

Arrepollamiento de banano asociado a variaciones climáticas y nutricionales

Juliana Domingues-Lima^{1§}
Alex Mesczezen-Drominski¹
Camila da Silva-Rocha²
Mariana Passos da-Conceição¹
Danilo Eduardo-Rozane¹
Eduardo Nardini-Gomes¹

¹Universidad Estatal de São Paulo ‘Júlio de Mesquita Filho’-*Campus* de Registro. Calle Néelson Brihi Badur núm. 430, Vila Tupy, Registro, SP, Brasil. CP. 11900-000. (alex.mesczezen@unesp.br; passos.conceicao@unesp.br; eduardo.n.gomes@unesp.br; danilo.rozane@unesp.br). ²Universidad Federal de Paraná-Programa de Posgrado en Ciencias del Suelo. Calle dos Trabalhadores 1540, Juveve, Curitiba, PR, Brasil. CP. 80035-050. (camila.agroufpr@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: juliana.d.lima@unesp.br.

Resumen

El arrepollamiento del banano ahogado acorta la distancia entre pecíolos de hojas alternas, lo que permite la salida de la parte distal de la inflorescencia; sin embargo, la parte basal se atasca en la garganta. Se evaluó el efecto del arrepollamiento en el crecimiento de *Musa* spp. cv Nanica (AAA) y la relación de las variaciones climáticas y el estado nutricional con este trastorno fisiológico fueron determinados. El experimento se llevó a cabo de septiembre 2018 a agosto 2019 en Registro, estado de São Paulo, Brasil. El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos y diez repeticiones, en parcelas subdivididas en el tiempo (meses). La evaluación consistió en determinar la intensidad del síntoma, número de hojas, altura de la planta, número de manos, longitud del tallo, síntomas de deficiencia nutricional y otras anomalías, contenido de nutrientes de las hojas. El crecimiento de las plantas no se vio afectado por el arrepollamiento, solo el número de manos en los meses de octubre 2018 y junio 2019 a agosto 2019 ($p < 0.05$). El arrepollamiento ocurrió durante todo el año, con predominio de síntomas severos de abril a junio debido a una reducción de la temperatura y radiación. Los frutos torcidos, unidos por fusión de partes florales y con diferentes tamaños ocurrieron, respectivamente, en 21.67, 60.83 y 17.52% de las plantas sintomáticas, asociados con la temperatura fresca durante la diferenciación de la fruta femenina. El arrepollamiento, así como anomalías en el racimo y las frutas se relacionaron con deficiencia de Zn ($p < 0.05$). La deficiencia de Ca a bajas temperaturas, la menor disponibilidad de radiación y la alta humedad relativa también se asociaron con el arrepollamiento. El exceso de P en el suelo, así como las condiciones climáticas adversas contribuyeron a la limitación de estos nutrientes.

Palabras clave: *Musa* spp., ahogo, deficiencia nutricional, estrés abiótico.

Recibido: diciembre de 2021

Aceptado: marzo de 2022

Introducción

El banano (*Musa* spp.) es uno de los productos agrícolas mundiales más valiosos, con plantaciones comerciales responsables de suministrar casi 15% de la producción mundial total de banano (Panigrahi *et al.*, 2021). Aunque el banano tiene importancia socioeconómica global, como cualquier cultivo está amenazado por restricciones bióticas y abióticas, lo que resulta en pérdidas económicas y de productividad significativas, lo que consecutivamente afecta la seguridad alimentaria (Pua *et al.*, 2019). Los bananos son plantas herbáceas perennes, crecen y producen frutos durante todo el año (El-Mahdy y Eissa, 2018). Su desarrollo floral implica la elongación de entrenudos del tallo verdadero y su aparición a través del núcleo cilíndrico formado por las vainas foliares del pseudotallo (Panigrahi *et al.*, 2021).

Se observa un trastorno fisiológico en las plantas de banano en todo el mundo, que incluye la falla del tallo o racimo floral de emerger del pseudotallo debido a la constricción, llamada obstrucción floral, ‘arrepollamiento’ (Torres y Castillo, 2013) o *choke throat* (Ravi y Vaganan, 2016). El banano asfixiado presenta una cercanía de pecíolos que permite la salida de la parte distal de la inflorescencia, pero no de la parte basal, ésta se atasca en la garganta. La aparición de la roseta (Ravi y Vaganan, 2016) revela un déficit de auxina y giberelina (Bahadur *et al.*, 2020), hormonas responsables de la filotaxis y elongación del tallo, respectivamente.

Los síntomas de asfixia aparecen a temperatura alta o baja, sequía e inundación prolongada (Torres y Castillo, 2013; Donato *et al.*, 2015; Ravi y Vaganan, 2016; Bahadur *et al.*, 2020; Nansamba *et al.*, 2020), clima extremadamente húmedo (Donato *et al.*, 2015) y período prolongado de tiempo nublado (Robinson y Saúco, 2011). La deficiencia nutricional puede estar asociada con este trastorno fisiológico (Robinson y Saúco, 2011; Torres y Castillo, 2013). Debido que son necesarios en la célula o están asociados con la actividad enzimática. Los nutrientes vegetales también desempeñan funciones para las plantas cultivadas en condiciones de estrés (Youssef y Eissa, 2017).

Algunos nutrientes tienen una función específica en el metabolismo hormonal, lo que en consecuencia los hace aún más importantes para los cambios en el desarrollo y mantenimiento de la integridad funcional durante el estrés. La deficiencia de N, P y Zn se relacionó con la asfixia (Robinson y Saúco, 2011; Torres y Castillo, 2013). En Vale do Ribeira, situado en el sureste de Brasil, entre el sur de São Paulo y el norte del estado de Paraná, hay un clima tropical marginal con grandes variaciones en temperatura, radiación, precipitaciones entre estaciones. Esto lo convierte en una región interesante para evaluar la asfixia apuntando a estrategias de manejo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la asfixia en el crecimiento de *Musa* spp. cv. Nanica, grupo Cavendish, subgrupo AAA, así como investigar cómo las variaciones climáticas y el estado nutricional de las plantas se asocian con este trastorno fisiológico.

