



Inyección de nutrientes: una técnica eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo de plátano (*Musa AAB*)¹

Nutrient injection: an efficient technique to increase plantain (*Musa AAB*) crop yield

*Elías Alexander Silva-Arero*², *William Andrés Cardona*², *Martha Marina Bolaños-Benavides*²,
*Huberto Morales-Osorno*³

- ¹ Recepción: 26 de agosto, 2021. Aceptación: 18 de enero, 2022. Este trabajo hizo parte del proyecto “Validación de estrategias tecnológicas disponibles para los cultivos de plátano y yuca, mediante la implementación de la metodología PIPA en el departamento de Cundinamarca” llevado a cabo en los municipios de Chaguaní y Viotá (Cundinamarca), en año 2018.
- ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. esilva@agrosavia.co, easilvaa@outlook.com (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-7075-1318>), wcardona@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-9610-4135>), mmbolanos@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-4593-5523>).
- ³ Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Seccional Armenia, Quindío, Colombia. huberto.morales@ica.gov.co (<https://orcid.org/0000-0002-1754-8182>).

Resumen

Introducción. Existen métodos alternativos de fertilización como la inyección de fertilizantes al seudotallo que presenta mayor eficiencia que la fertilización edáfica tradicional. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la fertilización edáfica e inyección de nutrientes sobre variables morfológicas y peso del racimo de plátano en suelos de fertilidad variable. **Materiales y métodos.** Se establecieron dos experimentos en los municipios de Viotá y Chaguaní, Cundinamarca, Colombia, en 2018. Se usó un diseño completamente aleatorizado en arreglo bifactorial. Los dos experimentos fueron: Experimento A: dos localidades y dos tipos de fertilización (tradicional y química edáfica) y Experimento B: dos localidades y cuatro soluciones nutritivas (una a base de aminoácidos y otra con nutrientes, ambas en dos proporciones) más un testigo. Las variables de respuesta fueron: peso de racimo, días de floración a cosecha, diámetro y longitud externa del dedo central. **Resultados.** La fertilización edáfica orgánica en el suelo de Chaguaní no tuvo efecto sobre el peso del racimo en comparación con las fuentes químicas. En Viotá, la fertilización edáfica química incrementó el peso del racimo en comparación con la fertilización tradicional. Esta respuesta diferencial se explica porque en Chaguaní el suelo presentó mayor capacidad de intercambio, contenido de nutrientes y carbono orgánico. Las plantas sembradas en Chaguaní produjeron racimos de mayor peso (21,6 kg) en comparación con Viotá (19,0 kg), pero los dedos del racimo fueron más cortos en esta localidad. La inyección de nutrientes en ambas localidades incrementó el rendimiento del cultivo del plátano en comparación con el testigo sin inyección. **Conclusiones.** Una dosis baja de fertilizante en el suelo de alta fertilidad generó un efecto similar en la producción de plátano registrada en el suelo de baja fertilidad que recibió una dosis alta de fertilizante. La inyección de soluciones nutritivas se debe validar como alternativa complementaria a la fertilización edáfica tradicional.

Palabras clave: fertilización edáfica, aminoácidos, estimulante, racimo.



Abstract

Introduction. There are alternative fertilization methods such as fertilizer injection to the pseudostem that present greater efficiency than traditional edaphic fertilization. **Objective.** To evaluate the effect of soil fertilization and nutrient injection on morphological variables and bunch weight of the plantain in soils of variable fertility. **Materials and methods.** Two experiments were established in the municipalities of Viota and Chaguaní, Cundinamarca, Colombia, in 2018. A completely randomized design in bifactorial arrangement was used. The two experiments were: Experiment A: two locations and two types of fertilization (traditional and soil chemistry) and Experiment B: two locations and four nutritive solutions (one based on amino acids and another one with nutrients, both in two proportions) and a control. The response variables were: bunch weight, days from flowering to harvest, diameter, and external length of the central finger. **Results.** Organic edaphic fertilization in Chaguaní soil had no effect on bunch weight compared to chemical sources. In Viotá, soil chemistry fertilization increased bunch weight compared to the use of traditional soil fertilization. This differential response is explained by the fact that in Chaguaní the soil had a higher exchange capacity, nutrient content, and organic carbon. The plants planted in Chaguaní produced heavier bunches (21.6 kg) compared to Viotá (19.0 kg), but in the last one the fingers of the bunch were shorter. The nutrient injection in both locations increased the plantain crop yield compared to the control without injection. **Conclusions.** A low dose of fertilizer in the high fertility soil had a similar effect on plantain production recorded in the low fertility soil that received a high dose of fertilizer. The injection of nutritive solutions should be validated as a complementary alternative to the traditional soil fertilization.

Keywords: soil fertilization, amino acids, stimulants, bunch.

Introducción

En conjunto, el plátano (*Musa AAB*) y el banano (*Musa AAA*) son el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial (Susan Tepetlan et al., 2017), del total de producción, el plátano representa el 17 % (Soto, 2011). En Colombia se destina para consumo interno y exportación, además es considerado una fuente importante de alimento, ingresos y empleo para familias pertenecientes a la producción campesina tradicional (Pabón Pedraza, 2017).

La fertilidad del suelo y el manejo de nutrientes es uno de los factores de mayor impacto en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Nair, 2018). La gestión eficaz de los nutrientes requiere la cuantificación de las necesidades nutricionales de las plantas y del suministro de nutrientes con base en un diagnóstico de la fertilidad del suelo (Havlin & Heiniger, 2020). El análisis de suelo es importante para evaluar su capacidad inherente de suministrar nutrientes a las plantas, esta herramienta permite hacer recomendaciones de fertilización más eficientes que elevan o mantienen el nivel de concentración de nutrientes en la solución del suelo, evita riesgo de deficiencias nutricionales en los cultivos y reduce la lixiviación de nutrientes (Bhatt & Sharma, 2014).

Las recomendaciones de fertilización basadas en el análisis del suelo están bien establecidas y son confiables (Havlin et al., 2013); considerándose como una fuente valiosa para la toma de decisiones, debido a que permite conocer si hay alta, media o baja disponibilidad de nutrientes y así determinar si la aplicación de estos va a tener una respuesta positiva, neutra o negativa en el crecimiento y/o rendimiento del cultivo (Horneck et al., 2011). La fertilización de mantenimiento, en suelos con contenidos normales o altos de fósforo, tiene por objetivo mantener la fertilidad del suelo y debe coincidir con las extracciones de los cultivos siempre que el pH se aproxime a la neutralidad (García-Serrano Jiménez et al., 2009). Según Macnack et al. (2017), una suposición del concepto de mantenimiento es que no habrá cambios en los valores iniciales de la fertilidad del suelo, si se suministra la cantidad de nutrientes que se perderán en la cosecha de cada cultivo.

