'10" de latitud sur y 80°10'40" de longitud oeste, a una altitud de 21 msnm, con temperatura media anual de 25,7 °C, precipitaciones anuales promedio de 839 mm y heliofanía de 1045 h anuales. Los suelos de esta zona fueron clasificados como Fluventic Haplustepts (Espinosa et al., 2018). De acuerdo con el sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental, el experimento se ubicó dentro del ecosistema bosque siempreverde estacional piemontano de cordillera costera del pacífico ecuatorial (MAE, 2013). En la Figura 1 se muestra el diagrama ombrotérmico de la zona de estudio, se aprecia que hasta mayo se registran precipitaciones notables, mientras que de junio a noviembre se acentúa la temporada seca con escasas lluvias. La temperatura por su parte se mantiene constante durante el año con pequeñas variaciones.

Material vegetal

Por la importancia comercial exportable se utilizó el cultivar de plátano Barraganete (Musa AAB Simmonds), también conocido como Hartón tipo falso cuerno en la región Latinoamericana y del Caribe.

Diseño del experimento, variables y análisis de datos

El experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de parcelas divididas, las parcelas grandes fueron dos sistemas de producción (riego y secano) y, las pequeñas, cuatro densidades de siembra (1500, 2000, 2500 y 3000 plantas ha⁻¹) con 8 tratamientos, 3 réplicas (Tabla 1). Las unidades experimentales fueron parcelas de 120 m².

Las variables fenológicas registradas fueron días a floración y cosecha, las cuales fueron anotadas cuando el 50% de plantas dentro de la unidad experimental presentaron racimo floral y cuando el racimo alcanzó las 10 semanas de edad. La altura de planta y perímetro del tallo se registraron al momento de la floración, donde la altura fue tomada desde el nivel de suelo hasta la V formada por la última hoja y pedúnculo del racimo, mientras que el perímetro del tallo se registró a 50 cm del nivel del suelo con ayuda de una cinta métrica. Se registraron además los principales componentes que definen el rendimiento en plátano según Barrera et al. (2011), como número de frutos racimo⁻¹, peso de frutos (g) y peso neto de racimo (kg) que se anotaron al momento de la cosecha. También fue registrado el rendimiento comercial en cajas ha⁻¹, que se anotó al momento de la cosecha. Para determinar el peso neto del racimo se pesaron aquellos frutos que cumplieron con los estándares internacionales de exportación, donde el mínimo y el máximo de grosor esta entre 50 y 62 mm, mientras que la longitud mínima del fruto es de 11" (Flores, 2013). Para estimar el rendimiento de cajas ha⁻¹, se multiplicó el peso neto promedio de los racimos por la densidad de siembra correspondiente, y ese valor fue dividido para el peso de una caja comercial que es de 23 kg. Con el interés de cuantificar la eficiencia agronómica de la fertilización NPK en las densidades de siembra evaluadas, se establecieron parcelas adicionales con omisión de NPK de la densidad de 1500 plantas ha⁻¹ para ambos sistemas de cultivo (secano y riego). Las eficiencias agronómicas (EA) de NPK fueron estimadas con las ecuaciones [1, 2, 3] indicadas por el Nyombi et al. (2010) e IPNI (2012).

$$EA_N = \frac{\text{Rendimiento de fruta con N} - \text{Rendimiento de fruta sin N}}{\text{Dosis de N aplicado (300 kg ha}^{-1}\text{)}} \quad [1]$$

$$EA_P = \frac{\text{Rendimiento de fruta con P} - \text{Rendimiento de fruta sin P}}{\text{Dosis de P aplicado (70 kg ha}^{-1}\text{)}} \quad [2]$$

$$EA_K = \frac{\text{Rendimiento de fruta con K} - \text{Rendimiento de fruta sin K}}{\text{Dosis de K aplicado (350 kg ha}^{-1}\text{)}} \quad [3]$$

Tabla 1

Esquema de las densidades, sistemas de cultivo, arreglos de siembra y plantas utilizadas por unidad experimental

| Tratamiento | Densidad (plantas ha ⁻¹) | Sistema de cultivo | Distancia y arreglo de siembra ^{1/} | Sistema de siembra | Plantas por unidad experimental | Plantas útiles por unidad experimental |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------------------|--|
| T ₁ | 1500 | Riego | 2 + 3 x 2,66 | Doble hilera | 30 | 12 |
| T ₂ | 1500 | Secano | 2 + 3 x 2,00 | Doble hilera | 36 | 16 |
| T ₃ | 2000 | Riego | 2 + 3 x 1,60 | Doble hilera | 42 | 20 |
| T ₄ | 2000 | Secano | 2 + 3 x 1,33 | Doble hilera | 54 | 28 |
| T ₅ | 2500 | Riego | | | | |
| T ₆ | 2500 | Secano | | | | |
| T ₇ | 3000 | Riego | | | | |
| T ₈ | 3000 | Secano | | | | |

^{1/} 2 m entre hilera gemela, 3 m de calle amplia y 2,66, 2,00, 1,60 y 1,33 m entre plantas para las densidades de 1500, 2000, 2500 y 3000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

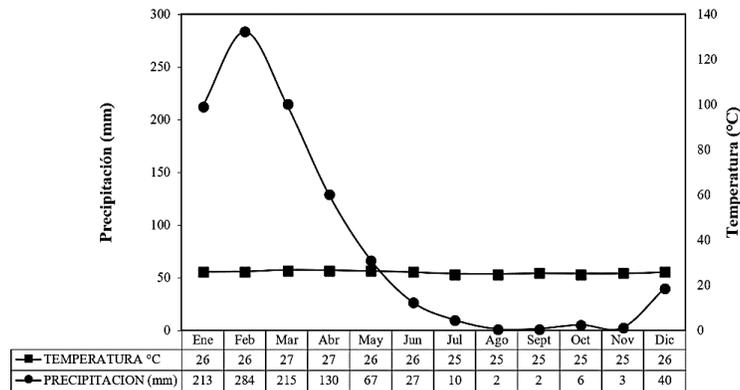


Figura 1. Diagrama ombrotérmico del valle del río Carrizal, Calceta, Ecuador. Los datos de precipitación y temperatura son el promedio histórico de los años 2011-2018.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias con el test de Tukey al 5% de probabilidades de error. Se realizaron además análisis de regresión con el interés de establecer la tendencia de respuesta de las densidades de siembra en los sistemas de secano y riego complementario.

