

Evaluación de la productividad del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo bajo alta densidad de siembra

Sérgio Luiz Rodrigues Donato^{1*}; Joel da Silva de Deus²; Marcelo Rocha dos Santos¹; Oscar Eduardo Trujillo Obando³; Denise Moreira Costa¹; Eugenio Ferreira Coelho⁴

¹Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología Baiano, Setor de Agricultura, Guanambi, Bahia, Brasil;

²Mestrando em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Campus de Janaúba, Janaúba, MG, Brasil; ³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Campus

Palmira, Valle de Cauca, Colombia; ⁴Embrapa Yuca y Fruta, Cruz das Almas, BA - Brasil.

**Autor de Correspondencia:*
Sérgio Luiz Rodrigues-Donato
sergio.donato@ifbaiano.edu.br

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Riego y Drenaje

Recibido:
15 diciembre, 2024

Publicado:
30 abril, 2025

Cita:
Rodrigues DSL, da Silva dD J,
Rocha dSM, Trujillo OOE,
Moreira CD y Ferreira CE.
2025. Evaluación de la
productividad del banano ‘Gran
Enano’ irrigado por
microaspersión y goteo bajo
alta densidad de siembra.
*Acorbat Revista de Tecnología
y Ciencia* 2(1): 100
<https://doi.org/10.62498/ARTC.25100>

RESUMEN

El banano presenta una alta exigencia hídrica. A esto se suma la variabilidad climática y la competencia por los usos múltiples del agua, lo que incrementa la crisis de los recursos hídricos. Esto demanda estrategias que contribuyan a aumentar la eficiencia del agua y de la productividad del cultivo, a reducir la huella hídrica, como el uso de sistemas de riego eficientes y cambios en el sistema de producción. Así, el objetivo fue definir qué sistema de riego, microaspersión o goteo, es el más adecuado para el banano ‘Gran Enano’ cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción. Los sistemas de riego de microaspersión y goteo (tratamientos) fueron dispuestos en un diseño completamente al azar, con 12 repeticiones, sumando 24 unidades experimentales, con cuatro plantas útiles en hilera con bordura completa. Se evaluaron, en el momento de la cosecha, características vegetativas y de rendimiento, productividad de manos, productividad del agua de riego y huella hídrica. Los sistemas de riego por goteo y microaspersión proporcionan similitud en las características vegetativas y de rendimiento del banano ‘Gran Enano’. Los sistemas de riego por microaspersión o goteo son adecuados para el cultivo de banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, 4.000 plantas ha⁻¹ en doble surco, con cosecha programada para un ciclo único de producción, como una propuesta de ahorro hídrico avalada por las altas productividades de frutos y de agua y por la reducida huella hídrica.

Palabras clave: *Musa* AAA, cosecha programada, huella hídrica, plantación densa, riego localizado.

ABSTRACT

Bananas have a high water demand. Added to this is the climatic variability and the competition for multiple uses of water, which increases the water resource crisis. This requires strategies that contribute to increasing water efficiency and crop productivity, and to reducing the water footprint, such as the use of irrigation systems with greater efficiency in the application of water and changes in the cultivation system. Thus, the objective was to define which irrigation system, micro-sprinkler or drip, is the most suitable for the ‘Gran Enano’ banana grown at high planting density with harvest scheduled in a single production cycle. The treatments, two irrigation systems, micro-sprinkler and drip, were arranged in a completely random design, with 12 repetitions, totaling 24 experimental units, with four useful plants in a row with a



complete border. Vegetative and yield characteristics, hand productivity, irrigation water productivity and water footprint were evaluated at the time of harvest. Drip and micro-sprinkler irrigation systems provide similarity in vegetative and yield characteristics of the 'Gran Enano' banana. Micro-sprinkler or drip irrigation systems are suitable for the cultivation of 'Gran Enano' banana under high planting density, 4,000 plants ha⁻¹ in double row, with harvest scheduled for a single production cycle, as a proposal for water saving supported by high fruit and water productivity and by the reduced water footprint.

Keywords: *Musa* AAA, dense planting, scheduled harvest, localized irrigation, water footprint.

INTRODUCCIÓN

El aumento de los riesgos de sequía es resultado de la variabilidad climática natural, el cambio climático inducido por el hombre y el uso insostenible del agua, lo cual repercute negativamente en diferentes actividades humanas (European Commission Joint Research Centre y United Nations Convention to Combat Desertification, 2024). Este aumento de la aridez debido a la combinación de bajas precipitaciones y aumento de temperaturas que incrementan la evapotranspiración constituye la mayor restricción a la producción comercial de banano en el mundo, especialmente en zonas con precipitaciones moderadas a bajas (Panigrahi *et al.*, 2021), como las regiones áridas y regiones semiáridas con mayores impactos en la distribución, magnitud y variabilidad de los recursos hídricos (Giorgi *et al.*, 2019).

Esto refuerza la necesidad de soluciones integradas para aumentar la productividad y la conservación del agua, pues según la European Commission Joint Research Centre y United Nations Convention to Combat Desertification (2024) existe una paradoja, la mayor eficiencia de los sistemas de riego modernos rara vez resulta en la conservación del agua desde un punto de vista global, requiriendo herramientas de política conductual combinadas con soluciones tecnológicas de manejo del riego y estrategias de cultivo climáticamente inteligentes para la conservación del agua. De esa manera, el cultivo de banano que presenta una demanda hídrica elevada y constante debido a las características de la planta (Turner *et al.*, 2007), bajo riego en regiones semiáridas debe priorizar la precisión en el manejo del agua y del cultivo, para mejorar la productividad del agua de riego (Fernández *et al.*, 2020), reducir la huella hídrica y de carbono y aumentar la productividad del cultivo.

Esto implica la implementación de métodos y sistemas de riego más eficientes en la conducción y aplicación de agua, cambios en las configuraciones de los sistemas

de riego, estrategias de riego con aplicación de agua en cantidad menor a la evapotranspiración del cultivo (Almeida *et al.*, 2024), uso de cultivares con mayor tolerancia al déficit hídrico (Coelho *et al.*, 2021), y técnicas de cultivo que privilegien el aumento de la productividad por unidad de agua aplicada, como el incremento en la densidad de siembra (Santos *et al.*, 2019; Magalhães *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2024; Rodrigues *et al.*, 2024) y/o cultivos con cosecha programada para solamente un ciclo de producción, que son menos sujetos a variaciones en las condiciones ambientales en comparación con los ciclos seguidores (Donato *et al.*, 2008).