En la actualidad, se prevé que para incrementar el rendimiento de los cultivos se requiere mayor consumo de fertilizantes, lo que implica mayor impacto ambiental. Sin embargo, en cultivos como arroz, maíz y trigo, se ha comprobado que con las políticas adecuadas y el uso de innovaciones tecnológicas es posible lograr mayores rendimientos, inclusive reduciendo el uso de fertilizantes (Ritchie, 2021). Se ha demostrado que la tasa de absorción de nutrientes como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) aplicados a través de los fertilizantes edáficos granulados, puede ser poco eficiente y debe mejorarse (Singh et al., 2010). Entre las causas de la baja eficiencia están: problemas de compatibilidad entre las fuentes seleccionadas o de calidad de estas (Guerrero Riascos, 2004), escurrimiento superficial, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de elementos en el suelo por un pH muy ácido o alcalino (Singh et al., 2019). Para disminuir los riesgos anteriores, el suministro de nutrientes a los cultivos se puede optimizar mediante las mejores prácticas de manejo de la fertilización que impliquen un suministro de nutrientes en la dosis, el momento, la fuente y el lugar correctos (Panhwar et al., 2019). Es así que, la implementación de otros métodos y/o tecnologías de fertilización, se convierten en una solución tanto al problema de baja eficiencia de los fertilizantes como a la necesidad de mayor rendimiento y menor impacto ambiental.

Existen métodos complementarios o sustitutos a la fertilización granulada edáfica que son más eficientes para la toma de nutrientes, más oportunos de aplicar en momentos críticos de alta demanda e incrementan el rendimiento; entre ellos están la fertilización foliar (Ruan & Gerendas, 2015) o el fertirriego (Mattos et al., 2020; Shetty et al., 2015; Senthilkumar et al., 2017). También existen otros métodos alternativos como la inserción directa de fertilizantes granulados en los haces vasculares delseudotallo, que han sido evaluados en banano y plátano con el fin de incrementar la eficiencia de los fertilizantes en comparación con la fertilización edáfica tradicional (Galvis et al., 2013; Labarca et al., 2005).

En musáceas, así como en otros frutales, se ha desarrollado un método alternativo de fertilización denominado inyección, el cual se basa en la aplicación de nutrientes o bioestimulantes de forma directa al xilema de la planta, para luego ser movilizados a zonas de mayor demanda (Alayón Luaces et al., 2015; Gómez Alvarado, 2017; Sánchez Saltos, 2020; Shaaban, 2009). En la savia del xilema se movilizan azúcares, agua y nutrientes en forma libre o en compuestos, por ejemplo, el N puede ser movilizado en forma de Nitrato (NO_3^-) o de aminoácidos (a.a.), estos elementos o compuestos son transportados a diferentes órganos de la planta donde desempeñan una función biológica específica (Marschner, 2012; Tegeder & Masclaux, 2017). La movilidad de nutrientes y moléculas vía xilemática, hace posible que sean suministrados mediante este método alternativo de fertilización. Además, Jahanshah et al. (2016) concluyeron que la inyección en el tronco es un método más eficiente para la fertilización con hierro, lo que aumenta de forma significativa los sólidos solubles totales, el porcentaje de cuajado, el peso del fruto, el peso de la pulpa, el tamaño del fruto, azúcares totales, reductores y no reductores de palmeras datileras cv. Kabkab crecidas en suelos calcáreos (Abdi & Hedayat, 2010).

La inyección de soluciones nutritivas hace un menor uso de insumos, debido a que posibilita un suministro directo de nutrientes y evita las pérdidas por factores climáticos o edáficos como la lixiviación por lluvia (Gómez Alvarado, 2017). Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización edáfica granulada y la inyección de nutrientes y aminoácidos alseudotallo en variables morfológicas y peso del racimo en plantas de plátano sembradas en suelos de alta y baja fertilidad.

Materiales y métodos

La investigación la realizó la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en 2018, en cultivos de plátano clon Dominico Hartón, ubicados en dos municipios del departamento de Cundinamarca, Colombia. El primer cultivo estaba localizado en el municipio de Viotá a 1460 m de altitud, temperatura promedio de 25 °C, precipitación anual acumulada de 1473 mm y 80 % de humedad relativa; el segundo estaba localizado en

el municipio de Chaguaní a 1587 m de altitud; temperatura promedio de 22,3 °C, precipitación de 1534 mm año y humedad relativa de 93 %.

En cada localidad se tomó una muestra representativa del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, según la guía de toma de muestras de suelo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2021), las cuales fueron llevadas al laboratorio de química analítica de AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá, donde fueron procesadas para los siguientes análisis: carbono orgánico (Walkley and Black), P (Bray II), S (fosfato monobásico de calcio), bases de cambio (acetato de amonio 1N pH 7), Fe, Mn, Zn y Cu (Olsen), B (fosfato monobásico de calcio o agua caliente) y conductividad eléctrica (lectura directa mediante potenciómetro en relación 1:5). Según los resultados del análisis de suelo, cada localidad fue categorizada como de alta o baja fertilidad. En ambas localidades se instalaron dos experimentos, el primero (Experimento A) buscó comparar el rendimiento de plantas de plátano fertilizadas de forma tradicional (cuya dosis y frecuencia se basan en la experiencia y conocimiento empírico del agricultor) en contraste con los planes de fertilización edáfica que tomaron en cuenta los contenidos de nutrientes reportados en el análisis de suelo y los requerimientos nutricionales del plátano. El segundo experimento (Experimento B) fue llevado a cabo para conocer el efecto de la inyección de soluciones nutritivas en el crecimiento del racimo de plátano.

Experimento A

A partir del grado de fertilidad del suelo de alta y baja fertilidad (SAF y SBF, respectivamente) se evaluaron dos planes de fertilización edáfica en cada cultivo, el primero consistió en la fertilización tradicional del productor (testigo relativo, FT) y el segundo en la aplicación de fertilización química con base en los contenidos de nutrientes del suelo (FQ) (Cuadro 1). Los fertilizantes se aplicaron en banda a veinte plantas por tratamiento en cada localidad. Se seleccionaron plantas que tuvieran nueve semanas después de la emergencia floral (belloteo) y sin presencia de arvenses, a las cuales les faltaban nueve semanas para ser cosechadas; se les evaluó su producción en término de peso fresco del racimo. Se usó un testigo relativo con aplicación de fertilizante químico u orgánico y no uno absoluto (sin fertilizante) por el riesgo económico que implicaba para el pequeño agricultor no fertilizar 40 plantas.