Análisis de beneficio económico neto

El análisis económico se realizó por la metodología descrita por Duicela y Ponce (2015), que empezó por la estimación de los costos que varían por tratamiento (CqV), los que estuvieron en función de la densidad de siembra (plantas ha⁻¹) y el sistema de producción (secano y riego complementario). En el tratamiento utilizado como control (1500 plantas ha⁻¹ en secano), el costo que varía es cero (CqV = 0). Con los datos de rendimiento (cajas ha⁻¹) y precio unitario de la caja de plátano (USD caja⁻¹) se calcularon los ingresos brutos. Con base en la diferencia entre los rendimientos de cada tratamiento y el testigo se estimó el efecto de las densidades de siembra y los sistemas de producción. Con los incrementos de costos e ingresos se calcularon los beneficios netos.

Manejo específico del experimento

El cultivo se estableció con plántulas homogéneas de 10 semanas de edad obtenidas vía macro-propagación masiva en cámara térmica, según técnicas establecidas por Álvarez et al. (2013) y Ntamwira et al. (2017). La fertilización se la realizó con base al análisis químico de suelo y a los requerimientos del cultivo, por lo que se estableció la dosis de 300, 70 y 350 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

La fertilización nitrogenada y potásica fue distribuida en cinco fracciones, cada 30 días (enero-mayo) y la fosfatada fue aplicada totalmente en enero cuando iniciaron las lluvias de la temporada 2018. Como fuentes de N, P₂O₅ y K₂O se utilizó

Urea (46% N), MicroEssentials SZ (12%N-40% P₂O₅-10% S-1% Zn) y Korn Kali (40% K₂O-6% MgO-5% S-0.25% B). El riego complementario fue efectuado con frecuencia semanal mediante sistema de riego presurizado de aspersión, donde se aplicaron 150 mm mensuales de lámina de riego, de acuerdo a la necesidad promedio requerida por el cultivo según Cayón (2004). El control de arvenses fue realizado mecánicamente con desbrozadora motorizada. El manejo de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet.) fue efectuado mensualmente mediante remoción de hojas o fragmentos de hojas necrosados por el patógeno. El picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar.) y cochinillas (*Pseudococcus elisae* Borchsenius., y *Dysmicoccus texensis* Tinsley.) fueron manejados a través de deshijes, desvainas y aplicaciones de clorpirifos dirigidas a la base del cormo, programados cada dos meses.

3. Resultados y discusión

Variables morfo-fenológicas

La altura de planta y el perímetro de tallo fueron influenciados significativamente ($p < 0,05$) por el sistema de cultivo y las densidades de siembra evaluadas (Tabla 2), donde el riego complementario incrementó estas variables en 5 y 14%, respectivamente. Lo anterior pudo deberse al mayor contenido de humedad en el suelo propiciado por el riego, lo cual potenció un mayor crecimiento radical y absorción de nutrientes, que a la vez indujo mayor desarrollo aéreo de las plantas, con relación a las que no recibieron riego complementario. Este efecto ha sido documentado en investigaciones desarrolladas por Ndabamenye et al. (2013b) y Pramanik y Kumar (2016) donde mayores niveles de humedad mejoraron la nutrición y crecimiento del cultivo, dado que los nutrientes necesitan agua para ser movilizables.

Tabla 2

Efecto de densidades de siembra sobre variables morfo-fenológicas del plátano barraganete bajo sistemas de secano y riego complementario

| Tratamientos | Altura de planta (m) | Perímetro de tallo (m) | Días a floración | Días a cosecha |
|--|----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Efecto del sistema de cultivo (riego y secano) | | | | |
| Riego | 3,42 ^{a1/} | 0,63 ^a | 250,50 ^a | 320,50 ^a |
| Secano | 3,26 ^b | 0,54 ^b | 286,58 ^b | 356,58 ^b |
| Efecto de la densidad de siembra (plantas ha ⁻¹) | | | | |
| 1500 | 3,16 ^a | 0,62 ^a | 255,33 ^a | 325,33 ^a |
| 2000 | 3,32 ^b | 0,59 ^b | 264,67 ^a | 334,67 ^a |
| 2500 | 3,41 ^b | 0,58 ^b | 267,33 ^a | 337,63 ^a |
| 3000 | 3,58 ^c | 0,57 ^{bc} | 286,83 ^b | 356,83 ^b |
| Efecto de interacción sistema de cultivo x densidad de siembra | | | | |
| Riego | 1500 | 3,18 | 0,62 | 238,67 ^a |
| | 2000 | 3,40 | 0,62 | 244,67 ^{ab} |
| | 2500 | 3,50 | 0,64 | 257,33 ^{ab} |
| | 3000 | 3,60 | 0,50 | 261,33 ^{abc} |
| Secano | 1500 | 3,14 | 0,59 | 266,00 ^{abc} |
| | 2000 | 3,31 | 0,54 | 277,33 ^{bc} |
| | 2500 | 3,42 | 0,53 | 290,67 ^{cd} |
| | 3000 | 3,56 | 0,63 | 312,33 ^d |
| C.V. % | 11,92 | 15,16 | 14,26 | 14,38 |
| <i>p</i> -valor ANOVA | | | | |
| Sistema de cultivo | 0,0280 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Densidad de siembra | 0,0001 | 0,0373 | 0,0024 | 0,0024 |
| Interacción S x D | 0,8498 | 0,0610 | 0,0398 | 0,0398 |

^{1/} Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente (Tukey al 5% de probabilidades de error).