El banano puede ser irrigado mediante diferentes métodos y sistemas (Coelho *et al.*, 2021), sin embargo, la irrigación localizada con los sistemas de microaspersión, goteo y microjet normalmente proporciona mayor eficiencia potencial en la aplicación del agua. Estudios sobre sistemas de irrigación por microaspersión y goteo en banano han evaluado los niveles de nutrientes en las hojas (Donato *et al.*, 2010), características vegetativas y productividad (Marques *et al.*, 2011), así como distribución del sistema radicular (Sant'Ana *et al.*, 2012). Cambios en la configuración de estos sistemas de irrigación pueden alterar la extracción de agua (Santana Júnior *et al.*, 2021); cuando se combinan con el uso de cobertura vegetal muerta disminuyen la evapotranspiración y aumentan la absorción de agua por las plantas (Campos *et al.*, 2022), y con la fertirrigación, incrementan la productividad, la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes (Souza *et al.*, 2021).

En el semiárido brasileño, los productores han incrementado las plantaciones de alta densidad con cosechas programadas para concentrar la producción en periodos de mejores precios de la fruta en el mercado (Rodrigues *et al.*, 2024). Se presume que la combinación de diferentes estrategias puede modificar las condiciones hídricas del suelo, aumentar el desacoplamiento ambiental (Souza *et al.*, 2019) y, en consecuencia, repercutir en su estado hídrico (Barbosa *et al.*, 2024) e influir en el crecimiento, el desarrollo y la productividad del banano (Rodrigues *et al.*, 2024).

Sin embargo, estudios en condiciones específicas para cada sitio aumentan la fiabilidad de la extrapolación de resultados y en ese contexto, existe una demanda de resultados con cultivares Cavendish, ampliamente cultivados en el semiárido brasileño en la actualidad. Así, el objetivo fue definir qué sistema de riego, microaspersión o goteo, es el más adecuado para el banano 'Gran Enano' cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología Baiano, campus Guanambi, BA, Brasil, en las coordenadas 14°17'38" S de latitud, 42°41'43" W de longitud, y una altitud de 537 msnm. El clima es semiárido, cálido y seco, con una estación seca bien definida en invierno y un periodo lluvioso entre los meses de octubre y marzo. La precipitación media anual es de 671,8 mm, y la temperatura media anual es de 26,1 ° C, considerando los últimos 43 años.

El suelo del área fue clasificado originalmente como Latosolo Vermelho-Amarelo, de textura media, correspondiente a un Oxisol, sin embargo, después de correcciones realizadas durante dos décadas mediante aplicaciones de fertilizantes orgánicos y químicos, junto con la incorporación de residuos de cultivos, se logró construir su fertilidad (Marques *et al.*, 2022). Se realizaron muestreos del suelo en la zona antes de la siembra, durante el periodo de floración y en la cosecha (Cuadro 1).

En el experimento se utilizó la variedad Gran Enano (AAA) del subgrupo Cavendish. Se tomaron muestras de suelo para la caracterización química del área antes de la siembra (Cuadro 1A). El área fue subsolado, arado, rastreado y surcado en un sistema de hileras dobles, con una distancia de 3 m entre ellas. La siembra se realizó en dos líneas equidistantes a 2 m (hileras dobles), con las plantas distribuidas en dichas líneas con un espaciamiento de 1 m, configurando un arreglo de 3 x 2 x 1 m en doble surco, con una densidad de plantío de 4.000 plantas ha⁻¹.

Fueron utilizadas plántulas micropropagadas, la siembra junto con las labores culturales se realizó siguiendo las recomendaciones para el cultivo, según Rodrigues *et al.* (2015), con modificaciones. El cultivo fue conducido durante un ciclo de producción con la filosofía de cultivo programado para cosecha en la época de entresafra. Por lo tanto, todos los brotes fueron debidamente eliminados. Las fertilizaciones con micronutrientes fueron realizadas vía foliar hasta la floración de las plantas.

Los sistemas de riego fueron por microaspersión y goteo, constituyendo los tratamientos. El sistema de microaspersión (Figura 1A) utilizó emisores Amanco® con un caudal de 107 L h⁻¹, presión de 200 kPa, espaciamiento de 3,80 m entre emisores y 5,0 m entre líneas laterales; intensidad de aplicación del emisor de 5,0 mm h⁻¹ y eficiencia de aplicación potencial de 0,85. El sistema de goteo (Figura 1B) estuvo compuesto por dos líneas laterales, con goteros espaciados a 0,50 m para proporcionar una franja mojada continua, caudal unitario de 8 L h⁻¹, presión de 200 kPa y eficiencia de aplicación potencial de 0,90. El agua utilizada para la irrigación provino del embalse

Ceraíma, clasificada como C1S1, con conductividad eléctrica de 0,16 ds m⁻¹, sin restricciones para su uso en el cultivo del banano.

Cuadro 1. Atributos químicos del suelo muestreado antes de la siembra, en la floración y en la cosecha del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo. Guanambi, BA. 2019-2020.