Cuadro 1. Planes de fertilización aplicados para evaluar el efecto de la fertilización edáfica en el peso del racimo en plantas de plátano (*Musa AAB*) en Chaguaní y Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Table 1. Fertilization plans applied to evaluate the effect of soil fertilization on the bunch weight in plantain (*Musa AAB*) plants in Chaguaní and Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Localidad	Tratamiento	MO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	B	Zn	Mn
		kg ha ⁻¹ (1666 plantas/ha)									
Chaguaní	Fertilización química edáfica*	0	10	8,5	18,5	0,8	0	0,7	0	0	0
(SAF)	Fertilización tradicional	45 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viotá	Fertilización química edáfica	0	165	79	540	45	15	15	3	6	7,5
(SBF)	Fertilización tradicional	0	150	150	150	0	0	0	0	0	0

*Fertilización de mantenimiento, dado los altos contenidos de nutrientes en esta localidad. Suelo de alta y baja fertilidad (SAF y SBF, respectivamente). / *Maintenance fertilization, given the high nutrient content in this locality. Soil of high and low fertility (SAF and SBF, respectively).

Experimento B

Para complementar los resultados del experimento A, se planteó una estrategia alterna de fertilización que consistió en la inyección de dos soluciones de fertilizantes al seudotallo del plátano: la primera a base de aminoácidos (AA) y la segunda solución con nutrientes (Nutri) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de las soluciones nutritivas inyectadas al seudotallo en plantas de plátano (*Musa AAB*) en Chaguaní y Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Table 2. Composition of the nutritive solutions injected into the pseudostem in plantain (*Musa AAB*) plants in Chaguaní and Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Solución	Composición (mg kg ⁻¹)										
	N _{Total}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Zn	Fe	Mn	a.a. *
AA	11 925	0	6850	1218	233	0	0	13	435	7	20 700
Nutri	875	69 500	77 000	298	2950	2238	3750	3925	15	10	0

*a.a.: aminoácidos. / *a.a.: amino acids.

Se evaluaron dos dosis por cada solución, más un testigo sin inyección (Cuadro 3) para un total de cinco tratamientos por localidad. Cada tratamiento contó con cuatro plantas. Las dosis y concentraciones de las soluciones fueron fijadas con base en referentes de composición y dosificación de productos comerciales que actualmente se usan en la fertilización foliar, así como pruebas previas de inyección en plantas de plátano.

Cuadro 3. Dosis utilizadas en los tratamientos del experimento de inyección de las soluciones nutritivas inyectadas al seudotallo en plantas de plátano (*Musa AAB*) en Chaguaní y Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Table 3. Doses used in the treatments of the injection experiment of the nutritive solutions injected into the pseudostem in plantain (*Musa AAB*) plants in Chaguaní and Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Localidad	Solución	Dosis (ml planta ⁻¹)	Tratamiento
Chaguaní	Testigo	Sin inyección	C-T-0
	AA	20	C-AA-20
	AA	40	C-AA-40
	Nutri	12	C-Nutri-12
	Nutri	24	C-Nutri-24
Viotá	Testigo	Sin inyección	V-T-0
	AA	20	V-AA-20
	AA	40	V-AA-40
	Nutri	12	V-Nutri-12
	Nutri	24	V-Nutri-24

Las inyecciones se hicieron en plantas que tuvieran ocho semanas después de floración con el fin de hacer la aplicación en el momento de la mayor ganancia de peso seco del racimo (Castillo González et al., 2011; Cayón

Salinas, 2004; Chaves et al., 2009). Así mismo, se buscó garantizar que la solución llegara a los vasos del xilema y luego fuera absorbida, por lo tanto, la inyección se aplicó a una altura de 1 m del suelo con un ángulo entre 45° a 60° y la dosis en cada planta fue dividida en dos (Figura 1), con una inyección por cada lado de la planta con 50 % de la dosis reportada en el Cuadro 4.

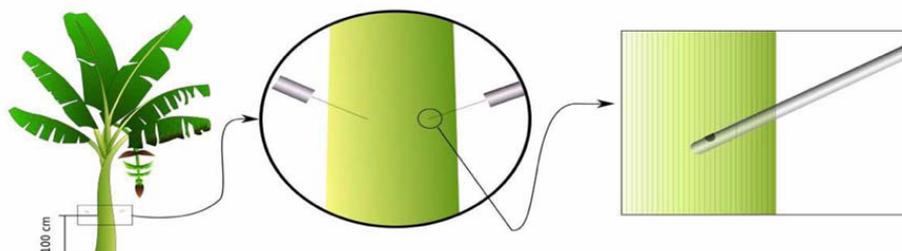


Figura 1. Inyección de soluciones de fertilizantes en el pseudotallo del plátano (*Musa AAB*) en Chaguaní y Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Figure 1. Injection of fertilizer solutions in the plantain (*Musa AAB*) pseudostem in Chaguaní and Viotá, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Cuadro 4. Características químicas del suelo de Chaguaní y Viotá. Laboratorio de química analítica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Table 4. Chemical characteristics of the soil in Chaguaní and Viotá. Analytical chemistry laboratory of the Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria - AGROSAVIA, Tibaitata Research Center, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Parámetro*	Unidad	Chaguaní	Viotá	Parámetro	Unidad	Chaguaní	Viotá
pH	Adimensional	5,74	5,10	Fe	mg kg ⁻¹	42,28	300,83
CE	dS m ⁻¹	1,13	0,30	Mn	mg kg ⁻¹	6,53	3,18
CO	g/100g	15,15	8,36	Zn	mg kg ⁻¹	30,79	4,63
K	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	2,22	0,08	Cu	mg kg ⁻¹	8,60	2,21
Ca	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	18,49	2,73	B	mg kg ⁻¹	0,30	0,22
Mg	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	4,49	0,52	CICE	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	25,30	4,23
Al	mg kg ⁻¹	0,00	0,78	Sat. Ca	%	73,00	70,00
(Al)	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0,00	0,59	Sat. Mg	%	18,00	13,00
P	mg kg ⁻¹	137,06	16,24	Sat. K	%	9,00	2,00
S	mg kg ⁻¹	41,81	10,74	Sat. Na	%	0,40	3,00
Na	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0,10	0,12	Sat. Al	%	0,00	15,00

*CE: conductividad eléctrica; CO: carbono orgánico; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Al: aluminio; (Al): acidez intercambiable; P: fósforo; S: azufre; Na: sodio; Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; Sat.: saturación; CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva / *CE: electrical conductivity; CO: organic carbon; K: potassium; Ca: calcium; Mg: magnesium; Al: aluminum; (Al): exchangeable acidity; P: phosphorus; S: sulfur; Na: sodium; Fe: iron; Mn: manganese; Zn: zinc; Cu: copper; B: boron; Sat.: saturation; CICE: effective cation exchange capacity.