Materiales y métodos

Condiciones experimentales

El experimento se realizó de septiembre de 2018 a agosto de 2019 en una granja comercial en Registro, estado de São Paulo, Brasil, ubicada a 22° 29' 37" latitud sur y 47° 48' 50" longitud oeste con una altitud de 80 m. Las plantas de banano ‘Nanica’ (*Musa* spp.) del grupo Cavendish y el

subgrupo AAA en el 5° ciclo de cultivo fueron objeto del experimento. El sistema de producción fue en hilera simple a un espaciamiento de 2.5 x 2.5 m. El clima en la región se categorizó como tropical, sin estación seca (Alvares *et al.*, 2013).

Las temperaturas máximas y mínimas medias anuales fueron de 26.7 °C y 17.5 °C, respectivamente, y la precipitación media anual fue de 1 615.4 mm. El suelo del área experimental se clasifica como Cambisol (Embrapa, 2013). Las características del suelo en agosto de 2018 en las capas 0-10 y 10-20 cm se presentan en el Cuadro 1. El manejo cultural, la fertilización y el control fitosanitario siguieron las recomendaciones adoptadas en la producción comercial de banano (Moreira, 1999).

Cuadro 1. Características químicas del suelo.

	pH CaCl	MO	P*	K	Ca	Mg	S-SO ₄ ⁻	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al ⁺³	CIC	V (%)
	(mmolc dm ⁻³)						(mg dm ⁻³)					(mmolc dm ⁻³)			
0-20 cm	5.8	4	289	14.2	84	33	399	63	47	3.8	7.5	1.03	0	153.5	79
20-40 cm	5.7	3.7	282	12.7	79	32	350	49	33	2.9	6.5	0.84	0	138	82

MO= materia orgánica; CIC= capacidad de intercambio catiónico; V= porcentaje de saturación de bases; * = P en resina.

Diseño experimental

El diseño experimental adoptado fue completamente aleatorizado con dos tratamientos y diez repeticiones, en parcelas subdivididas en el tiempo (meses). Los tratamientos consistieron en plantas sin síntomas y plantas con síntomas de asfixia, se eligieron al azar, mensualmente, durante un año, al inicio de la floración (brácteas recién abiertas), en una parcela uniforme de 0.5 ha.

Evaluaciones

La evaluación consistió en determinar la intensidad del síntoma (Figura 1), el número de hojas, la altura de la planta madre e hija, el número de manos en el racimo, la longitud del tallo, los síntomas de deficiencia nutricional y otras anormalidades en el racimo o frutos. Para determinar la intensidad de los síntomas, inicialmente se fotografiaron 20 plantas con síntomas de una parcela de aproximadamente 0.1 ha para establecer una escala de intensidad de los síntomas (Figura 1). El síntoma leve incluyó sólo un ligero cambio en la filotaxis; el moderado, alteración de la filotaxis con superposición parcial de las láminas de las hojas, y el severo, superposición completa de las hojas y anormalidad en el racimo o frutos.

Para el contenido de nutrientes de la hoja (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Fe y Mn), se tomaron 10 cm de la parte media de la lámina de la tercera hoja completamente expandida, descartando la vena central. Las muestras de hojas se lavaron, se secaron en un horno de circulación de aire forzado a 60 °C ±5 °C y se molieron en un molino tipo Willey. Los contenidos de nutrientes se determinaron de acuerdo con Bataglia *et al.* (1983) y el valor de referencia adoptado según Borges *et al.* (2006). También se recolectaron datos de variables climáticas (radiación solar global, temperatura, humedad relativa y precipitación), en una estación meteorológica cercana al área experimental. La condición del cielo se estimó de acuerdo con Iqbal (1983), a partir del índice de claridad (Kt) como despejado, parcialmente nublado y nublado.



Figura 1. Intensidad de los síntomas de asfixia: A) ausencia; B) leve; C) moderado; y D) severo.

Análisis estadístico

Los datos de los análisis se expresaron como medias de cinco repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el software Sisvar (Ferreira, 2011). Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). La correlación entre las variables se determinó mediante el coeficiente de Pearson.

Resultados y discusión

Efecto de la asfixia en el crecimiento de las plantas

Se presentó asfixia durante el período experimental (Figura 2). En diciembre de 2018, todas las plantas asfixiadas exhibieron síntomas leves, mientras que, de abril de 2019 a junio de 2019, hubo una alta frecuencia de síntomas severos (Figura 2). El crecimiento de la planta no se vio afectado por la asfixia, ya que el crecimiento de la planta madre (Figura 3A) y la planta hija (Figura 3B), la longitud del tallo (Figura 3C), el número de hojas en la floración (Figura 3D) no difirieron entre las plantas con y sin síntomas. Solo el número de manos por racimo en los meses de octubre de 2018 y junio de 2019 a agosto de 2019 fue menor en plantas con síntomas ($p < 0.05$) (Figura 3E).

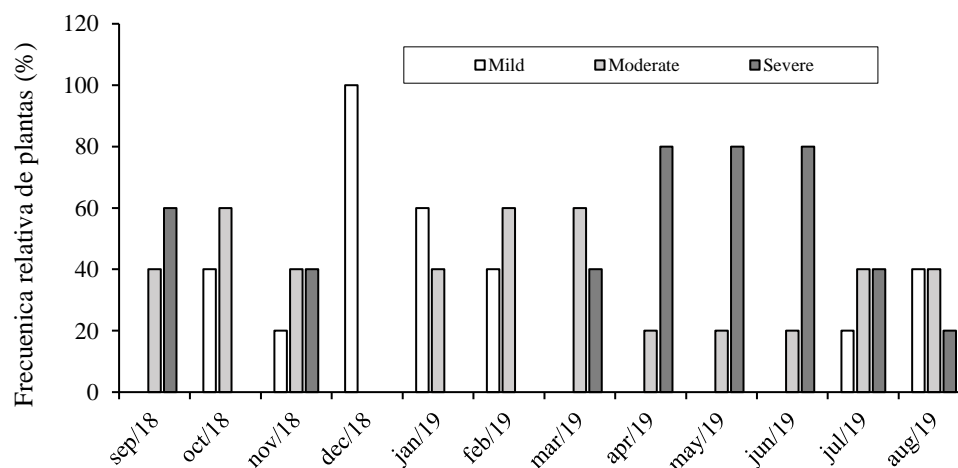


Figura 2. Frecuencia relativa de diferentes intensidades de síntomas de asfixia.