A. Muestreo realizado antes de la implementación del experimento													
Capas	pH ¹	MO ² g kg ⁻¹	P ³ mg dm ⁻³	K ³ mg dm ⁻³	Na ³ mg dm ⁻³	Ca ⁴ mg dm ⁻³	Mg ⁴ mg dm ⁻³	Al ⁴ mg dm ⁻³	H+Al ⁵ mg dm ⁻³	SB	T	V	M
0,0-0,2 m	7,6	34,0	328,1	618,0	0,1	5,9	3,1	0,0	0,9	10,7	11,6	92,0	0
Capas			B ⁶ mg dm ⁻³	Cu ³ mg dm ⁻³	Fe ³ mg dm ⁻³	Mn ³ mg dm ⁻³	Zn ³ mg dm ⁻³	Prem ⁷ mg L ⁻¹	EC ds m ⁻¹				
0,0-0,2 m	-	-	-	1,1	1,1	11,4	125,2	47,9	45,9	2,2	-	-	-
B. Muestreo realizado en época de floración de la planta													
Capas	pH ¹	MO ² g kg ⁻¹	P ³ mg dm ⁻³	K ³ mg dm ⁻³	Na ³ mg dm ⁻³	Ca ⁴ mg dm ⁻³	Mg ⁴ mg dm ⁻³	Al ⁴ mg dm ⁻³	H+Al ⁵ mg dm ⁻³	SB	T	V	M
G 0,0-0,2 m	7,5	2,6	378,3	179	0,1	5,4	2,5	0,0	1,0	8,4	9,5	89	0
G 0,2-0,4 m	7,6	0,9	244,8	173	0,1	4,1	1,8	0,0	0,9	6,4	7,3	87	0
M 0,0-0,2 m	7,6	2,6	522,0	201	0,2	5,6	2,6	0,0	0,9	8,9	9,8	91	0
M 0,2-0,4 m	7,7	1,0	283,5	207	0,1	4,3	1,9	0,0	0,8	6,9	7,7	89	0
Capas			B ⁶ mg dm ⁻³	Cu ³ mg dm ⁻³	Fe ³ mg dm ⁻³	Mn ³ mg dm ⁻³	Zn ³ mg dm ⁻³	Prem ⁷ mg L ⁻¹	EC ds m ⁻¹				
G 0,0-0,2 m	-	-	-	0,4	1,6	15,4	105,6	65,6	44,7	0,5	-	-	-
G 0,2-0,4 m	-	-	-	0,5	1,5	18,9	47,3	57,4	42,8	0,4	-	-	-
M 0,0-0,2 m	-	-	-	0,6	1,3	22,1	113,6	69,9	44,7	0,6	-	-	-
M 0,2-0,4 m	-	-	-	1,2	1,0	23,0	57,2	49,0	43,7	0,5	-	-	-
C. Muestreo realizado en el momento de la cosecha de la planta													
Capas	pH ¹	MO ² g kg ⁻¹	P ³ mg dm ⁻³	K ³ mg dm ⁻³	Na ³ mg dm ⁻³	Ca ⁴ mg dm ⁻³	Mg ⁴ mg dm ⁻³	Al ⁴ mg dm ⁻³	H+Al ⁵ mg dm ⁻³	SB	T	V	M
G 0,0-0,2 m	5,9	2,8	305,0	221	0,1	5,9	2,4	0,0	1,6	8,9	10,6	85	0
M 0,0-0,2 m	7,1	3,1	379,0	188	0,1	5,8	3,1	0,0	1,0	9,5	10,5	90	0
Capas			B ⁶ mg dm ⁻³	Cu ³ mg dm ⁻³	Fe ³ mg dm ⁻³	Mn ³ mg dm ⁻³	Zn ³ mg dm ⁻³	Prem ⁷ mg L ⁻¹	EC ds m ⁻¹				
G 0,0-0,2 m	-	-	-	0,5	1,2	16,8	100,2	51,6	42,7	0,6	-	-	-
M 0,0-0,2 m	-	-	-	0,7	1,0	19,7	85,3	39,6	48,5	2,0	-	-	-

G: goteo; M: microaspersión. 1/pH en agua; 2/Colorimetría; 3/Extractor: Mehlich⁻¹; 4/Extractor: KCl 1 mol/L; 5/pH SMP; 6/Extractor: CaCl₂; 7/Extractor: Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P en HOAc 2 mol L⁻¹; 8/Solución de equilibrio de P; SB, Suma de bases; t, CTC efectiva = SB; T, CTC a pH 7; V, Saturación por bases; m, Saturación por aluminio; P-rem, Fósforo residual; CE, Conductividad eléctrica. mg dm⁻³ = ppm; cmol_c dm⁻³ = meq 100 cm⁻³.

El manejo de la irrigación fue realizado con base en la evapotranspiración del cultivo (ET_c), obtenida considerando la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c). La ET_o fue determinada mediante el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), estándar del Boletín 56 de la FAO, utilizando variables meteorológicas registradas durante el periodo experimental en la estación meteorológica automática (Modelo Vantage Pro Integrated Sensor, fabricado por Davis Instruments, Wayward, California, USA), instalada cerca del área del experimento (Figura 2).

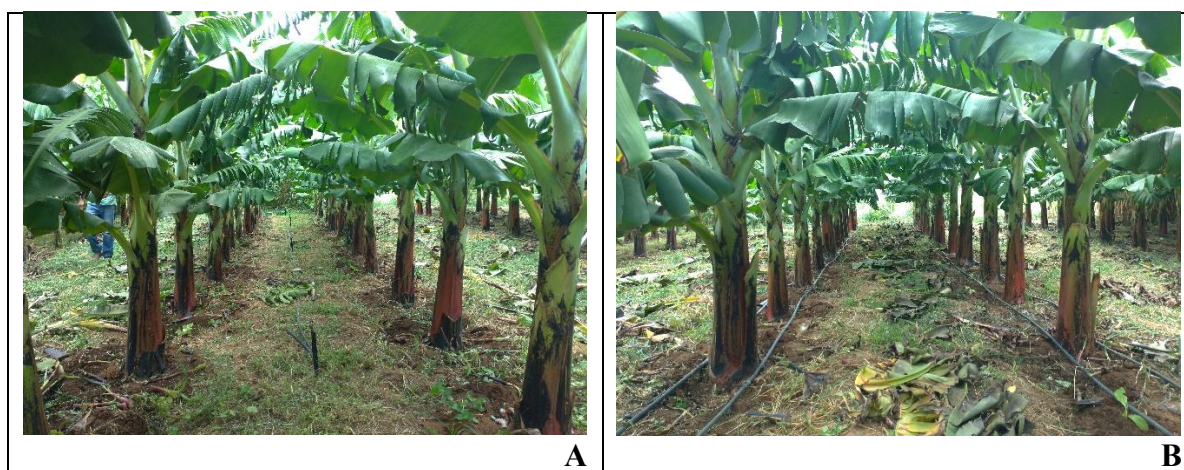


Figura 1. Sistemas de riego utilizados en el experimento con banana ‘Gran Enano’ cultivado en alta densidad de siembra con cosecha programada en un solo ciclo de producción. Nota: A - Sistema de riego por microaspersión; B - Sistema de riego por goteo. Fotografía tomada 135 días después del trasplante. Créditos: Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Los valores de K_c utilizados en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo durante el manejo de la irrigación siguieron la ecuación descrita por Borges *et al.* (2011) y el tiempo de riego para cada sistema estimado según Coelho *et al.* (2021). En el periodo, la evapotranspiración de referencia fue de 2.457,45 mm y la precipitación fue de 1.021,26 mm, con una lámina aplicada de 2.140,46 mm y 2.015,15 mm en microaspersión y goteo, respectivamente.