Las plantas del experimento B fueron llevadas hasta cosecha, donde se evaluó el peso fresco del racimo y las variables morfológicas: días de floración a cosecha, diámetro y longitud externa del dedo central de la tercera mano.

A las plantas de ambos experimentos se les removió la parte distal de la inflorescencia (bellota) y se dejó solo 5 manos para el proceso de llenado, además los racimos fueron embolsados.

Análisis estadístico

Para el experimento A se usó un diseño completamente al azar en un arreglo bifactorial 2x2 (dos localidades y dos tipos de fertilización), donde se anidó la fertilización a la localidad, con 20 repeticiones por tratamiento. En el experimento B se implementó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo bifactorial 2x5 (2 localidades y cinco soluciones inyectadas), con cuatro repeticiones. Cuando se presentó interacción entre la localidad y la solución inyectada en el experimento 2, se realizó un nuevo modelo donde se trató a cada tratamiento dentro de cada localidad de forma independiente y de no presentarse diferencias significativas entre los tratamientos dentro de cada localidad, se realizó un modelo que solo comparara las diferencias entre localidades. Se utilizaron las librerías Agricolae y Normtest en el programa estadístico R versión 1.4.1717 para realizar el análisis de varianza de los datos y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) (de Mendiburu, 2015). Los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de datos se cumplieron.

Resultados

Con base en los contenidos de nutrientes reportados en los resultados del análisis, el suelo de la localidad de Chaguaní se clasificó de alta fertilidad (SAF), mientras que el suelo de la localidad de Viotá se clasificó de baja fertilidad (SBF) (Cuadro 4).

Los análisis de suelo evidenciaron que la localidad de Chaguaní presentó mayores valores de capacidad de intercambio catiónico efectiva, equivalentes al +500 % con respecto a los valores registrados en el suelo de la localidad de Viotá; lo mismo sucedió para el contenido de K (+2680 %), Ca (+580 %), Mg (+760 %), P (+740 %), S (+290 %), Mn (+110 %), Zn (+570 %), Cu (+290 %) y B (+40 %), mientras que el carbono orgánico fue 80 % superior.

El Fe y Na fueron los únicos nutrientes con menores contenidos en Chaguaní que en Viotá, con valores de -10 % y -90 %, respectivamente (Cuadro 4).

Experimento A

En el cultivo sembrado en el suelo SAF (Chaguaní) no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) en el peso del racimo entre las plantas fertilizadas de forma tradicional mediante el uso de materia orgánica y las aplicaciones de fertilizantes de síntesis química con base en los contenidos de nutrientes del suelo (FQ). Las plantas del suelo SBF (Viotá) presentaron un incremento significativo ($p \leq 0,01$) en el peso del racimo con la fertilización química con base en el análisis de suelo en comparación con las plantas que recibieron la fertilización tradicional (Figura 2).

Experimento B

Hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las dos localidades y entre las soluciones inyectadas en la variable peso de racimo (Figura 3), sin presentarse interacción entre estos dos factores. La inyección de nutrientes y aminoácidos en las dosis evaluadas en las dos localidades incrementó el rendimiento de las plantas en comparación con el testigo sin inyección, pero no hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las dosis de ambas soluciones inyectadas (AA y Nutri) (Figura 3).

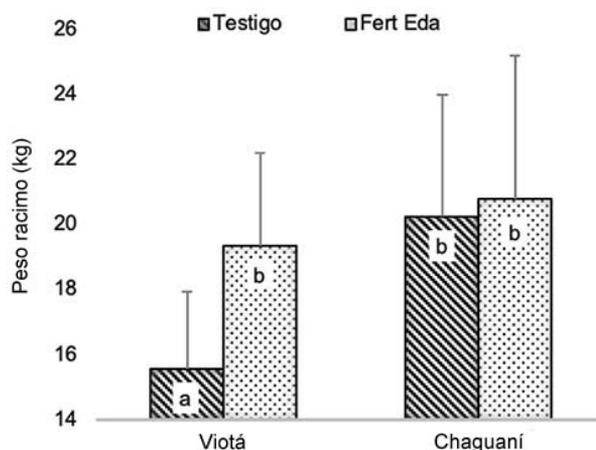


Figura 2. Respuesta del peso del racimo a la fertilización edáfica del plátano (*Musa AAB*) en Viotá y Chaguani, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Distintas letras indican diferencias significativas con nivel de significancia del 5 %.

Figure 2. Bunch weight response to edaphic fertilization of plantain (*Musa AAB*) in Viotá and Chaguani, Cundinamarca, Colombia. 2018.

Different letters indicate significant differences with a significance level of 5 %.

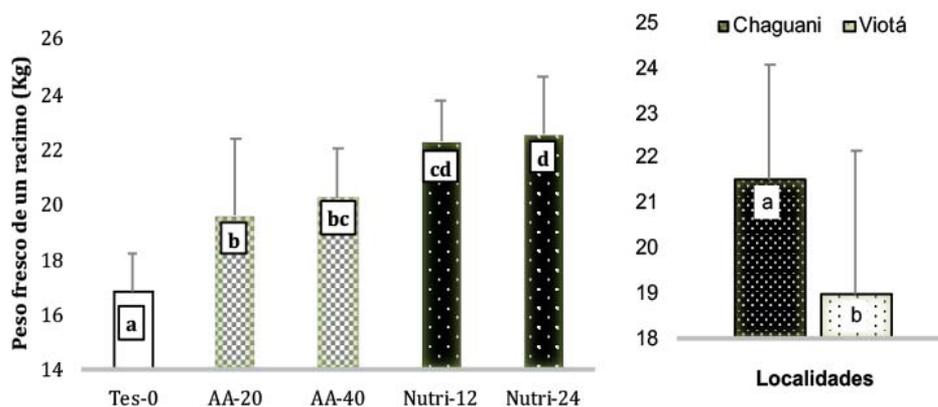


Figura 3. Peso del racimo de plantas de plátano (*Musa AAB*) inyectadas en elseudotallo con dos soluciones (Nutri y AA), y no inyectadas (izquierda) y dos localidades (derecha) en Viotá y Chaguani, Cundinamarca, Colombia, 2018.