Por otro lado, hubo un impacto significativo de las variaciones estacionales en el crecimiento de las plantas. La emisión foliar en primavera (septiembre a diciembre) fue de 2.45 ± 0.18 hojas mes^{-1} , en verano (diciembre a marzo), 3.39 ± 0.88 , en otoño (marzo a junio), 2.3 ± 0.54 y en invierno (junio a agosto), 1.36 ± 0.19 (Figura 3F). La altura de las plantas (Figuras 3A e 3B), la longitud del tallo (Figura 3C) y el número de hojas en la floración (Figura 3D), en general, exhibieron valores promedio más altos de noviembre de 2018 a abril de 2019, mientras que el número de manos fue mayor de diciembre de 2018 a abril de 2019 (Figura 3E).

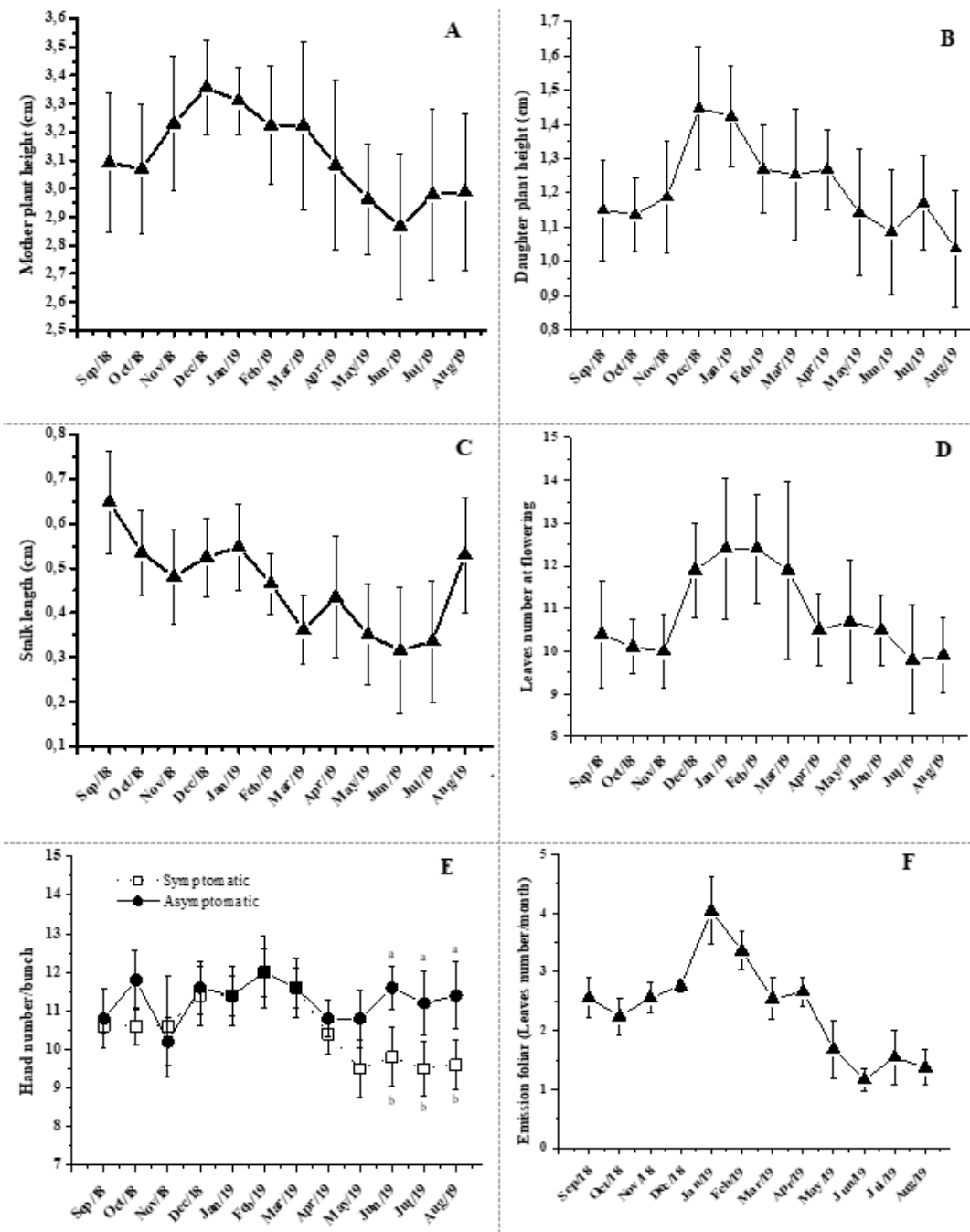


Figura 3. Características morfológicas de las plantas con y sin síntomas de asfixia. Valores medios obtenidos de diez repeticiones seleccionadas mensualmente para cada tratamiento.

Variaciones climáticas y asfixia

La disponibilidad de radiación fue baja de febrero de 2018 a noviembre de 2019 (Figura 4A), debido a la reducción del fotoperíodo y al aumento de la nebulosidad. Hubo 130 días nublados, 124 días parcialmente nublados tendiendo a nublados, 74 días parcialmente nublados tendiendo a despejarse y solo 37 días con cielo despejado.