Los tratamientos, dos sistemas de irrigación, microaspersión y goteo, se dispusieron en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales, con cuatro plantas útiles en filas con bordes completos.

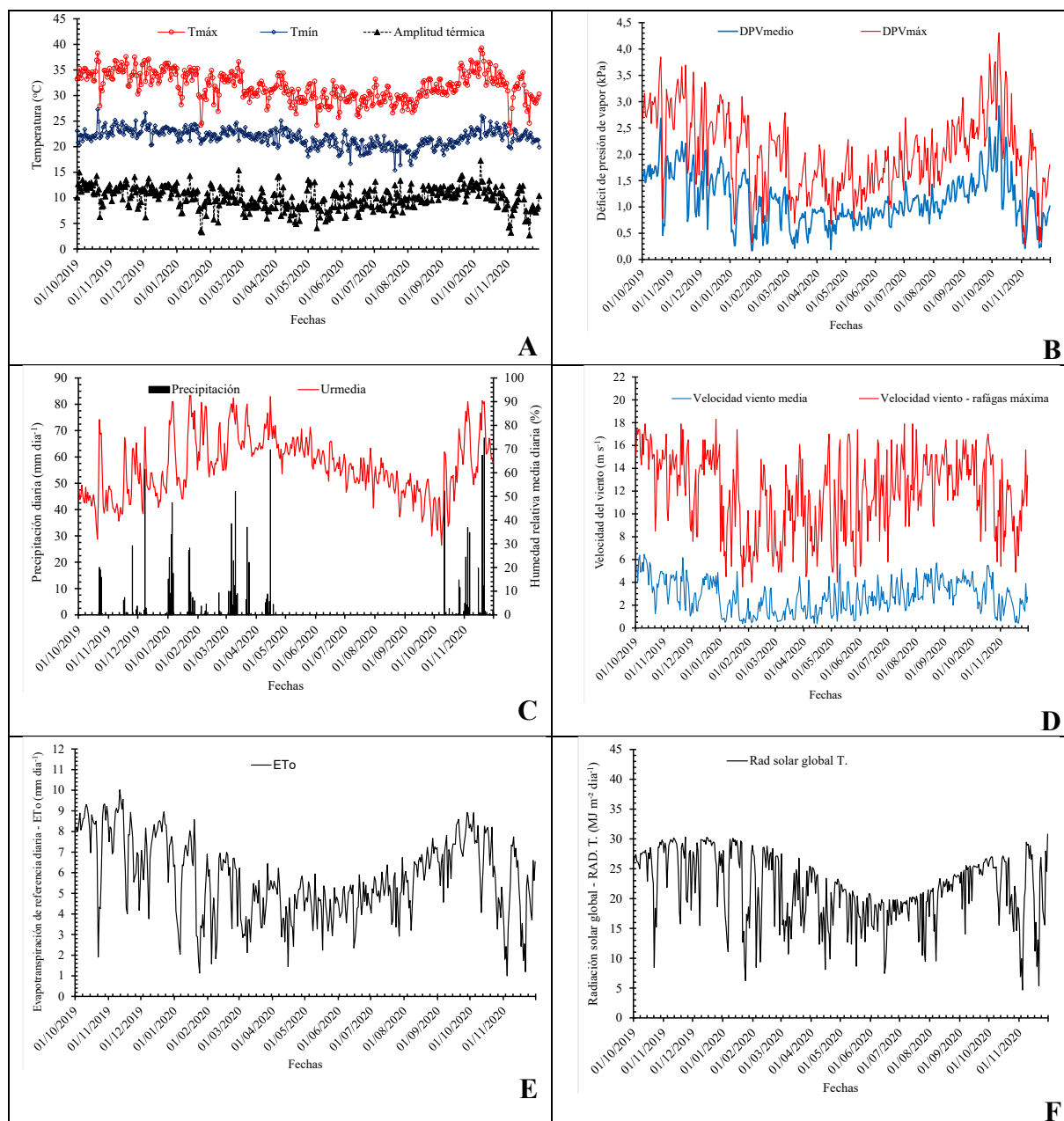


Figura 2. Datos meteorológicos diarios registrados durante el periodo experimental. Guanambi, BA, 01/10/2019-30/11/2020. Nota: A - Temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) y amplitud térmica; B – Precipitación (P) y humedad relativa media (UR); C – Evapotranspiración de referencia (ETo); D – Déficit de presión de vapor máximo (DPVmáx) y medio (DPVmedio); E – velocidad media del viento (Vventomedia) y de ráfaga (Vrajadamaxima); F – Radiación Solar Global (Rad. T.).

Fueron evaluados en la época de la cosecha el número de hojas, requerimiento de número de hojas para la productividad de manos ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), las masa (kg) del racimo,

de las manos y del raquis, número de frutos y de manos por racimo, masa (g), diámetro (mm) y longitud del fruto (cm), población final de plantas cosechadas (plantas ha⁻¹), índice de plantas cosechadas (%), periodo hasta la cosecha (días) y productividad de manos (t ha⁻¹ año⁻¹), calculada considerando la población final de plantas cosechadas. Con base en la productividad de manos (t ha⁻¹) y las láminas aplicadas, fueron calculadas la productividad del agua de riego (kg ha⁻¹ mm⁻¹) y la huella hídrica (L kg⁻¹).