Independientemente del sistema de cultivo, la altura de planta se incrementó con la densidad de siembra, mientras que lo contrario sucedió con el perímetro de tallo (Tabla 2). Este efecto ha sido ampliamente documentado en varias investigaciones, lo cual se debe a la etiolación del tallo provocado por la competencia lumínica del dosel foliar, donde posiblemente se promueve la dominancia apical que ejercen las hormonas auxinas (Sarrwy et al., 2012; Debnath et al., 2015; Kebrom, 2017).

Los días a floración y cosecha fueron afectados significativamente ($p < 0,05$) por el sistema de cultivo, las densidades de siembra y la interacción entre ambos factores (Tabla 2). Con riego complementario, tanto los días a floración y cosecha mostraron mayor precocidad, con una diferencia de 36 días con respecto al sistema de secano. El tiempo de floración y cosecha se prolongó proporcionalmente con las densidades de siembra, independientemente del sistema de cultivo (Tabla 2). El menor tiempo a floración y cosecha fue alcanzado por la densidad de 1500 plantas ha⁻¹ con riego complementario, mientras que el efecto contrario se obtuvo con 3000 plantas ha⁻¹ en secano, donde fueron necesarios 382 días para la cosecha (Tabla 2). Los resultados sugieren que desde el punto de vista de planificación anual de siembra-cosecha, para hacer coincidir la producción con temporadas de altos precios en el mercado ecuatoriano que van desde septiembre a diciembre, la densidad de 3000 plantas ha⁻¹ en secano no sería una buena opción económica, dado que a partir de enero los precios de la fruta caen notablemente; o al menos que se tenga un

mercado específico que garantice buenos precios fueran de las temporadas de mayor demanda.

Resultados similares fueron hallados en la zona central del litoral ecuatoriano por Ulloa et al. (2017), quienes reportaron periodos de cosecha de 57 y 59 semanas con 2222 y 3333 plantas ha⁻¹ en secano. Por su parte, Dos Santos et al. (2019) donde el tiempo a cosecha se prolongó hasta 455 días con 3333 plantas ha⁻¹ en el banano BRS Platina en la zona de Bahía, Brasil. Tendencia similar fue registrada por Siqueira et al. (2020), que reportaron tiempos a cosecha de hasta 507 días con densidades mayores a 3000 plantas ha⁻¹ en el cultivar de banano Prata Anã Gorutuba en Minas Gerais, Brasil. El hecho de con densidades similares se alcanzaron tiempos de cosecha más cortos bajo las condiciones de Ecuador, con relación a los estados brasileños de Bahía y Minas Gerais, puede deberse a condiciones climáticas más frías del sureste brasileño.

Desde el punto de vista fisiológico, la prolongación del ciclo de cultivo con el aumento de la población de plantas podría relacionarse con la competencia por luz, agua y nutrientes, dada la mayor demanda de estos insumos por las raíces y hojas para síntesis de fotoasimilados. Lo anterior indica que para cada densidad de siembra se deben establecer prácticas agronómicas, planes de riego y fertilización específicos. En este sentido, estudios previos han confirmado que a medida que se incrementa la población disminuye la radiación solar que reciben las plantas individualmente, lo cual provoca retardo en el crecimiento y prolongación del ciclo del cultivo, que es más acentuado con

limitación de agua y nutrientes en el suelo (Cayón, 2004; Turner et al., 2010; Barrera et al., 2011; Galán y Robinson, 2013).

VARIABLES DEL COMPONENTE RENDIMIENTO Y RENDIMIENTO COMERCIAL

El peso de fruto, peso de racimo y cajas comerciales ha⁻¹ fueron significativamente influenciados ($p < 0,05$) por el sistema de cultivo, las densidades de siembra y la respectiva interacción, mientras que el número de frutos racimo⁻¹ solo fue influenciado estadísticamente ($p < 0,05$) por las densidades de siembra (Tabla 3). El riego complementario incrementó en 28, 30 y 30% el peso de fruto, peso de racimo y cajas ha⁻¹, respectivamente, con relación al sistema de secano, lo cual indica la importancia del agua para el metabolismo y producción del cultivo, dado que se ha determinado que la planta presenta altas tasas de transpiración y demanda hídrica como consecuencia directa del intercambio de gases y fotosíntesis (Kissel et al., 2015; Arantes et al., 2018). Los resultados alcanzados son cercanos a los obtenidos en Urabá-Colombia, que determinaron una reducción de rendimiento de hasta el 30%, cuando el banano se cultiva sin riego complementario (Toro et al., 2016). Por su parte, Camili et al. (2015) reportaron en Mato Grosso-Brasil, que el peso del racimo en banano se redujo en promedio a 8,06 kg sin uso de riego, en contraste a los 14,73 kg alcanzados con riego. Por otra parte, estudios realizados en las tierras altas del este de África, revelaron que tempo-

radas con precipitaciones ≤ 905 mm disminuyeron el peso del racimo hasta un 28%, con relación a temporadas con lluvias entre ≤ 905 mm ≤ 1365 mm; así mismo, se señala que por cada 100 mm en disminución de lluvias el peso del racimo se reduce entre un 8-10% (Van Asten et al., 2011). Trabajos realizados en el suroeste de África, demostraron que áreas con precipitaciones menores a 1367 mm, el riego complementario incrementó significativamente el peso del racimo, mientras que con precipitaciones de 1500 mm el peso del racimo no se vio influenciado por el riego (Oluwafemi et al., 2012).