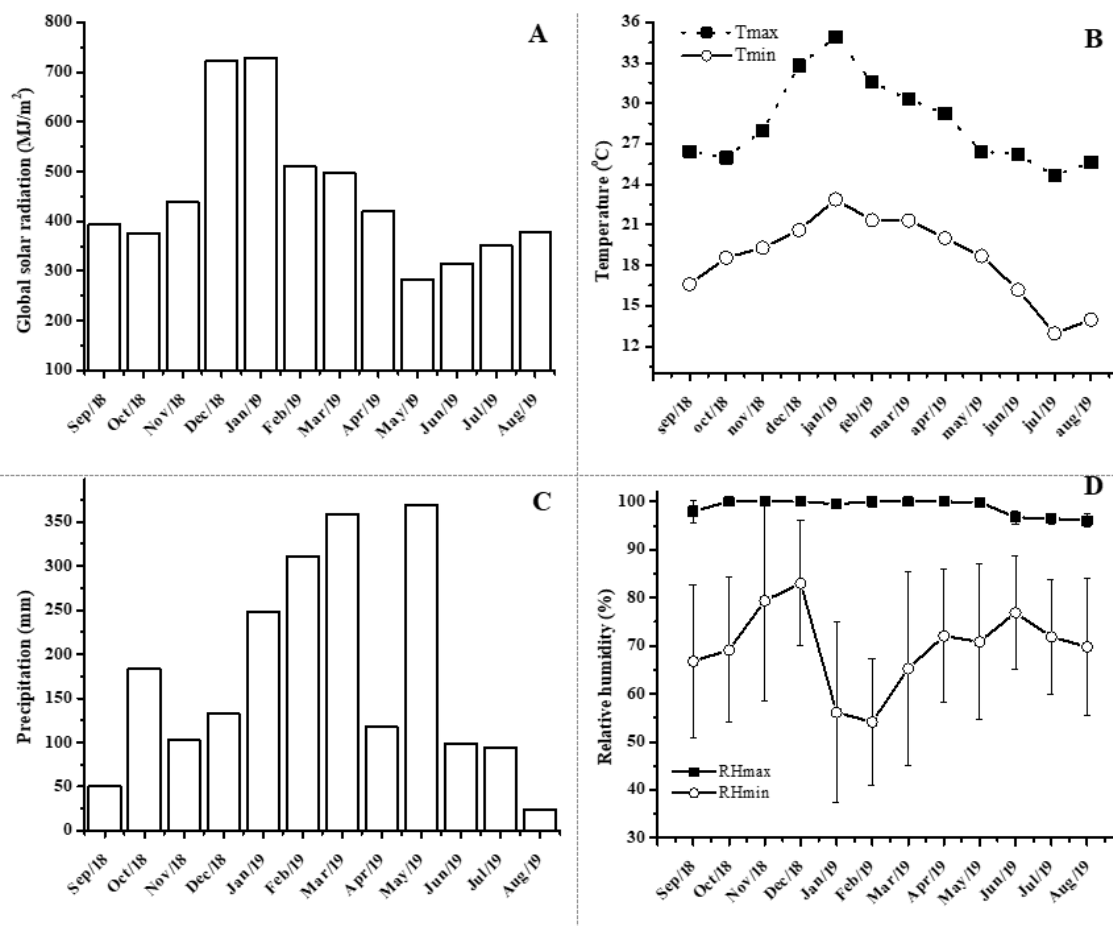


Figura 4. Variables climáticas en el período experimental.

Las temperaturas límite para el crecimiento del banano, que son de 15 y 38 °C (Robinson y Saúco, 2011), fueron superadas por el límite mínimo en septiembre de 2018 y de junio a agosto de 2019, debido a muchos frentes fríos (Figura 4B). La precipitación fue de 2 090 mm año⁻¹ (Figura 4C), mal distribuida. En septiembre de 2018 y agosto de 2019, el volumen de lluvia no superó los 100 mm mes⁻¹ indicados como adecuados (Robinson y Saúco, 2011), mientras que, en enero, febrero, marzo y mayo de 2019, la precipitación fue al menos el doble de lo necesario. La humedad relativa (HR) en la región es alta debido a sus temperaturas cálidas y cuerpos de agua circundantes (Figura 4D). La HR_{máx} varió ligeramente, de 95.2 a 98.71, mientras que la HR_{mín}, un poco más, de 50.68 a 76.29%, alcanzando valores más bajos en enero y febrero de 2019, coincidiendo con Rad, T_{máx} y T_{mín} más altos.

La asfixia puede asociarse principalmente con baja temperatura (Figura 4B) combinada con baja disponibilidad de radiación (Figura 4A), pero también con sequía y precipitación excesiva (Figura 4C). La reducción en el número de manos por racimo (Figura 3E) indica una reducción en el rendimiento, se debe a la disminución en el número de lóculos de flores femeninas (Turner y Lahav, 1983) que ocurrió al menos tres meses antes (Robinson y Saúco, 2011). En este experimento, los frutos torcidos y de diferentes tamaños en el racimo se presentaron, respectivamente, en 21.67, 60.83 y 17.52% de las plantas sintomáticas (Figura 2).

Estos cambios se asocian a la baja temperatura durante el proceso de diferenciación del fruto que induce alteraciones en su morfogénesis (Turner, 1995). Los cambios en el posicionamiento de las hojas, que se vuelven más verticales (entrenudos más cortos) y la pérdida de filotaxis espiral, más horizontales provocan una reducción en la producción de fotoasimilados y contribuyen a una reducción en el crecimiento de los frutos. El aborto de racimo solo se detectó en abril de 2019 (1.66% de las plantas).

Estado nutricional de las plantas y asfixia

Se encontró que diez de los once nutrientes analizados estuvieron por debajo del valor de referencia, en al menos un mes. El Mn fue el elemento cuyo contenido foliar siempre fue adecuado. Esto sugiere que la privación nutricional puede contribuir a la ocurrencia de la asfixia. Sin embargo, sólo P, Ca y Fe exhibieron diferentes niveles entre plantas con síntomas y sin síntomas ($p < 0.05$) (Figuras 5 y 6). El contenido de N en muchos meses estuvo por debajo del valor de referencia para floración (Figura 5A). A pesar del alto contenido de P en el suelo, las plantas mostraron niveles más bajos que los valores de referencia de octubre a enero.