Las características del fruto se midieron en la pieza central de la fila externa de frutos de la segunda mano, utilizando como criterio de cosecha, con un calibre mínimo de 36 mm (Bolfarini *et al.*, 2020). También fue determinada la duración del ciclo de la siembra hasta la cosecha.

Los datos de las características evaluadas fueron sometidos a pruebas de normalidad, homogeneidad y a un análisis de varianza para verificar el efecto del tratamiento mediante la prueba F al 5 % de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características vegetativas y de rendimiento evaluadas en el cultivo de banano ‘Gran Enano’ con alta densidad de siembra y cosecha programada para un único ciclo de producción no fueron influenciadas por los sistemas de irrigación, con excepción del peso del raquis (Cuadro 2). A pesar de que los sistemas de riego por microaspersión y goteo se diferencian en la forma de aplicación del agua sobre la superficie del suelo, la zona de humedecimiento, la uniformidad de distribución de agua en la superficie y en el perfil del suelo y por lo tanto proporcionan diferencias en la distribución horizontal y vertical de las raíces (Sant’Ana *et al.*, 2012), las características evaluadas fueron similares.

Otros autores también han observado similitudes entre los sistemas de riego por goteo y por microaspersión, por ejemplo, en la misma área de este experimento Marques *et al.* (2011) encontraron productividades similares para bananos tipo Prata bajo microaspersión y goteo, aunque constataron menor vigor, expresado en altura y perímetro del pseudotallo bajo riego por goteo, Donato *et al.* (2010) menores contenidos foliares de micronutrientes, mientras Sant’Ana *et al.* (2012) observaron mayor profundidad en la distribución de raíces con el riego por goteo y mayor distribución horizontal con microaspersión en el mismo experimento. Los resultados de Souza *et al.* (2021) demostraron que sistemas de riego por goteo y microaspersión, asociados al uso de mulching, cobertura muerta del propio cultivo de banano, tal como

se utiliza en este trabajo, proporcionan, de forma similar menor evapotranspiración, mayor absorción de agua y mayores productividades en el cultivo de banano ‘BRS Princesa’ en comparación con el riego con estos sistemas en suelos descubiertos. Esto puede contribuir a justificar la similitud proporcionadas por los sistemas de riego.

Cuadro 2. Análisis de varianza con los respectivos cuadrados medios, promedios, desviación estándar y coeficientes de variación de las características vegetativas, de rendimiento, productividad del agua de riego y huella hídrica del cultivo de banano ‘Gran Enano’ irrigada mediante microaspersión y goteo con alta densidad de siembra y cosecha programada para un único ciclo de producción. Guanambi, BA, 2019-2020.

FV	GL	NHC	MMA	MRA	NMA	NFR	MFR	LFR	DFR
Tratamientos	1	2,090567 ^{ns}	2,801097 ^{ns}	0,64357 [*]	0,09375 ^{ns}	106,6114 ^{ns}	17,22685 ^{ns}	0,0234375 ^{ns}	1,715567 ^{ns}
Residuo	22	0,8427767	17,29274	0,105698	0,4873211	442,1706	398,2338	1,656434	5,750289
Total	23								
		(un)	(kg)	(kg)	(un)	(un)	(g)	(cm)	(mm)
Promedio		8,50	28,87	2,13	8,72	156,57	203,81	22,14	37,77
D. estándar		0,92	4,16	0,32	0,69	21,02	19,95	1,28	2,39
CV (%)		10,79	14,40	15,27	8,00	13,43	9,79	5,81	6,34
FV	GL	NDC	REQHMA	POPR	IPC	PROD	PAr	HH	
Tratamientos	1	0,6666667 ^{ns}	0,0012459 ^{ns}	166666,7 ^{ns}	104,1667 ^{ns}	168975,9946 ^{ns}	1,215 ^{ns}	308,3700 ^{ns}	
Residuo	22	36,34954	0,0034336	196969,7	123,1061	451274,3770	118,987	2252,0618	
Total	23								
		(días)	(m ² kg ⁻¹)	(Planta ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	(L kg ⁻¹)	
Promedio		378,39	0,31	3.750,00	93,75	103,49	52,36	199,78	
D. estándar		6,01	0,06	443,62	11,09	21,35	10,90	47,44	
CV (%)		1,59	18,91	11,83	11,83	20,52	20,83	23,75	

Nota: FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; QM: cuadrado medio; D. estándar: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; NHC: número de hojas vivas en la cosecha; MMA: masa de las manos; MRA: masa del raquis o pinzote; NMA: número de manos; NFR: número de frutos; MFR: masa del fruto; LFR: longitud externo del fruto; DFR: diámetro del fruto; NDC: número de días para la cosecha; REQHMA: requerimiento en número de hojas por productividad de manos; POPR: población real al final del experimento; IPC: índice de plantas colectadas; PRODMA: productividad de manos por hectárea año; PAr: productividad del agua de riego; HH: huella hídrica; ^{ns}no significativo, ^{*}significativo a 5 %, ^{**}significativo a 1 % por la prueba F.

Las características vegetativas, como el número de hojas en la cosecha y el requerimiento en área foliar (REQHMA) constatadas en este trabajo, presentan medias distintas de estudios realizados en el mismo lugar y con el mismo cultivar. Por ejemplo, la media de 8,5 hojas es inferior a las 10,1 registradas por Donato *et al.* (2006) con un espaciamiento de 3,0 x 2,0 m (1.666 plantas ha⁻¹) y riego por aspersión convencional

fija subcopa, mientras que el REQHMA de 0,31 es menor que el valor de 0,53 observado por Donato *et al.* (2023) con un espaciamiento de 3,0 x 2,5 m (1.333 plantas ha⁻¹) bajo microaspersión. Los valores menores registrados en el presente estudio se justifican por la mayor densidad de siembra utilizada, 4.000 plantas ha⁻¹, corroborando a Magalhães *et al.* (2020), ya que estas características están más influenciadas por el manejo y el ambiente y menos por el genotipo (Donato *et al.*, 2008). Esto sugiere que las plantaciones de alta densidad reducen el requerimiento de área foliar para la productividad de frutos en m² por kg, lo que constituye una ventaja competitiva para regiones con altas velocidades del viento de ráfagas (Figura 2D), como la del presente estudio (Donato *et al.*, 2023).