Independientemente del riego, el peso de frutos y racimos y el número de frutos racimo⁻¹ disminuyeron con el aumento de las densidades, mientras que lo contrario ocurrió con el rendimiento de cajas comerciales (Tabla 3), donde la densidad de 1500 plantas ha⁻¹ logró mayor peso de frutos y racimos, y la densidad de 3000 plantas ha⁻¹ la mayor producción de cajas comerciales. En este contexto, la Figura 2 muestra que tanto con riego y secano, el rendimiento de fruta se ajusta a un modelo de regresión lineal positiva, con el incremento de las densidades de siembra, donde para el caso del sistema con riego complementario, se produce un incremento de 6,50 kg de fruta planta⁻¹ a partir de la densidad menor, mientras que bajo situación de secano se produce un incremento de 4,99 kg de fruta planta⁻¹, lo cual indica que sin riego complementario se pierde 1,51 kg de fruta planta⁻¹.

Tabla 3

Efecto de densidades de siembra sobre componentes de rendimiento y rendimiento comercial del plátano barraganete bajo sistemas de secano y riego complementario

| Tratamientos | Número de frutos | Peso de fruto (g) | Peso neto de racimo (kg) | Rendimiento comercial Cajas ha ⁻¹ |
|--|---------------------|-----------------------|--------------------------|--|
| Efecto del sistema de cultivo (riego y secano) | | | | |
| Riego | 31,17 | 392,15 ^{a1/} | 12,19 ^a | 1160 ^a |
| Secano | 30,46 | 280,58 ^b | 8,55 ^b | 814 ^b |
| Efecto de la densidad de siembra (plantas ha ⁻¹) | | | | |
| 1500 | 33,32 ^a | 358,16 ^a | 11,97 ^a | 781 ^a |
| 2000 | 31,38 ^{ab} | 343,62 ^{ab} | 10,8 ^b | 939 ^b |
| 2500 | 29,75 ^b | 329,46 ^{ab} | 9,73 ^c | 1058 ^c |
| 3000 | 28,79 ^b | 314,22 ^b | 8,98 ^d | 1172 ^d |
| Efecto de interacción sistema de cultivo x densidad de siembra | | | | |
| Riego | 1500 | 34,33 | 414,05 ^a | 14,20 ^a |
| | 2000 | 32,00 | 394,95 ^{ab} | 12,58 ^b |
| | 2500 | 29,67 | 383,21 ^{ab} | 11,25 ^c |
| | 3000 | 28,67 | 376,36 ^b | 10,72 ^c |
| Secano | 1500 | 32,31 | 302,27 ^c | 9,74 ^d |
| | 2000 | 30,77 | 292,28 ^c | 9,01 ^{de} |
| | 2500 | 29,84 | 275,70 ^{cd} | 8,21 ^e |
| | 3000 | 28,92 | 252,08 ^d | 7,25 ^f |
| C.V. % | 5,49 | 15,12 | 12,94 | 12,45 |
| p-valor ANOVA | | | | |
| Sistema de cultivo | 0,3223 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Densidad de siembra | 0,0021 | 0,0202 | 0,0001 | 0,0001 |
| Interacción S x D | 0,5977 | 0,0434 | 0,0096 | 0,0002 |

^{1/} Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente (Tukey al 5% de probabilidades de error).

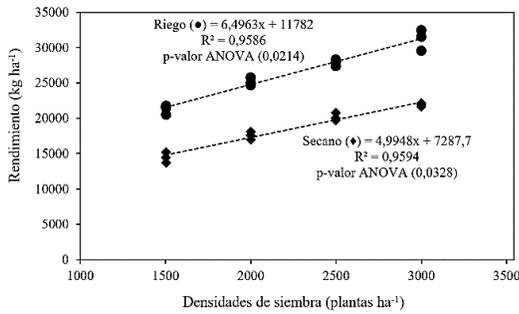


Figura 2. Rendimiento de fruta en función de densidades de siembra en plátano bajo condiciones de riego complementario y seco.

Los resultados alcanzados en el peso de racimo y rendimiento de fruta se asemejan a los hallados por Hernández *et al.* (2008) en Maracaibo, Venezuela, donde se logró un peso de racimo de 13,79 kg con la densidad 1497 plantas ha⁻¹ y 9,05 kg con la densidad de 4491 plantas ha⁻¹, mientras que el rendimiento de fruta fue de 14,26 y 23,98 t ha⁻¹ con las respectivas densidades. De forma similar, Ulloa *et al.* (2017) en Los Ríos, Ecuador reportaron peso de racimos de 14,4 kg en densidades de 833 plantas ha⁻¹ y 12,1 kg con densidades de 3333 plantas ha⁻¹, mientras que la producción de fruta fue de 10,1 y 19 t ha⁻¹, para las densidades bajas y altas respectivas. Por su parte, dos Santos *et al.* (2019) en Bahía, Brasil, reportaron una disminución del peso de racimo con el incremento de las densidades desde 1600 a 3333 plantas ha⁻¹, pero con un incremento de producción de 15,5 a 25,8 t ha⁻¹ en las mismas densidades, respectivamente. Similar tendencia fue reportada por Siqueira *et al.* (2020) en Minas Gerais, Brasil, quienes alcanzaron pesos de racimos de hasta 11,93 kg con 1680 plantas ha⁻¹ y 9,09 con 3360 plantas ha⁻¹, mientras que con esas mismas densidades la producción de fruta se incre-

mentó de 12,63 a 36,18 t ha⁻¹. Estos resultados indican que, de acuerdo con el incremento de las densidades de siembra, el comportamiento del plátano en términos de producción muestra un comportamiento similar, independientemente de la zona ecológica.