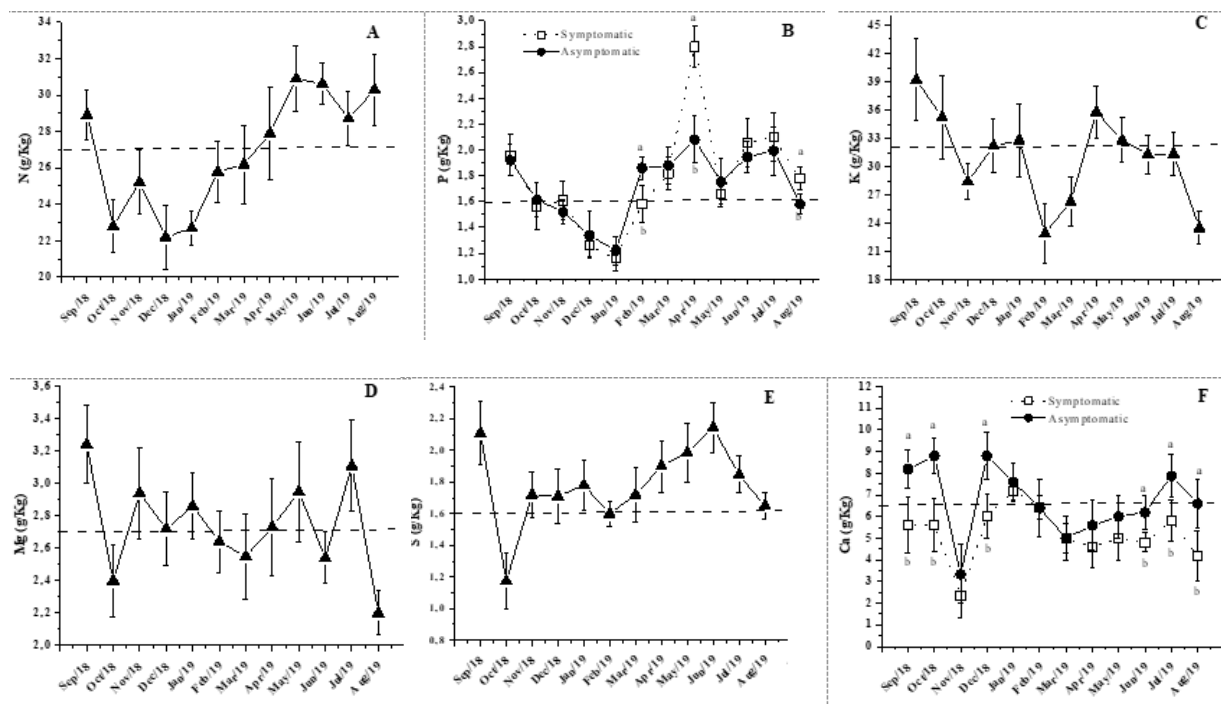


Figura 5. Contenido de macronutrientes (tercera hoja en etapa de floración) en plantas con y sin síntomas de asfixia.

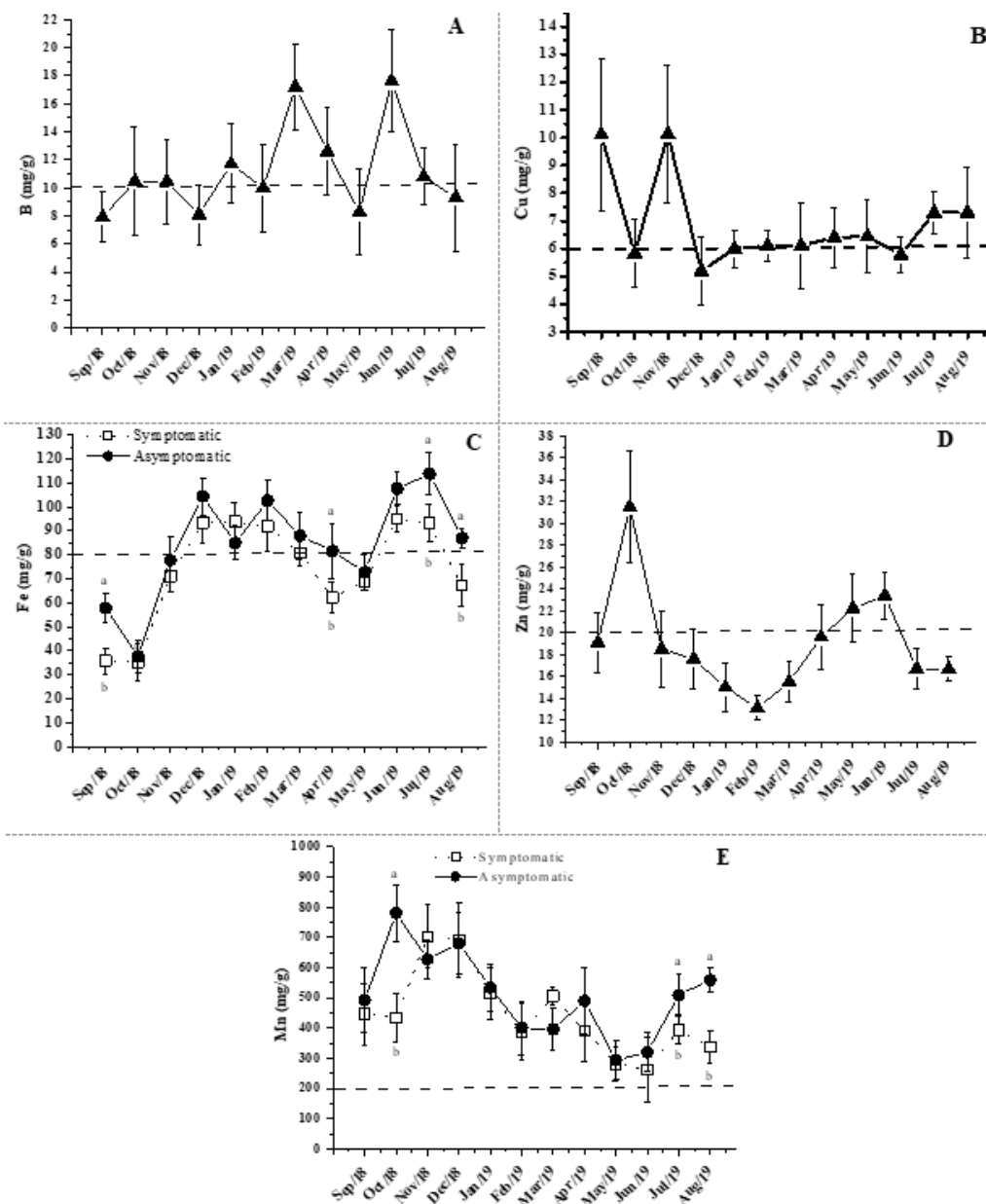


Figura 6. Contenido de macronutrientes (tercera hoja en etapa de floración) en plantas con y sin síntomas de asfixia. La línea discontinua indica el valor de referencia para el cultivar Nanica. Valores medios obtenidos de diez repeticiones. Medias seguidas de una letra diferente son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Hubo diferencias en el contenido de P de las hojas entre plantas con y sin síntomas, pero con respuesta variada, en febrero las plantas con síntomas mostraron un contenido menor, mientras que, en abril y agosto, fue mayor (Figura 5B). En septiembre de 2018, con el inicio de la primavera (Figura 4), las condiciones climáticas favorables estimulan el crecimiento y la demanda de nutrientes en los drenajes, lo que justifica el menor contenido de algunos nutrientes en el tejido foliar, a diferencia de marzo a agosto de 2019 (otoño e invierno) (Figuras 5 y 6).