De igual manera, el número de días para la cosecha, una característica de duración del ciclo cuya media fue de 378 días para los sistemas de riego, fue mayor que los 360 días observados por Donato *et al.* (2006), corroborando a Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020), quienes constataron un aumento del ciclo para la cosecha con densidades de siembra más elevadas en Prata. El periodo para la cosecha puede variar con el sistema de riego como lo constatado por Souza *et al.* (2021) mayor precocidad para la cosecha bajo goteo a diferencia de este trabajo.

La masa del raquis del banano ‘Gran Enano’ fue mayor en el sistema de riego por microaspersión (Figura 3), con una media de 2,29 kg, en comparación con la masa del raquis bajo goteo, con una media de 1,96 kg. Una mayor masa del raquis es indeseable al principio, sin embargo, la masa de las manos, que representa la parte comercial sin el raquis, fue similar entre los sistemas de riego con una media de 28,87 kg. Este valor se aproxima a estudios en el mismo lugar y cultivar, con 1.666 plantas ha⁻¹ y riego por aspersión convencional fija subcopa, cuya media fue de 29,28 kg (Donato *et al.*, 2006) y 25,32 kg con 1.333 plantas ha⁻¹ bajo microaspersión (Donato *et al.*, 2023).

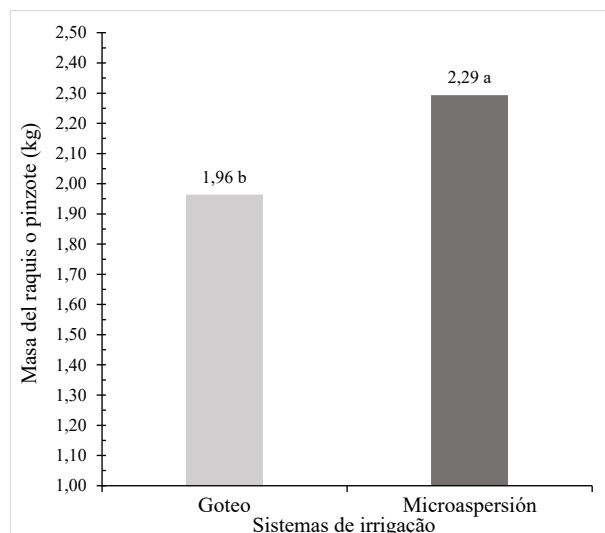


Figura 3. Masa del raquis o pinzote del banano ‘Gran Enano’ irrigado por microaspersión y goteo con alta densidad de siembra con cosecha programada para ciclo único. Guanambi, BA, 2019-2020. Las medias seguidas de letras diferentes para los sistemas de riego difieren entre sí al 5 % de significancia mediante la prueba F.

A pesar de las diferencias entre densidades de siembra de 4.000 plantas ha^{-1} y 1.666 plantas ha^{-1} , la proximidad de los valores de las masas de manos registradas en el primer ciclo refleja la uniformidad del cultivar Gran Enano, un material genético seleccionado a lo largo del tiempo por agricultores y empresas bananeras con un objetivo enfocado principalmente en el aumento del índice de cosecha (Rodrigues Filho *et al.*, 2021), lo que posiblemente confiere mayor heredabilidad y repetibilidad a la mayoría de sus características (Aguilar Morán, 2013; Silva *et al.*, 2013), principalmente las de rendimiento asociadas al racimo (Donato *et al.*, 2008). Además, los cultivares del subgrupo Cavendish son derivados de la ‘Dwarf Cavendish’ (‘Nanica’), es decir, provienen de un único clon, por medio de mutación (Silva *et al.*, 2013). Los cultivares dentro de los subgrupos tienden a ser uniformes en cuanto a los principales caracteres, principalmente cuando poseen un solo genoma, AAA, como es el caso de *Musa acuminata* Cavendish.

Esto se comprueba cuando se comparan los caracteres del fruto más asociados al racimo (Donato *et al.*, 2008), masa (203,81 g), longitud (22,14 cm) y diámetro del fruto (37,71 mm) observados en este trabajo con valores muy próximos a 200,44 g, 23,14 cm y 35,78 mm (Donato *et al.*, 2006). Estos resultados confirman las observaciones de Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020) sobre el mantenimiento de la clasificación comercial de los frutos, con mayor densidad de siembra, incluso para banano Prata (AAB), cultivares menos uniformes genéticamente. Por otro lado, el

número de manos (8,57) y de frutos (156,57) fueron menores cuando comparados 10,02 manos y 182,15 frutos observados en los estudios de Donato *et al.* (2023), comprobando mayor influencia de la densidad de siembra en estas características, como constatado por Santos *et al.* (2019) y Magalhães *et al.* (2020).

La productividad registrada en el presente trabajo consideró las plantas efectivamente cosechadas, que fueron similares entre los sistemas de riego. La productividad media de 103,49 t ha⁻¹ año⁻¹ es elevada y está en fase con mayores productividades bajo alta densidad de siembra, como se ha comprobado por Rodrigues *et al.* (2024) de 109,30 t ha⁻¹ año⁻¹ con la misma densidad de siembra (4.000 plantas ha⁻¹), mismo cultivar, ‘Gran Enano’, y mismo local, pero independiente de la lámina de riego aplicada. De mismo modo, mayores productividades bajo alta densidad de siembra se ha comprobado para cultivares de diferentes grupos genómicos, AAA, Gran Enano (Mahmoud, 2013), AAAB, BRS Platina (Santos *et al.*, 2019) y AAB, Prata-Anã (Magalhães *et al.*, 2020). Esto concuerda con la práctica de muchos productores del Semiárido brasileño, particularmente de las regiones de Bom Jesus da Lapa, BA y del norte de Minas Gerais, que han aumentado la siembra con altas densidades con cosecha programada para concentrar la producción en periodos de mejor precio de la fruta en el mercado, aunque con densidades de siembra menores que las del presente trabajo.