La competencia generada por el espacio en altas densidades afecta de forma significativa el vigor de las plantas y por ende su producción individual, pero como conjunto de plantas el rendimiento de fruta aumenta debido posiblemente a una mayor captación de la radiación fotosintéticamente activa debida al incremento del área foliar y el contenido clorofílico, tal como lo han demostrado varios estudios (Turner *et al.*, 2010; Barrera *et al.*, 2011; Galán y Robinson, 2013; Debnatha *et al.*, 2015; Arantes *et al.*, 2018; Rodrigues *et al.*, 2020). Considerando lo anterior, la producción de plátano en el valle del río Carrizal, Ecuador, podría potenciarse con el uso de altas densidades debido a la alta luminosidad que presenta esta zona, con relación a otras zonas productoras de plátano del país con mayor nubosidad.

Eficiencias agrónomicas de la fertilización NPK

Las eficiencias agrónomicas de N (EAN), P (EAP) y K (EAK) fueron influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por el sistema de cultivo, las densidades de siembra y la respectiva interacción. En la Figura 3 se muestra que independientemente del sistema de riego, las eficiencias agrónomicas de N, P y K se incrementan con las densidades de siembra. Así mismo, se evidencia que independientemente de las densidades de siembra, las eficiencias agrónomicas de N, P y K aumentan con el riego complementario (Figura 3A, B, C).

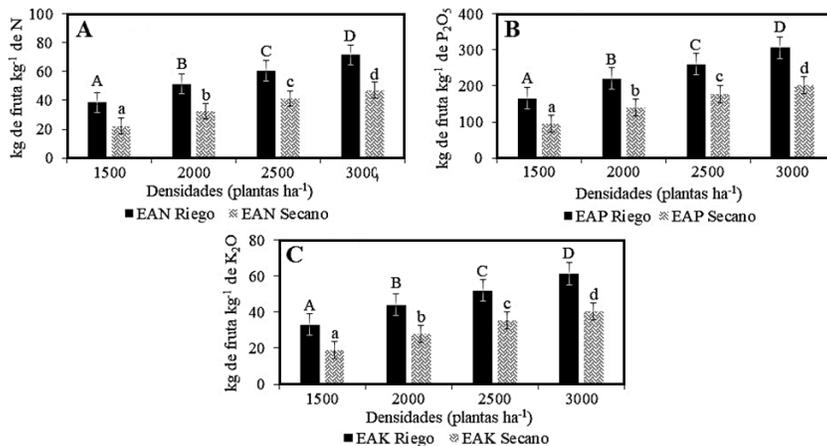


Figura 3. Eficiencia agrónomica de N (A), P (B) y K (C) en función de densidades de siembra del plátano bajo sistemas de riego complementario y seco. Barras con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error. Las eficiencias fueron cuantificadas en base a los rendimientos de las parcelas con omisión de NPK establecidas a 1500 plantas ha⁻¹, para riego complementario y seco.

Tabla 4Beneficio económico bruto y neto del plátano (USD ha⁻¹) en función de densidades de siembra y sistemas de riego

| SP | DS | CT | CqnV | CqV | ICqV | Rent | IRent | Pc | ling | ITotales | BEB | BEN |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|----------|------|------|
| Riego | 3000 | 4775 | 950 | 3825 | 1905 | 1398 | 763 | 7,30 | 5570 | 10205 | 5430 | 3665 |
| Riego | 2500 | 4175 | 950 | 3225 | 1305 | 1223 | 588 | 7,30 | 4292 | 8928 | 4753 | 2987 |
| Riego | 2000 | 3705 | 950 | 2755 | 835 | 1094 | 459 | 7,30 | 3351 | 7986 | 4281 | 2516 |
| Riego | 1500 | 3215 | 950 | 2265 | 345 | 926 | 291 | 7,30 | 2124 | 6760 | 3545 | 1779 |
| Secano | 3000 | 4430 | 950 | 3480 | 1560 | 945 | 310 | 7,30 | 2263 | 6899 | 2469 | 703 |
| Secano | 2500 | 3830 | 950 | 2280 | 360 | 892 | 257 | 7,30 | 1876 | 6512 | 2682 | 1516 |
| Secano | 2000 | 3360 | 950 | 2410 | 490 | 783 | 148 | 7,30 | 1080 | 5716 | 2356 | 590 |
| Secano ^{1/} | 1500 | 2870 | 950 | 1920 | ---- | 635 | ---- | 7,30 | ---- | 4636 | 1766 | ---- |

^{1/} Este tratamiento fue considerado como control o testigo para la estimación de los beneficios económicos netos.

SP: Sistema de producción; DS: Densidades de Siembra (plantas ha⁻¹); CT: Costos totales (USD ha⁻¹); CqnV: Costos que no varían por las densidades de siembra y el sistema de cultivo (= Preparación de terreno + fertilizantes + control de malezas); CqV: Costo que varían por las densidades de siembra y riego (USD ha⁻¹) (= costo de plantas + labor de siembra + aplicación de fertilizantes + labores culturales + cosecha); ICqV: Incremento de los costos que varían con respecto al testigo (USD ha⁻¹) (= CqV_n - CqV_{testigo}); Rent: Rendimiento (cajas ha⁻¹); IRent: Incrementos de los rendimientos respecto al testigo (cajas ha⁻¹) (= Rent_n - Rent_{testigo}); Pc: Precio comercial de venta (USD cajas⁻¹); ling: Incremento de los ingresos con relación al testigo (US \$ ha⁻¹) (= IRent*Pc); ITotales: Ingresos totales (USD ha⁻¹) (= Rent*Pc); BEB: Beneficio económico bruto (USD ha⁻¹) (= ITotales - CT); BEN: Beneficio económico neto de las densidades (USD ha⁻¹) (= ling - ICqV).