A pesar de la deficiencia de K, así como de N, pueden inducir asfixia (Robinson y Sáuco, 2011), no hubo diferencia en el contenido de K entre plantas asintomáticas y sintomáticas, el cual estuvo por debajo del valor de referencia en noviembre de 2018, febrero de 2018, marzo de 2018 y agosto de 2019 (Figura 5C), meses con síntomas menos severos de asfixia (Figura 2). El contenido de Mg estuvo significativamente por debajo del valor de referencia en octubre y agosto de 2018 (Figura 5D), mientras que el de S, solo en octubre de 2018 (Figura 5E), debido al cambio de estación para la primavera. Por lo tanto, K, Mg y S no parecen estar relacionados con la asfixia.

El Ca mostró contenidos por debajo del valor de referencia en seis meses evaluados, con diferencias en los niveles entre plantas sintomáticas y asintomáticas ($p < 0.05$) (Figura 5F). Esto concuerda con el hecho de que el 35.27% de las plantas con asfixia exhibieron síntomas de deficiencia de Ca en las hojas jóvenes, como clorosis en el margen de la hoja, engrosamiento del nervio y reducción en el área de la hoja (Freitas *et al.*, 2015). Las regiones meristemáticas requieren grandes cantidades de Ca debido a la formación de la pared celular (Marschner, 2012), al mismo tiempo que tienen pocas estomas.

En las plantas que tienen floración autónoma, como la planta de banano, el Ca es el mensajero secundario en respuesta a la giberelina (GA) que resulta en la elongación del tallo y la emisión floral. En este sentido, el contenido de Ca se asoció a GA en plátano (Hernández *et al.*, 2012). Sin embargo, la longitud del tallo no varió entre plantas asfixiadas y no asfixiadas ($p < 0.05$) (Figura 3). Los bajos contenidos de Ca de marzo a agosto son consecuencia del otoño y el invierno (Figuras 4 y 5). Debido a que no es muy móvil, la distribución de Ca depende mucho de la transpiración (Torres y Castillo, 2013). La alta humedad, la baja temperatura y tasa de transpiración pueden reducir la absorción y translocación de Ca, lo que resulta en una deficiencia (Kumar *et al.*, 2015). La baja radiación también reduce la concentración de Ca en la savia del xilema (Montanaro *et al.*, 2006).

El B mostró un contenido por debajo del valor de referencia en septiembre y diciembre de 2018, mayo y agosto de 2019 (Figura 6A), mientras que Cu solo en diciembre de 2018 (Figura 6B). El contenido de Fe fue mayor en plantas sin síntomas en septiembre de 2018, abril, julio y agosto de 2019 (Figura 6C). No hubo diferencias en los niveles de Zn foliar entre las plantas con y sin síntomas de asfixia ($p < 0.05$) (Figura 6D). Aunque no se observaron síntomas de deficiencia foliar, el Zn tuvo niveles promedio más bajos que el valor de referencia en 9 meses; por lo tanto, fue el nutriente más crítico, con una tendencia a la baja de octubre de 2018 a febrero de 2019 debido a un mayor crecimiento de la planta (Figura 3). Según Mattiello *et al.* (2015), los síntomas visuales de la deficiencia de Zn normalmente se presentan cuando las plantas sufren estrés severo.

La relación entre el Zn y la asfixia es debido a su esencialidad para la síntesis de triptófano, que es un precursor en una de las vías de síntesis de auxinas (AIA) (Torres y Castillo, 2013). El sitio principal de la síntesis de AIA es el meristemo apical, por lo que el Zn debe alcanzar este punto local en la planta. El Zn también está directamente involucrado en la biosíntesis de giberelinas (GA) (Sekimoto *et al.*, 1997). Al mismo tiempo, el AIA ejerce un fuerte efecto sobre los niveles bioactivos de GA (Ross *et al.*, 2018). Esto concuerda con la pérdida de filotaxis espiral, el acortamiento de los entrenudos y con la dificultad en la curvatura del tallo en su protrusión con el racimo, así como la alta incidencia de frutos anormales. El Zn está involucrado en el metabolismo de ácidos nucleicos, carbohidratos y proteínas (Marschner, 2012), otra forma de afectar el crecimiento de plantas y frutos.

Al evaluar plantas con niveles de Zn por debajo del valor de referencia, no se encontraron diferencias en la frecuencia de plantas con y sin síntomas de asfixia en 5 meses (Figura 7A). Esto puede estar relacionado con el hecho de que las plantas sin síntomas demandan más Zn porque tienen una mayor tasa de crecimiento o tamaño. Cuando la condición climática fue favorable para el crecimiento, como de enero a marzo de 2019, todas las plantas evaluadas tuvieron contenidos de Zn por debajo del valor de referencia (Figura 7A). En este período, la T_{máx} fue alta, la HR_{mín} mostró valores mínimos más bajos y la precipitación fue abundante, favoreciendo la transpiración y translocación de nutrientes en el xilema.