Distintas letras indican diferencias significativas con nivel de significancia del 5 %.

Figure 3. Bunch weight of plantain (*Musa AAB*) plants injected into the pseudostem with two solutions (Nutri and AA), and not injected (left) and two localities (right) in Viotá and Chaguani, Cundinamarca, Colombia, 2018.

Different letters indicate significant differences with a significance level of 5 %.

El rendimiento en una misma localidad luego de la inyección de nutrientes (Nutri) se incrementó hasta en 50 % con respecto al testigo y 24 % en comparación con las plantas inyectadas con la soluciones de aminoácidos (AA). El mayor rendimiento (24 kg) en Chaguani se dio en las plantas con inyección de nutrientes, mientras que el rendimiento más bajo se presentó en las plantas testigo (17,6 kg), el mismo comportamiento se dio en Viotá con rendimientos de 21,0 kg y 15,8 kg con la solución Nutri y en plantas testigo, respectivamente.

Las plantas sembradas en suelo de alta fertilidad produjeron racimos de mayor peso (21,6 kg) en comparación con el rendimiento de plantas sembradas en suelo de baja fertilidad (19,0 kg). La longitud externa del dedo central de la tercera mano presentó diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre localidades pero no entre tratamientos. Al respecto, los dedos de los racimos producidos en el suelo de baja fertilidad fueron más cortos (24,6 cm) que en el suelo de alta fertilidad (26,5 cm) (Figura 4).

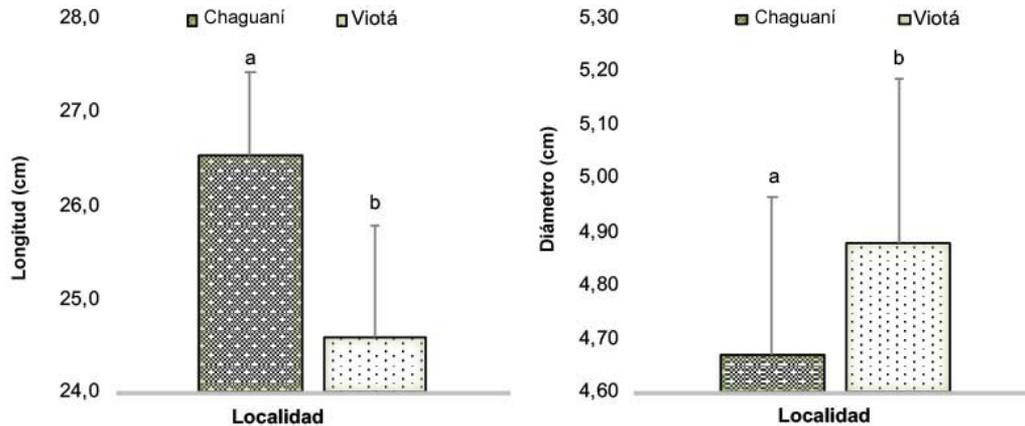


Figura 4. Variables asociadas al crecimiento del fruto de plantas de plátano (*Musa AAB*) a 105 días después de floración: longitud (izquierda) y diámetro del dedo central de la tercera mano del racimo (derecha) en Viotá y Chaguani, Cundinamarca, Colombia, 2018. Distintas letras indican diferencias significativas con nivel de significancia del 5 %.

Figure 4. Variables associated with the growth of the fruit of plantain (*Musa AAB*) plants at 105 days after flowering: length (left) and diameter of the central finger of the third hand of the bunch (right) in Viotá and Chaguani, Cundinamarca, Colombia, 2018.

Different letters indicate significant differences with a significance level of 5 %.

Con respecto al diámetro promedio del dedo central de la tercera mano, se presentaron diferencias entre localidades, registrándose un mayor diámetro (4,9 cm) en las plantas sembradas en el suelo de baja fertilidad (Figura 4), en comparación con las plantas del suelo de alta fertilidad (4,7 cm), mientras que no hubo diferencias en el diámetro de dedo entre los tratamientos evaluados. No se encontró ningún efecto de la solución inyectada, la dosis o la localidad en la variable días de floración a cosecha (datos no mostrados), con una duración promedio de 136 días.

Discusión

El suelo de Chaguani presentaba alta fertilidad por su mayor capacidad de almacenamiento y contenido de nutrientes, es así como K y P se encontraban muy por encima de los niveles ideales reportados por Belalcázar Carvajal (1991) para plátano: $0,4 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ y 30 mg kg^{-1} para K y P, respectivamente. En suelos de alta fertilidad se puede presentar una muy baja probabilidad de respuesta en rendimiento a la aplicación de fertilizantes con estos nutrientes (Macnack et al., 2017).

Además de los resultados del análisis de suelo, se consideró que la zona de producción de plátano en Viotá correspondía al ecotopo cafetero 314 A (Gómez et al., 1991), el cual se caracteriza por presentar suelos coluviales de areniscas de tipo Dystropepts, Troporthents y Melanudands. Son suelos francos arcillosos de mediana a buena profundidad efectiva, media a escasa materia orgánica, pH de 4,5 a 5,5, baja fertilidad natural, topografía ondulada,

pendientes de 25 a 70 % y con media a alta susceptibilidad a la erosión. La zona de producción de plátano en Chaguaní correspondía al ecotopo cafetero 312 A (Gómez et al., 1991), el cual presenta lutitas con predominancia calcárea de tipo Troprothents, Ustropepts y Eutropepts. Son suelos arcillosos, con escasa a nula presencia de materia orgánica, presencia de pedregosidad sobre y a través del perfil, pH de 6,0 a 7,0, topografía ondulada (pendientes 25 % - 50 %), disectadas por áreas abruptas (pendiente del 100 %), de mediana a alta susceptibilidad a la erosión, por remociones masales.