La eficiencia agronómica de N, P y K con riego complementario fue de 56, 238 y 48 kg de fruta kg⁻¹ de N, P y K aplicado, respectivamente, en relación los 36, 153, 31 kg de fruta kg⁻¹ de N, P y K aplicado en situación de secano.

La EAN fue de 38, 51, 61 y 72 kg de fruta kg⁻¹ de N aplicado con riego complementario, para las densidades de 1500, 2000, 2500 y 3000 plantas ha⁻¹, respectivamente; mientras que en secano la EAN fue de 22, 33, 41 y 47 kg de fruta kg⁻¹ de N aplicado, para las densidades respectivas (Figura 3A). Para el caso del riego complementario, la EAP fue 165, 220, 260 y 306 kg de fruta kg⁻¹ de P₂O₅ aplicado; mientras que para el sistema de secano la EAP fue 95, 139, 177 y 201 kg de fruta kg⁻¹ de P₂O₅ aplicado, para las densidades evaluadas en su orden respectivo (Figura 3B). Finalmente, la EAK fue de 33, 44, 52 y 61 kg de fruta kg⁻¹ de K₂O aplicado en las densidades respectivas en el sistema de riego complementario; por su parte, en el sistema de secano la EAK alcanzada fue de 19, 28, 35 y 40 kg de fruta kg⁻¹ de K₂O aplicado para las mismas densidades evaluadas (Figura 3C).

Los resultados de eficiencia de la fertilización NPK, se asemejan a los hallados por Mahmoud y Ali (2014), quienes reportaron mayor recuperación de N, P y K a mayor densidad de plantas y riego, en relación con densidades menores. Resultados similares fueron obtenidos por Ndabamenye et al. (2013a) en el este de las tierras altas de África, donde reportaron mayor recuperación de nutrientes en el tejido seco de las plantas establecidas en alta densidad, en comparación a densidades menores.

Posiblemente, la mayor eficiencia en el uso de nutrientes con densidades altas y riego complementario, se deba al incremento en la producción de biomasa aérea y radical en la superficie cultivada, lo cual genera una mayor demanda, absorción y utilización de los nutrientes por el conjunto de plantas,

más aún cuando se conoce que los nutrientes necesitan de niveles adecuados de humedad en el suelo para ser movilizados y metabolizados, dado que la población de plantas compiten por luz, agua y nutrientes (Craine y Dybzinski, 2013; Blok et al., 2017; Plett et al., 2020).

Variables económicas

En la Tabla 4 se presentan de forma detallada los resultados del análisis económico de beneficio bruto y neto del plátano, en función de las densidades y sistema de riego evaluados.

El mayor beneficio económico bruto y neto fue alcanzado por las densidades que recibieron riego complementario, en comparación al sistema de secano. Dentro del sistema de riego complementario el beneficio económico bruto se incrementó 17, 25 y 35% con 2000, 2500 y 3000 plantas ha⁻¹, respectivamente, con relación a la densidad menor; mientras que, bajo el sistema de secano, el incremento del beneficio económico bruto fue de 25, 34 y 28% para las mismas densidades, en su orden respectivo, con relación a la densidad menor.

En cuanto al beneficio económico neto de las densidades de siembra, los tratamientos de 2500 y 3000 plantas ha⁻¹ con riego complementario, alcanzaron la mayor rentabilidad con 2987 y 3665 USD ha⁻¹. Los mayores beneficios económicos logrados con densidades de 2500 y 3000 plantas ha⁻¹, son el efecto directo del mayor incremento de los rendimientos e ingresos con relación a densidades más bajas, dado que con la misma inversión en insumos se obtienen rendimientos y ganancias mayores por el aumento de la población de plantas, aunque los costos que varían por el aumento de la mano de obra son más elevados en estas densidades. Estudios actuales también han determinado la alta productividad y rentabilidad de los sistemas de altas densidades en banano y plátano, en comparación a sistemas de siembra convencionales (Patel et al.,

2018; Siqueira *et al.*, 2020). Los resultados hallados en esta investigación permiten sugerir que el uso de altas densidades de siembra con riego complementario en plátano barraganete puede ser implementado en el valle del río Carrizal con alta producción y rentabilidad. Sin embargo, para productores que no pueden acceder a la implementación del riego, pueden aprovechar las lluvias de inicio de enero para implementar las densidades de 2000 y 2500 plantas ha⁻¹, con las cuales pueden llegar a producir en los últimos meses del año donde los precios aún son elevados, siempre y cuando se utilicen plántulas de 10 semanas de edad propagadas con anterioridad en vivero.

4. Conclusiones

Las altas densidades de siembra mostraron ser una tecnología efectiva para incrementar el rendimiento, rentabilidad y eficiencia agronómica de la fertilización del plátano en el valle del río Carrizal. El rendimiento comercial del cultivo fue proporcional al incremento de las densidades de siembra, mientras que el peso del racimo fue afectado negativamente con el aumento de las densidades. El riego complementario fue más efectivo para incrementar el rendimiento, rentabilidad y eficiencia agronómica de la fertilización del plátano en el valle del río Carrizal. Las densidades de 2500 y 3000 plantas ha⁻¹ con riego complementario, alcanzaron mayor producción, beneficio económico neto y eficiencia agronómica de la fertilización, por lo que pueden ser implementadas en el valle del río Carrizal. Bajo condiciones de secano se recomienda la densidad de 2500 plantas ha⁻¹ por ser la que alcanzó el mayor beneficio económico neto. Para fines de exportación y comercio para snack, se recomienda el uso de las densidades de 2500 y 3000 plantas ha⁻¹, mientras que para el comercio por racimos son conveniente las densidades de 1500 y 2000 plantas ha⁻¹.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecemos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haber financiado la totalidad de esta investigación a través del proyecto institucional CUP 376021 “Manejo sostenible del recurso hídrico en el área de influencia del sistema de riego Carrizal-Chone”, que se ejecutó durante el periodo 2015-2018 como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano.