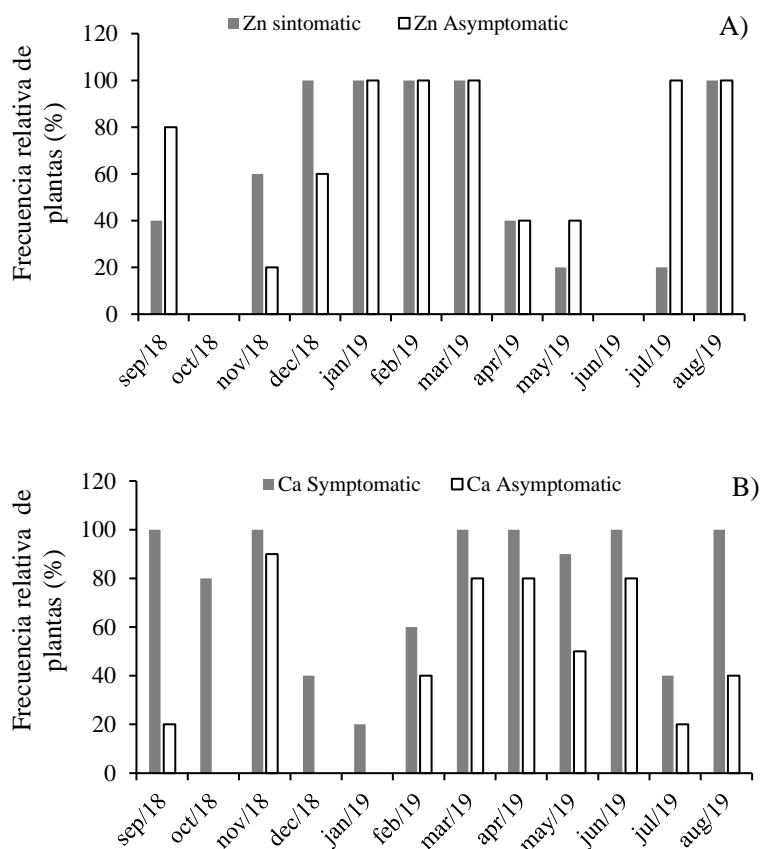


Figura 7. Frecuencia relativa de plantas asfixiadas con contenidos foliares de Zn (A) y Ca (B) por debajo del valor de referencia.

Esto refuerza la hipótesis de que la deficiencia de Zn estuvo más relacionada con la oferta limitada que con la condición climática adversa. La usabilidad del Zn por las plantas disminuye los altos niveles de P en el suelo (Mousavi *et al.*, 2013), condición que se presentó en este estudio. Sin embargo, la deficiencia de Zn aumenta en condiciones climáticas frías y húmedas (Mousavi *et al.*, 2013) y suelos saturados de agua (Hafeez *et al.*, 2013). La aplicación de grandes cantidades de fosfato y materia orgánica al suelo puede inducir la formación de complejos estables entre Ca y P en el suelo, cambiando también la disponibilidad de Ca (Robinson y Sharple, 1996).

La frecuencia de plantas asfixiadas con niveles de Ca por debajo del valor de referencia fue mayor que en plantas asintomáticas (Figura 7B), lo que indica una relación entre la deficiencia y el trastorno fisiológico. En regiones subtropicales, con condiciones climáticas cercanas a la región de

estudio, se reporta deficiencia de Ca en banano debido al crecimiento intenso en verano o primavera (Robinson y Saúco, 2011). Sin embargo, los contenidos más bajos de Ca se presentaron en períodos de menor crecimiento (Figura 5). Las interacciones antagónicas con K, Mg y Mn también afectan el contenido de Ca (Robinson y Saúco, 2011; Marschner, 2012). Aunque el Mn fue abundante en el tejido foliar durante el período experimental, fue menor en las plantas asfixiadas (Figura 6).

La aplicación de grandes cantidades de fosfato junto con materia orgánica al suelo puede cambiar también la disponibilidad de Ca (Robinson y Sharples, 1996), lo que pudo haber ocurrido en el área experimental. En el banano híbrido 'FHIA-18', hubo una respuesta cuadrática del contenido de Ca y Zn foliar con diferentes niveles de fertilización fosfatada (Bolfarini *et al.*, 2020).

Cambios en el nivel de Ca^{+2} celular, que funciona como mensajero en la modulación de diversos procesos que son importantes para la adaptación al estrés (sequía, frío, calor, inundación, sal y viento) (Reddy *et al.*, 2011). Se consideró un biomarcador en la respuesta y adaptación a ambientes fríos en los cultivares de banano Grand Naine y Williams (El-Mahdy *et al.*, 2018). Las respuestas de las plantas al frío pueden haber sido afectadas ya que la menor Tmín (Figura 4B) se presentó con menores contenidos de Ca en las hojas, especialmente en plantas asfixiadas (Figura 5).

El contenido promedio de P foliar en abril de 2019 fue muy alto en plantas asfixiadas, pero no hay subsidios que sugieran el exceso de P. Marschner (2012) menciona que el exceso de P en la planta puede imponer una deficiencia fisiológica de Zn, debido a la menor disponibilidad de Zn soluble. El Ca y Zn participan en el crecimiento y los mecanismos de respuesta al estrés. Es probable que las plantas deficientes en Zn, debido a que tienen niveles endógenos menores de AIA, tengan una respuesta limitada a diferentes tipos de estrés abiótico (Raja *et al.*, 2017), algunos mediados por Ca (Reddy *et al.*, 2011). Al mismo tiempo, las plantas deficientes en Ca tendrán cambios en el proceso de homeostasis de Ca^{+2} que pueden impactar en la absorción de AIA y, en consecuencia, en su acción (Reddy *et al.*, 2011).

Las plantas deficientes en Ca y Zn tampoco protegerán los componentes celulares de la oxidación por sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ERO), debido al cambio en la cascada de señalización ERO- Ca^{+2} (Savvides *et al.*, 2016) y la menor síntesis de Cu/Zn-superóxido dismutasa (SOD) (Mattiello *et al.*, 2015). El Zn también forma parte de diferentes proteínas de dedo de zinc que contribuyen significativamente a la protección contra una variedad de estreses ambientales (Raja *et al.*, 2017), expresados en *Musa* sp. (Sreedharan *et al.*, 2012).

Conclusiones

Para las condiciones experimentales evaluadas, la asfixia no afecta el crecimiento de las plantas, solo el número de manos por racimo y la calidad de los frutos. Se presentó durante todo el año, con predominio de síntomas severos de abril a junio debido a una reducción de la temperatura y radiación. El trastorno fisiológico estuvo relacionado con deficiencias de Ca y Zn.

Agradecimientos

Al CNPq/PIBIC, por otorgar beca al segundo autor; al bananero João Evangelista Costa, por la cesión del área; a José Carlos de Mendonça (COMTÉCNICA) y José Alberto dos Santos (APTA), por el apoyo técnico.