La similitud en la productividad del banano ‘Gran Enano’ observada en este trabajo entre microaspersión y goteo corrobora los resultados de Donato *et al.* (2010), Marques *et al.* (2011) con bananos tipo Prata y coincide con lo reportado por Coelho *et al.* (2021) que las productividades de la ‘Prata-Anã Gorutuba’ en el sistema de goteo con dos líneas laterales por fila de plantas con emisores distantes 0,50 m entre sí, pueden equipararse a las obtenidas en la microaspersión. Del mismo modo, Souza *et al.* (2021) constataron productividades similares del banano ‘BRS Princesa’ entre microaspersión y goteo con fertirrigación, lo que ratifica que ambos sistemas pueden ser utilizados para diferentes cultivares de banano.

Entretanto, como señalan Coelho *et al.* (2021), el riego por goteo ha sido menos utilizado en el banano que la microaspersión, por ser más adecuado a suelos de textura media a arcillosa, pero es un sistema de mayor eficiencia que la microaspersión, con un 10 % a 15 % menos de gasto de agua. En el presente trabajo, el gasto de agua fue cerca de un 5 % menor en el goteo con una lámina bruta de 2.015,15 mm, mientras que en la microaspersión la lámina bruta aplicada fue en promedio de 2.140,46 mm. La diferencia se debe a la mayor eficiencia de aplicación potencial del goteo, 0,90 frente a 0,85 para la microaspersión. Sin embargo, la elección del sistema de riego también debe considerar otros factores como la calidad del agua, la facilidad de manejo del sistema en términos de bloqueos de emisores y el costo de adquisición. Además, en el

sistema de riego por goteo se corre el riesgo de corte de cintilla (cinta) por las herramientas de cultivo cortantes usadas por los trabajadores, y si la cinta queda entre la planta madre e hijo se bloquea el suministro de agua. Lo que requiere una mayor disciplina para alejarse de las líneas laterales de riego y mantener el sistema. También, la descomposición de los residuos de cultivos después de la cosecha y de la eliminación de las hojas depositados en suelo y su consecuente reciclaje de nutrientes sólo ocurrirán eficientemente durante la temporada de lluvias. Por lo tanto, estas consideraciones constituyen desventajas para el uso del riego por goteo frente a la microaspersión.

Esta pequeña diferencia en el gasto de agua contribuyó a la similitud en la productividad del agua de riego (PAr) y en la huella hídrica (HH) del banano ‘Gran Enano’ bajo microaspersión y goteo. Los valores medios de $52,36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para PAr son los mismos que los observados por Rodrigues *et al.* (2023) en las mismas condiciones de local, densidad de siembra, cultivar y lamina de riego, $51,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, pero los valores de HH fueron poco mayores de $199,78 \text{ L kg}^{-1}$ ante $141,15 \text{ L kg}^{-1}$. En cualquier caso, estos valores de PAr y HH atestiguan la contribución de la alta densidad de siembra para ahorrar agua. Esto corrobora lo observado por otros autores para cultivares de diferentes grupos genómicos, por ejemplo, Santos *et al.* (2019) encontraron mayor productividad del agua de riego con densidad de siembra más elevada y reducción de la lámina de riego aplicada, mientras que Magalhães *et al.* (2020) constataron mayor PAr con la interacción entre mayor densidad de siembra y reducción de la lámina de riego. Sin embargo, los valores de PAr registrados por Santos *et al.* (2019) de $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ y por Magalhães *et al.* (2020) de $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ reflejan el menor potencial productivo de los cultivares tipo Prata comparado con los Cavendish, así como las condiciones de manejo, aunque en el mismo lugar experimental.

Los resultados de este trabajo confirman la posibilidad de uso de microaspersión o goteo para el banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, $4.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ en doble surco, con cosecha programada para ciclo único. Evidencian así esta estrategia de cultivo como una propuesta de ahorro hídrico, lo que está en fase con las soluciones locales ante la crisis de recursos hídricos ampliada por la variabilidad climática y los conflictos entre los usos múltiples del agua.

CONCLUSIONES

Sistemas de riego por goteo y microaspersión proporcionan similitud en las características vegetativas y de rendimiento del banano ‘Gran Enano’ con alta densidad de siembra y cosecha programada para ciclo de producción único.

Sistema de riego por microaspersión o goteo es adecuado para el cultivo del banano ‘Gran Enano’ bajo alta densidad de siembra, 4,000 plantas ha⁻¹ en doble surco, con cosecha programada para un ciclo de producción único, como propuesta de ahorro hídrico, comprobada por las altas productividades de frutos y de agua y por la reducida huella hídrica.

AGRADECIMENTOS

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y a la Coordinación de perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES).

REFERENCIAS

1. Aguilar Morán, J.F. 2013. Improvement of Cavendish banana cultivars through conventional breeding. *Acta Horticulturae* 986:205-208. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.986.21.
2. Almeida, F.P.d.; Santos, M.R.d.; Coelho, E.F.; Donato, S.L.R.; Oliveira, P.M.d.; Reis, J.B.R.d.S.; Carvalho, L.A.C.d.; Lima, J.C.L.d.; Santos, D.L.; Cunha, F.F.d. 2024. Irrigation of ‘Prata-Anã’ Banana with Partial Root-Zone Drying in a Semi-Arid Environment. *Agronomy*, 14:1820. DOI: 10.3390/agronomy14081820.
3. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome, Italy. 300p. (Irrigation and drainage, 56).
4. Barbosa, L.F.; Donato, S.L.R.; Santos, M.R. dos; Coelho, E.F. 2024. Fruit yield and water productivity of ‘Prata Anã’ banana under different planting densities and irrigation depths. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 59:e03423. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03423.
5. Bolfarini, A.C.; Souza, J.M.A.; Silva, M.S.; Ferreira, R.B.; Leonel, M.; Tecchio, M.A.; Leonel, S. 2020. Ideal harvest stage and quality descriptors of 5 banana cultivars based on 5 fruit diameters. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 32:220-228. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i3.2079.
6. Borges, A.L.; Coelho, E.F.; Costa, E.L.; Teixeira, A.H.C. 2011. Irrigação e fertirrigação da bananeira. In: Souza, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M.; Coelho Filho, M.A. (Eds.), *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, Brasil, pp. 369-397.
7. Campos, M.S.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Fernandes, R.D.M.; Cruz, J.L. 2022. Consumptive water use of banana under micro irrigation using a soil-water balance approximation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26:594-601. DOI: 10.590/1807-1929/AGRIAMBI.V26N8P594-601.