ORCID

G. Cedeño García  <https://orcid.org/0000-0002-0927-5807>
 A. Guzmán Cedeño  <https://orcid.org/0000-0003-2360-7051>
 H. Zambrano Lucero  <https://orcid.org/0000-0001-5574-593X>
 L. Vera Macías  <https://orcid.org/0000-0003-4581-6743>
 C. Valdivieso López  <https://orcid.org/0000-0001-6128-5802>
 G. López Álava  <https://orcid.org/0000-0003-4755-2032>

Referencias bibliográficas

- Álvarez, E.; Ceballos, G.; Cañán, L.; *et al.* 2013. Producción de material de siembra limpio en el manejo de las enfermedades limitantes del plátano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Publicación CIAT No. 384. Cali, Colombia.
- Ali, S.; Xu, Y.; Ma, X.; *et al.* 2019. Deficit irrigation strategies to improve winter wheat productivity and regulating root growth under different planting patterns. *Agricultural Water Management* 219: 1–11.
- Arantes, A.; Donato, S.; de Siqueira, D.; *et al.* 2018. Gas exchange in 'pome' banana plants grown under different irrigation systems. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal* 38(2): 197-207.
- Ahmadi, S.; Sepaskhah, A.; Zarei, J. 2018. Specific root length, soil water status, and grain yields of irrigated and rainfed winter barley in the raised bed and flat planting systems. *Agricultural Water Management* 210: 304–315.
- Athani, S.; Revanappa.; Dharmatti, P. 2009. Effect of plant density on growth and yield in banana. *Karnataka J. Agric. Sci.* 22(1): 143-146.
- Barrera, J.; Cardona, C.; Cayón, D. 2011. El cultivo de plátano (*Musa* AAB Simmonds): ecofisiología y manejo cultural sostenible. 1ra Edición. Editorial Zenú, Universidad de Córdoba. Córdoba, Colombia. 102 pp.
- Beltrón, C.; Sánchez, A.; Ortiz, M. 2018. El fortalecimiento de la comercialización del plátano mediante formas asociativas. caso de estudio del cantón El Carmen de la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Agosto 2018-ISSN: 2254-7630.
- Blok, C.; Jackson, B.; Guo, X.; *et al.* 2017. Maximum plant uptakes for water, nutrients, and oxygen are not always met by irrigation rate and distribution in water-based cultivation systems. *Front. Plant Sci.* 8: 1-15.
- Camili, E.; Lima, J.; Berchol, A.; *et al.* 2015. Yield and agronomic performance response to irrigation on banana cultivars 'Prata Anã' and 'Prata Graúda'. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 14(2): 109-116.
- Cayón, D. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa* AAB Simmonds). En: *Memorias de la XVI Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical*. ACORBAT, Oaxaca, México, 26 sep-1 oct, 2004.
- Craine, J.; Dyzinski, R. 2013. Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light. *Functional Ecology* 27: 833–840.
- Debnath, S.; Bauri, F.; Bandyopadhyay, B.; *et al.* 2015. Identification of optimum leaf area index (LAI) for high density planting of banana cv. martaman in Gangetic Alluvium region of West Bengal. *Journal Crop and Weed* 11(2):63-66.
- Dos Santos, M.; Rodrigues, S.; Barreto, D.; *et al.* 2019. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths, in semiarid región. *Pesq. Agropec. Trop. Goiânia*, 49(e53036): 1-10.
- Duicela, L.; Ponce, L. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *La Técnica* 15: 6-17.
- Espinosa, J.; Moreno, J.; Bernal, G. 2018. *The Soils of Ecuador*. 1st Edition. © Springer International Publishing AG 2018. Cham, Switzerland. 164 pp.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. *Faostat, datos, cultivos, plátanos y otros*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Flores, W. 2013. Manual técnico para el manejo poscosecha del plátano. Proyecto Fontagro FTG-7010/2007, CITA, Bioersity International. San José, Costa Rica. 29 pp.
- Galán, V.; Robinson, J. 2013. Fisiología, clima y producción de banano. pp. 43-57. En: *Memorias. XX Reunión Internacional da Associação para a*

- Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos), Fortaleza, Brasil, 9-13 de sep, 2013.
- Hanuman, M.; Vanajalatha, K.; Ramesh, T.; *et al.* 2016. Influence of high-density planting and fertigation on physiological parameters, flowering and yield of banana (*Musa acuminata* L.) cv. Grand Naine of Main and ratoon crop. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology 3(10): 2800-2809.
- Hernández, J.; Maican, J.; Serrano, L. 2008. Desarrollo del plátano Musa AAB cv. 'Hartón' en tres densidades de siembra bajo riego. Producción Agropecuaria 1(1): 15-20.
- Hu, Y.; Ma, P.; Wu, S.; *et al.* 2020. Spatial-temporal distribution of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) roots and water use efficiency under ridge-furrow dual mulching. Agricultural Water Management 240: 106301.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2017. Módulo de tecnificación agropecuaria ESPAC 2017. Disponible en: https://www.ecuadorenconfias.gob.ec/documentos/w ebinec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2017/DOC_TEC_AGRO.pdf
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2012. 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition. T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.P. Sulewski. (eds.) International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, USA. 419 pp.
- Kebrom, T. 2017. A growing stem inhibits bud outgrowth – the overlooked theory of apical dominance. Front. Plant Sci. 8: 1874.
- Kissel, E.; Van-Asten, P.; Swennen, R.; *et al.* 2015. Transpiration efficiency versus growth: Exploring the banana biodiversity for drought tolerance. Scientia Horticulturae 185: 175-182.
- MAG-Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2017. Boletín Situacional Plátano. Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/platano>
- Mahmoud, M.; Ali, M. 2014. Total N, P and K uptake by main and ratoon banana crop cv. Grand Naine under different levels of planting distances, irrigation and fertigation. Int. J. Adv. Res. Biol. Sci. 1(9): 283-291.
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. 232 pp.
- Ntamwira, J.; Sivirihauma, C.; Ocimati, W.; *et al.* 2017. Macropropagation of banana/plantain using selected local materials: a cost-effective way of mass propagation of planting materials for resource-poor households. Eur. J. Hort. Sci. 82(1): 38-53.
- Nyombi, K.; Van-Asten, P.; Corbeels, M.; *et al.* 2010. Mineral fertilizer response and nutrient use efficiencies of East African Highland banana (*Musa* spp., AAA-EAHB, cv. Kisansa). Field Crops Research 117: 38-50.
- Ndabamenye, T.; Vanlauwe, B.; Van Asten, P.; *et al.* 2013a. Influence of plant density on variability of soil fertility and nutrient budgets in low input East African Highland banana (*Musa* spp. AAA-EA) cropping systems. Nutr Cycl Agroecosyst 95: 187-202.
- Ndabamenye, T.; Van Asten, P.; Blomme, G.; *et al.* 2013b. Ecological characteristics and cultivar influence optimal plant density of East African highland bananas (*Musa* spp., AAA-EA) in low input cropping systems. Scientia Horticulturae 150: 299-311.
- Oluwafemi, A.; Sunday, A.; Abiola, O. 2012. Effects of dry season water application and a conservation method on the performance of banana (*Musa* spp.) in a Southwestern Nigeria location. Journal of Agricultural Science and Technology 2(8): 971-975.
- Panigrahi, N.; Thompson, A.; Zobelzu, S.; *et al.* 2020. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. Scientia Horticulturae 276(27): 109735.
- Patel, M.; Sitapara, H.; Shah, N.; *et al.* 2018. Effect of different levels of planting distance and fertilizers on growth, yield and quality of banana cv. Grand Naine. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(2): 649-653.
- Pramanik, S.; Kumar, S. 2016. Growth, Yield, Quality and Irrigation Water Use Efficiency of Banana under Drip Irrigation and Fertigation in the Gangetic Plain of West Bengal. World Journal of Agricultural Sciences 12 (3): 220-228.
- Paz, R.; Pesantes, Z. 2013. Potencialidad del plátano verde en la nueva matriz productiva del Ecuador. Revista Científica YACHANA 2(2): 203-210.
- Plett, D.; Ranathunge, K.; Melino, N.; *et al.* 2020. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. Journal of Experimental Botany 71(15):4452-4468.
- Ponce, W.; Sánchez, Y.; Blanco, B. 2018. "Bases metodológicas para potenciar la comercialización del plátano en la provincia de Manabí", Revista Caribeña de Ciencias Sociales. Diciembre 2018- ISSN: 2254-7630.
- Rodrigues, V.; Donato, S.; Arantes, A.; *et al.* 2020. Growth, yield and gas exchanges of 'D'Angola' plantain under different plant densities. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental 24(7): 490-496.
- Sarrwy, S.; Mostafa, E.; Hassan, H. 2012. Growth, yield and fruit quality of Williams banana as affected by different planting distances. International Journal of Agricultural Research 7(5): 266-275.
- Sandhu, R.; Irmak, S. 2019. Assessment of AquaCrop model in simulating maize canopy cover, soil water, evapotranspiration, yield, and water productivity for different planting dates and densities under irrigated and rainfed conditions. Agricultural Water Management 224: 1-19.
- Siqueira, C.; Toledo, M.; Nietsche, S.; *et al.* 2020. Growth and production of 'Prata Anã Gorutuba' banana under different planting densities. Scientia Agricola 78(1): 1-8.
- Toro, A.; Arteaga, R.; Vázquez, M.; *et al.* 2016. Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. Tecnología y Ciencias del Agua 7(6): 105-122.
- Turner, D.; Fortescue, J.; Thomas, D. 2010. Bananas: environment and crop physiology. Chapter 2. In: Ecophysiology of Tropical Tree Crops. Fabio DaMatta Ed. Copyright © 2010 by Nova Science Publishers, Inc. New York, USA. 389 pp.
- Ulloa, S.; Wolf, E.; Armendáriz, I. 2017. Effect of plant density on growth and yield in Barraganete Plantain (*Musa paradisiaca* (L.) AAB cv. Curare enano) for a single harvest cutting in Provincia de Los Ríos, Ecuador. Acta Agronómica 66(3): 367-372.
- Van Asten, P.; Fermont, A.; Taulya, G. 2011. Drought is a major yield loss factor for rainfed East African highland banana. Agricultural Water Management 98: 541-552.
- Zhao, J.; Chu, Q.; Shang, M.; *et al.* 2019. Agricultural Policy Environmental eXtender (APEX) Simulation of Spring Peanut Management in the North China Plain. Agronomy 9(443): 1-21.
- Zheng, J.; Fan, J.; Zou, Y.; *et al.* 2020. Ridge-furrow plastic mulching with a suitable planting density enhances rainwater productivity, grain yield and economic benefit of rainfed maize. J Arid Land 12(2): 181-198.