Literatura citada

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M. and Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeit.* 22(6):711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Bahadur, L.; Anmol, D. S. and Singh, S. K. 2020. A review on successful protected cultivation of banana (*Musa*). *Plant arch.* 20(2):1570-1573.
- Bataglia, O. C.; Furlani, A. M. C.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R. y Gallo, J. R. 1983. Métodos de análise química de plantas. Campinas, IAC. Boletim técnico 78. 48 p.
- Bolfarini, A. C. B.; Putti, F. F.; Souza, J. M. A.; Silva, M. S.; Ferreira, R. B.; Leonel, M. and Leonel, S. 2020. Yield and nutritional evaluation of the banana hybrid 'FHIA-18' as influenced by phosphate fertilization. *J. Plant Nutr.* 1(9):1-12. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1727503>.
- Borges, A. L.; Silva, S. O.; Caldas, R. C. and Ledo, C. A. S. 2006. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. *Rev. Bras. Frutic.* 28(2):314-318. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000200036>.
- Donato, S. L. R.; Arantes, A. M.; Coelho, E. F. and Rodrigues, M. G. V. 2015. Considerações ecofisiológicas e estratégias de manejo da bananeira. *In: simpósio brasileiro sobre bananicultura, epamig, belo horizonte.* 1-32 pp.
- El-Mahdy, M. T.; Youssef, M. and Eissa, M. A. 2018. Impact of *in vitro* cold stress on two banana genotypes based on physio-biochemical evaluation. *S. Afr. J. Bot.* 119:219-225. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.09.014>.
- Embrapa. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3th (Ed.). Rio de Janeiro: embrapa solos. 353 p.
- Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec.* 35(6):1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- Freitas, A. S.; Pozza, E. A.; Oliveira, M. G. F.; Silva, H. R.; Rocha, H. S. and Galvão, L. R. 2015. Impact of nutritional deficiency on yellow sigatoka of banana. *Australas. Plant Pathol.* 44:583-590. <https://doi.org/10.1007/s13313-015-0371-6>.
- Hafeez, B.; Khanif, Y. M. and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *Am. J. Exper. Agri.* 3(2):374-391. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2013/2746>.
- Hernández, Y.; Villa, N.; Fournul, G. and De-Cruz, J. 2012. Niveles de giberelinas endógenas y elementos minerales durante la transición floral en plátano (*Musa AAB*) cv Hartón. *Rev. Fac. de Agron.* 29(1):1-19.
- Iqbal, M. 1983. An introduction to solar radiation. Canada: academic press. 390 p.
- Kumar, A.; Singh, U. M.; Manohar, M. and Gaur, V. S. 2015. Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism(s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. *Acta Physiol. Plant.* 37(1):1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1722-6>.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd (Ed.). London. Elsevier. 651 p.
- Mattiello, E. M.; Ruiz, H. A.; Neves, J. C. L.; Ventrella, M. C. and Araújo, W. L. 2015. Zinc deficiency affects physiological and anatomical characteristics in maize leaves. *J. Plant. Physiol.* 183:138-143. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.014>.
- Moreira, R. S. 1999. Banana: teoria e prática de cultivo. 2nd São Paulo: Fundação Cargill. CD-ROM.

- Montanaro, G.; Dichio, B.; Xiloyannis, C. and Celano, G. 2006. Light influences transpiration and calcium accumulation in fruit of kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa var deliciosa*). Plant Sci. 170(3):520-527. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.039>.
- Mousavi, S. R.; Galavi, M. and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production-a review. Int. J. Agron. Plant Prod. 4(1):64-68.
- Nansamba, M.; Sibiyi, J.; Tumuhimbise, R.; Karamura, D.; Kubiriba, J. and Karamura, E. 2020. Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: a review. Plant Breed. 139(4):685-696. <https://doi.org/10.1111/pbr.12812>.
- Panigrahi, N.; Thompson, A. J.; Zobelzu, S. and Knox, J. W. 2021. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. Sci. Hort. 276:109735. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>.
- Pua, T. L.; Tan, T. T.; Jalaluddin, N. S. M.; Othman, R. Y. and Harikrishna, J. A. 2019. Genetically engineered banana from laboratory to deployment. Ann. Appl. Biol. 175(3):282-301. <https://doi.org/10.1111/aab.12538>.
- Ravi, I. and Vaganan, M. M. 2016. Abiotic stress tolerance in banana. In: rao, N. K. S.; Shivashankara, K. S. and Laxman, R. H. (Ed.). Abiotic stress physiology of horticultural crops. New delhi, springer. 207-222 pp.
- Raja, V.; Majeed, U.; Kang, H.; Andrabi, K. I. and John, R. 2017. Abiotic stress: interplay between ROS, hormones and MAPKs. Environ. Exp. Bot. 137:142-157. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.010>.
- Reddy, A. S. N.; Ali, G. S.; Celesnik, H. and Day, I. S. 2011. Coping with stresses: roles of calcium- and calcium/calmodulin-regulated gene expression. Plant Cell. 23(6):2010-2032. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084988>.
- Robinson, J. S. and Sharpley, A. N. 1996. Reaction in soil of phosphorus released from poultry litter. Soil. Sci. Soc. Am. J. 60(5):1583-1588.
- Robinson, J. C. and Saúco, V. G. 2011. Plátanos y bananas, 2nd (Ed.). Madrid: Editora Mundi-Prensa. 321 p.
- Ross, J. J.; Miraghazadeh, A.; Beckett, A. H.; Quittenden, L. J. and McAdam, E. L. 2018. Interactions between gibberellin and other hormones. Ann. Plant Rev. 49:229-252. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0537>.
- Sekimoto, H.; Hoshi, M.; Nomura, T. and Yokota, T. 1997. Zinc deficiency affects the levels of endogenous gibberellins in *Zea mays* L. Plant Cell Physiol. 38(9):1087-1090. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029276>.
- Savvides, A.; Ali, S.; Tester, M. and Fotopoulos, V. 2016. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? trends. Plant. Sci. 21(4):329-340. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.003>.
- Sreedharan, S.; Shekhawat, U. K. and Ganapathi, T. R. 2012. MusaSAP1, an A20/AN1 zinc finger gene from banana functions as a positive regulator in different stress responses. Plant. Mol. Biol. 80(4):503-17. <https://doi.org/10.1007/s11103-012-9964-4>.
- Torres, J. D. S. y Castillo, J. J. M. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Medellín. Augura. 235 p.
- Turner, D. W. and Lahav, E. 1983. The growth of banana plants in relation to temperature. Aust. J. Plant Physiol. 10(1):43-53.
- Turner, D. W. 1995. The response of the plant to the environment. In: Gowen, S.R. (Ed.). Bananas and plantains. Chapman & Hall, London. 206-229 pp.
- Youssef, M. A. and Eissa, M. A. 2017. Comparison between organic and inorganic nutrition for tomato. J. Plant Nutr. 40(13):1900-1907. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1270309>.