Las dosis bajas de fertilizantes químicos usadas en este estudio buscaron mantener la fertilidad actual del suelo de Chaguaní y restituir parte de los nutrientes extraídos por el racimo, sin que ello implicara incrementos en la producción en comparación con la fertilización tradicional donde solo se usó materia orgánica (Figura 2). Esto explica por qué no se obtuvieron diferencias entre la fertilización tradicional y la dosis de mantenimiento. Los altos contenidos de carbono orgánico al ser llevados a porcentaje de materia orgánica (15,4 %) evidenciaron que este parámetro también estuvo por encima de los valores ideales reportados para cultivos de clima templado (5 a 10 %) (Arcila Pulgarín et al., 2002), por lo que también se puede inferir que fue poco probable que la aplicación de materia orgánica realizada por el agricultor, haya tenido un efecto positivo significativo en el rendimiento.

En el suelo de Viotá, denominado de baja fertilidad, al dosificar los fertilizantes con base en el análisis de suelo y los requerimientos del cultivo, se incrementó el peso de racimo en comparación con la fertilización tradicional del productor, la cual también incluía fertilizante de síntesis química, lo que ratifica la importancia de diseñar planes de fertilización que tengan en cuenta los contenidos de nutrientes en el suelo (García Guzmán et al., 2019). El rendimiento con FT en Viotá (15,5 kg/racimo), estuvo cercano a los 14,5 kg/racimo reportado para plantas de Dominico-Hartón sin fertilización en investigaciones realizadas por Belalcázar et al. (1996), sin embargo, el rendimiento con FQ (19,4 kg/racimo) fue superior a los 17,9 kg/racimo reportados en el mejor tratamiento de fertilización evaluados por Belalcázar et al. (1996). En Viotá (baja fertilidad) se aplicaron fertilizantes de síntesis química en el tratamiento de fertilización tradicional, pero no fue suficiente para equiparar los rendimientos de la fertilización tradicional de Chaguaní (alta fertilidad) donde solo se fertilizó con materia orgánica. De lo anterior se puede inferir que un plan de fertilización equilibrado, permite que un suelo de baja fertilidad equipare la producción de uno de alta fertilidad y que no tener en cuenta tanto la extracción de la planta como los resultados del análisis suelo, puede llevar a aplicar dosis altas de nutrientes que no son tomados por la planta y que elevarían los costos de producción, sin que esto represente mayor rendimiento para el productor y cause impactos negativos en el ambiente, como por ejemplo, la eutrofización.

Uno de los principales factores que elevan las pérdidas de fósforo en suelo por lixiviación y escorrentía, es la aplicación excesiva de fertilizantes, lo cual causaría procesos de eutrofización (Liu et al., 2021). Para este caso de estudio, en la fertilización tradicional de Viotá se aplicó casi el doble de fósforo (Cuadro 1) que la recomendación con base en el análisis de suelo, por lo que gran parte del fertilizante aplicado pudo haberse perdido.

En la presente investigación, la inyección de soluciones nutritivas con base en aminoácidos incrementó el peso del racimo en comparación con el testigo sin aplicación y concuerda con lo reportado por Mendoza Corro (2015), donde la inyección de bioestimulantes (hormonas) mejoró la producción de banano en comparación con plantas sin inyección o con aplicación de bioestimulantes vía foliar o drench.

La inyección de nutrientes en dosis de 24 mL (Figura 3), al presentar el mayor peso de racimo de todos los tratamientos y no tener diferencia con la dosis de 12 mL, estaría indicando que la inyección de nutrientes (independiente de la dosis) es una estrategia más eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo de plátano en comparación con el uso de aminoácidos. En el cultivar Domicio-Hartón, el K no solo representó el nutriente de mayor concentración en los racimos, sino que además superó la concentración de otros genotipos de plátano como Dominico, Cachaco o Pelipita (Martínez-Cardozo et al., 2016), por lo que el potasio inyectado en la solución de nutrientes y que tenía una concentración diez veces mayor al de la solución a base de aminoácidos, satisfizo en mayor medida la alta demanda de este nutrimento.

Adicional al K, la solución de nutrientes también aportó en su mayoría fósforo, magnesio, boro y zinc. Estos elementos además de tener las mayores concentraciones en el raquis y fruto de las musáceas (Weinert & Simpson, 2016), participan en procesos como el transporte y descarga de azúcares, la síntesis de fotoasimilados y la producción de energía (Marschner, 2012; Tränkner et al., 2018), procesos que estarían mejorando el llenado en las plantas inyectadas con estos nutrientes. Tal como se ha visto reflejado en otros frutales (Shaaban, 2009), la inyección de nutrientes en plátano transporta el potasio a otras partes de la planta y su uso podría ayudar a superar el problema de la absorción y movimiento de este nutriente (Abdi & Hedayat, 2010), por ejemplo, en épocas de estrés que llevan a la planta a reducir la corriente transpiratoria o en periodos de baja disponibilidad de agua en el suelo.

La solución a base de aminoácidos en su mayoría aportaba nitrógeno, que es el segundo nutriente en mayor concentración en el racimo de plátano Dominico-Hartón (Cayón Salinas, 2000), por lo que se espera una alta demanda de este elemento con el crecimiento del racimo. Los aminoácidos pueden representar una fuente alternativa de N en los sistemas agrícolas (Quezada Rivera, 2015), lo que explicaría el por qué plantas inyectadas con aminoácidos superaron la producción de las plantas que no fueron inyectadas y cómo el mayor aporte de otros nutrientes como P, K, Mg, B y Zn de la solución de nutrientes estaría haciendo más eficiente los procesos de llenado en plantas inyectadas con Nutri en comparación con las que fueron inyectadas con la solución de aminoácidos.

Las soluciones inyectadas no influyeron en la longitud externa o el diámetro del dedo central de la tercera mano, sus dimensiones estuvieron cercanas a las reportadas para este cultivar en la zona cafetera de Colombia (Aristizábal Loaiza et al., 2008; Castellanos Galeano & Lucas Aguirre, 2011; Herrera & Aristizábal, 2003). El hecho de que el racimo tenga un mayor peso y que los dedos de la mano central no hayan cambiado sus dimensiones en términos de longitud y diámetro, se pudo deber a un mayor porcentaje de materia seca que hace más densos a los dedos y/o por posibles ganancias de tamaño en otros dedos del racimo que no fueron medidos, sin embargo, se requieren investigaciones futuras que validen estas hipótesis.