8. European Commission Joint Research Centre and United Nations Convention to Combat Desertification, World Drought Atlas [A. Toreti, D. Tsegai, and L. Rossi Eds]. 2024. Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI:10.2760/3842670, JRC 139691. <Disponible in: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC139691>>
9. Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Donato, S.L.R. 2021. Manejo da irrigação e fertirrigação. In: Donato, S.L.R.; Borém, A.; Rodrigues, M.G.V. (Eds.), *Banana: do plantio à colheita*. EPAMIG, Belo Horizonte, Brasil, pp. 237-274.
10. Donato, S.L.R.; Arantes, A.M.; Soares, A.S.S.; Santos, M.R.; Rodrigues, M.G.V. 2023. Gas exchange and leaf area requirement for yield in Cavendish and Gros Michel Bananas. *Revista Brasileira de Fruticultura* 45:e-079. DOI: 10.1590/0100-29452023079.
11. Donato, S.L.R.; Léo, A.A.; Pereira, M.C.T.; Coelho, E.F.; Cotrim, C.E. 2010. Estado nutricional de bananeiras tipo prata sob diferentes sistemas de irrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45:980-988. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000900007.
12. Donato, S.L.R.; Silva, S.O.; Lucca Filho, O.A.; Lima, M.B.; Domingues, H.; Alves, J.S. 2006. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28:139-144. DOI: 10.1590/S0100-29452006000100039.
13. Donato, S.L.R.; Siqueira, D.L.; Silva, S.O.; Cecon, P.R.; Silva, J.A.; Salomão, L.C.C. 2008. Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:957-969. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000800003.
14. Fernández, J.E.; Alcon, F.; Diaz-Espejo, A.; Hernandez-Santana, V.; Cuevas, M.V. 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management* 237:106074. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106074.
15. Giorgi, F.; Raffaele, F.; Coppola, E. 2019. The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. *Earth System Dynamics* 10:73-89. DOI: 10.5194/esd-10-73-2019.
16. Magalhães, D.B.; Donato, S.L.R.; Santos, M.R.; Brito, C.F.B.; Fonseca, V.A.; Souza, B.S. 2020. Yield 'Prata-Anã' banana plants under water deficit and high plant density. *Revista Brasileira de Fruticultura* 42:e-046. DOI: 10.1590/0100-29452020046.
17. Mahmoud, H.H. 2013. Effect of different levels of planting distances, irrigation and fertigation on yield characters of main crop cv. Grande Naine. *Global Journal of Plant Ecophysiology* 3:115-121.
18. Marques, P.R.R.; Donato, S.L.R.; Pereira, M.C.T.; Coelho, E.F.; Arantes, A.M. 2011. Características agrônômicas de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:852-859. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000800010.
19. Marques, P.R.R.; Donato, S.L.R.; São José, A.R.; Rosa, R.C.C.; Arantes, A.M. 2022. Nutritional status and production of 'Prata-Anã' (AAB) and 'BRS Platina' (AAAB) banana plants with organic fertilization. *Nativa* 10:60-68. DOI: 10.31413/nativa.v10i1.13160.
20. Panigrahi, N.; Thompson, A.J.; Zobelzu, S.; Knox, J.W. 2021. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae* 276:109735. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109735.
21. Rodrigues D.S.L.; Rocha; D.S.M.; Alves, M.T. Ferreira, C.E.; Trujillo, O.O.E. 2024. y Productividad y huella hídrica del banano 'Gran Enano' bajo niveles de riego y densidades de siembra. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1):69. DOI: 10.62498.ARTC.2469.

22. Rodrigues Filho, V.A.; Neves, J.C.L.; Donato, S.L.R.; Guimarães, B.V.C. 2021. Universality of Kenworthy and DRIS norms for Prata and Cavendish bananas grown in two environments. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 45:e0200120. DOI: 10.36783/18069657rbcs20200120.
23. Rodrigues, M.G.V.; Donato, S.L.R.; Lichtemberg, L.A.; Dias, M.S.C. 2015. Implantação e manejo do bananal. *Informe Agropecuário* 36:27-44.
24. Sant'Ana, J.A.V.; Coelho, E.F.; Faria, M.A.; Silva, E.L.; Donato, S.L.R. 2012. Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura* 34:124-133. DOI: 10.1590/S0100-29452012000100018.
25. Santana Junior, E.B.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Silva, A.J.P.; Reis, J.B.R.S.; Pereira, B.L.S. 2021. Management of trickle irrigation for banana: Hydrodynamic processes and sensor placement at the root zone. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25:312-318. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p312-318.
26. Santos, M.R.; Donato, S.L.R.; Magalhães, D.B.; Cotrim, M.P. 2019. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths in semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 49:e53036. DOI: 10.1590/1983-40632019v4953036.
27. Silva, S.O.; Amorim, E.P.; Santos-Serejo, J.A.; Ferreira, C.F.; Dita Rodriguez, M.A. 2013. Melhoramento genético da bananeira: estratégias e tecnologias disponíveis. *Revista Brasileira de Fruticultura* 35:919-931. DOI: 10.1590/S0100-29452013000300032.
28. Souza, D.F.; Pinto, J.V.D.N.; Costa, D.L.; Vieira, I.C.D.O.; Silva, T.G.; Souza, P.J. 2019. Controles biofísicos da evapotranspiração em cultivo de feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23:725-732. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p725-732.
29. Souza, E.A.; Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Melo, D.M. 2021. Desempenho agrônômico da bananeira 'BRS Princesa' sob fertirrigação e cobertura morta. *Semina: Ciências Agrárias* 42:979-998. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n3p979.
30. Turner, D.W.; Fortescue, J.A.; Thomas, D.S. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19:463-484. DOI: 10.1590/S1677-04202007000400013.