Las soluciones nutritivas evaluadas incrementaron el rendimiento en ambos tipos de suelo (SAF y SBF), lo que indicaría que la inyección es una técnica eficiente inclusive en suelos con alta fertilidad. Al comparar el experimento A y B, se observó que en ambas localidades el peso de racimo fue mayor (+11 %) en las plantas inyectadas con nutrientes en comparación con las plantas con fertilización edáfica, lo que podría respaldar la hipótesis de que la inyección es más eficiente que la fertilización edáfica en plátano. Lo anterior se complementa con reportes que evidencian que la fertilización edáfica puede causar contaminación ambiental por lixiviación de nutrientes en aguas subterráneas (Dinnes et al., 2002) o puede reducir la disponibilidad de nutrientes por volatilización, en particular el nitrógeno, con valores alrededor de 46 % del NH_3 aplicado (Moro et al., 2017) o por fijación y lixiviación de elementos como fósforo y micronutrientes (Horesh & Levy, 1981; Liu et al., 2021). Sin embargo, se requieren evaluaciones futuras de estas dos metodologías conjuntas que permitan corroborar esta hipótesis.

Conclusiones

El uso de una baja dosis de fertilizante en un suelo de alta fertilidad tuvo un efecto similar en el rendimiento del cultivo del plátano que el uso de una alta dosis de fertilizante en un suelo de baja fertilidad.

El conocimiento del nivel de fertilidad de un suelo mediante el análisis de sus parámetros a nivel de laboratorio, es una estrategia que le permite al agricultor estimar la respuesta del cultivo de plátano a la fertilización. Lo anterior permite optimizar la aplicación de fertilizantes y disminuir costos de producción y el impacto ambiental.

La inyección de soluciones alseudotallo de plátano a base de aminoácidos en dosis de 20 y 40 mL o de nutrientes con 12 y 24 mL, bajo las condiciones edafoclimáticas del presente estudio, permitió incrementar el rendimiento del cultivo de plátano en suelos de alta y baja fertilidad, sin embargo, no hubo diferencias entre dosis, por lo que en futuras validaciones se propone usar la menor dosis evaluada como una alternativa complementaria a la fertilización edáfica tradicional que permita incrementar el rendimiento del cultivo del plátano.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Sistema General de Regalías, a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Cundinamarca, a la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico de Bogotá D.C., por el aporte de los recursos para la presente investigación, bajo el Convenio Especial de Cooperación Derivado 2. Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA).

Referencias

- Abdi, G. H., & Hedayat, M. (2010). Yield and fruit physiochemical characteristics of 'Kabkab' date palm as affected by methods of potassium fertilization. *Advances in Environmental Biology*, 4(3), 437–442.
- Alayón Luaces, P., Yfran Elvira, M. M., Chabbal Monzón, M. D., Mazza Jeandet, S. M., Rodríguez Da Silva Ramos, V. A., & Martínez Bearzotti, G. C. (2015). Effects of nutritional trunk injections on valencia late orange production. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 142–147. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.31938.17608>
- Arcila Pulgarín, M. I., Aranzazu Hernández, L. F., Castrillón Arias, C., Valencia Montoya, J. A., Bolaños Benavides, M. M. & Castellanos Castellanos, P. A. (2002). *El cultivo de plátano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2095>
- Aristizábal Loaiza, M., Cardona, L. F., & Osorio, C. A. (2008). Efecto del ácido giberélico y el desmane sobre las características del racimo en plátano Dominico Harton. *Acta Agronómica*, 57(4), 253–257.
- Belalcázar Carvajal, S. L. (1991). *El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en el trópico*. Instituto Colombiano Agropecuario. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12434>
- Belalcázar, S., Valencia, J. A., Marroquín, J. E., Arcila, M., & Cayón, G. (1996). Efecto de la residualidad de N, K, P en el crecimiento, desarrollo del clon de plátano Dominico-Hartón. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Tecnología del eje cafetero para la siembra y explotación rentable del cultivo del plátano* (pp. 72–80). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12991>
- Bhatt, R., & Sharma, M. (2014). *Importance of soil testing and techniques of soil sampling*. LAP LAMPERT Academic Publishing.
- Castellanos Galeano, F. J., & Lucas Aguirre, J. C. (2011). Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia. *Acta Agronómica*, 60(2), 176–182.
- Castillo González, A. M., Hernández Maruri, J. A., Avitia García, E., Pineda Pineda, J., Valdéz Aguilar, L. A., & Corona Torres, T. (2011). Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa spp.*). *Phyton*, 80, 65–72.
- Cayón Salinas, D. G. (2000). *Postcosecha y agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17940>
- Cayón Salinas, D. G. (2004). Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa AAB Simmonds*). In J. Orozco Romero, Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y América Tropical, Asociación Agrícola Local de Productores de Plátano de Tuxtepec, Oaxaca, & Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Eds.), *Memorias de la XVI Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical* (pp. 172–183). Asociación para la Cooperación en Investigaciones de

- Banano en el Caribe y en América Tropical Asociación Agrícola Local de Productores de Plátano de Tuxtepec, Oaxaca, & Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19331>
- Chaves, B., Cayón, G. & Jones, J. W. (2009). Modeling plantain (*Musa* AAB Simmonds) potential yield. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 359–366. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13279>
- de Mendiburu, F. (2015). *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research. R package version 1.2-2*. R Foundation. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Dinnes, D. L., Karlen, D. L., Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., Hatfield, J. L., Colvin, T. S. & Cambardella, C. A. (2002). Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agronomy Journal*, 94(1), 153–171. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0153>
- Galvis, F., Uribe, A., Cayón, G., Magnitskiy, S., & Henao, J. S. (2013). Effect of fertilizer insertion in the harvested mother banana plant pseudostem (*Musa* AAA Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 31(1), 103–111. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/36053>
- García-Serrano Jiménez, P., Lucena Moratta, J. J., Ruano Criado, S., & Nogales García, M. (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España* (Parte I). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <https://bit.ly/3a7WcdD>
- García Guzmán, S. D., Bautista-Montealegre, L. G., & Bolaños-Benavides, M. M. (2019). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de cuatro municipios de Cundinamarca (Colombia) para la producción de plátano. *Revista U.D.C.A, Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), Article e1192. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192>
- Gómez Alvarado, J. A. (2017). *Validación de soluciones nutritivas alternativas en el cultivo del plátano (Musa paradisiaca L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/21564>
- Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V. (1991). *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. <https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/818/1/lib13731.pdf>
- Guerrero Riascos, R. (2004). *Manual técnico, propiedades generales de los fertilizantes*. Monómeros Colombo venezolanos S.A. <http://www.monomeros.com.co/descargas/dpmanualfertilizacion.pdf>
- Havlin, J., & Heiniger, R. (2020). Soil fertility management for better crop production. *Agronomy*, 10(9), 1349–1354. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091349>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2013). *Soil fertility and nutrient management: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson. <https://bit.ly/3wVRfwj>
- Herrera, J. W., & Aristizábal, M. (2003). Caracterización del crecimiento y producción de híbridos y cultivares y variedades de plátano en Colombia. *Infomusa*, 12(2), 22–24.
- Horesh, I., & Levy, Y. (1981). Response of iron deficient citrus trees to foliar iron sprays with low surface tension surfactant. *Scientia Horticulturae*, 15(3), 227-233. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(81\)90031-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(81)90031-5)
- Horneck, D. A., Sullivan, D. M., Owen, J., & Hart, J. (2011). *Soil test interpretation guide*. Oregon State University. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/ec1478>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021, febrero 8). *Guía de muestreo*. <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>
- Jahanshah, S., Yaaghoob, H., & Maryam, G. (2016). Is trunk injection more efficient than other iron fertilization methods in date palms grown in calcareous soils? *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 3(3), 160–163. <https://doi.org/10.18178/joaat.3.3.160-163>
- Labarca, M., Sosa, L., Esparza, D., Nava, C., Fernández, L., & Villar, A. (2005). Evaluación de la colocación del fertilizante en la planta madre una vez cosechada sobre las variables de crecimiento y producción en el cultivo del plátano Hartón (*Musa AAB*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(4), 408–420.
- Liu, L., Zheng, X., Wei, X., Kai, Z. & Xu, Z. (2021). Excessive application of chemical fertilizer and organophosphorus pesticides induced total phosphorus loss from planting causing surface water eutrophication. *Scientific Reports*, 11, Article 23015. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02521-7>
- Macnack, N., Chim, B., Amedy, B., & Arnall, B. (2017, 08 de febrero de 2021). *Fertilization based on sufficiency, build-up, and maintenance concept* (PSS-2266). Oklahoma Cooperative Extension Service. <https://bit.ly/3PLu5BH>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Martínez-Cardozo, C., Cayón-Salinas, G., & Ligarreto-Moreno, G. (2016). Chemical composition and distribution of dry matter in genotypes of banana and plantain fruits. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217–227.
- Mattos, D., Kadyampakeni, D. A., Quiñones Oliver, A., Marcelli Boaretto, R., Morgan, K. T., & Quaggio (2020). Soil and nutrition interactions. In M. Talon, M. Caruso, & F. Gmitter (Eds.), *The genus citrus* (Chapter 15, pp. 311–332). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00015-2>
- Mendoza Corro, E. L. (2015). *Eficiencia de la aplicación de bioestimulantes por medio de inyección, al drench de la planta y nivel foliar en el cultivo de banano (Musa sp.)* Valencia, provincia de los Ríos [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio digital de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1280>
- Moro, S. K., Sullivan, D. M., & Horneck, D. A. (2017). Ammonia volatilization from broadcast urea and alternative dry nitrogen fertilizers. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1629–1639. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0181>
- Nair, A. (2018, 08 de febrero de 2021). *Importance of soil fertility in vegetable crop production*. Iowa State University. <https://bit.ly/3PPRIsy>
- Panhwar, Q. A., Ali, A., Naher, U. A., & Memon, M. (2019). Fertilizer management strategies for enhancing nutrient use efficiency and sustainable wheat production. In S. Chandran, M. R. Unni, & S. Thomas (Eds.), *Organic farming* (pp. 17–39). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00002-1>
- Pabón Pedraza, R. A. (2017). *Caracterización del modelo de negocio del plátano en organizaciones de pequeños productores para el departamento de Córdoba, Colombia* [Tesis de Maestría, Universidad de La Salle]. Repositorio de la Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agronegocios/24/
- Quezada Rivera, J. C. (2015). *Biosynthetically produced amino acid byproducts can replace nitrogen fertilizers for corn production (Publication No. 14596)* [Master Theses, Iowa State University]. Iowa State University Digital Repository. <https://doi.org/10.31274/etd-180810-4149>

- Ritchie, H. (2021). *Can we reduce fertilizer use without sacrificing food production?* OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/reducing-fertilizer-use>
- Ruan, J., & Gerendas, J. (2015). Absorption of foliar-applied urea-N-15 and the impact of low nitrogen, potassium, magnesium and sulfur nutritional status in tea (*Camellia sinensis* L.) plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(4), 653–663. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1027134>
- Sánchez Saltos, C. L. (2020). *Inyección de soluciones nutritivas en plantas de banano Musa AAA, en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas* [Tesis de bachillerato, Universidad Estatal de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad Estatal de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50344>
- Senthilkumar, M., Ganesh, S., Srinivas, K., Panneerselvam, P., Nagaraja A., & Kasinath, B. L. (2017) Fertigation for Effective Nutrition and Higher Productivity in Banana - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2104–2122. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.248>
- Shaaban, M. M. (2009). Injection Fertilization: A full nutritional technique for fruit trees saves 90-95 % of fertilizers and maintains a clean environment. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 3(1), 22–27.
- Shetty, S. G., Thippesha, D., Shreekanth, H. S., & Shwetha, B. S. (2015). Effect of foliar spray of urea and potash on bunch maturity and yield of tissue culture banana cv. Grand Naine under hill zone of Karnataka. *Environment and Ecology*, 33(3), 1167–1171.
- Singh, A., Jaswal A., & Singh, M. (2019). Enhancing nutrients use efficiency in crops by different approaches- A review. *Agricultural Reviews*, 40(1), 65–69. <https://doi.org/10.18805/ag.R-181>
- Singh, U., Wilkens, P., Jahan, I, Sanabria, J., & Kovach, S. (2010, August 1-6). *Enhanced efficiency fertilizers* [Conference presentation]. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia. <https://www.iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/1506.pdf>
- Soto, M. (2011). Situación y avances tecnologicos en la producción bananera mundial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 13–28. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500004>.
- Susan-Tepetlan, P. V., Noa-Carrazana, J. C., & Flores-Estevez, N. (2017). Estado del Cultivo de Plátano (*Musa* sp.) en el Municipio de Tlapacoyan, Veracruz. *UVserva*, 4(1), 81–83. <https://doi.org/10.25009/uvserva.v0i4.2550>
- Tegeder, M., & Masclaux, C. (2017). Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist*, 217(1), 35–53. <https://doi.org/10.1111/nph.14876>
- Tränkner, M., Tavakol, E., & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163(3), 414–431. <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>
- Weinert, M., & Simpson, M. (2016). *Subtropical banana nutrition – matching nutrition requirements to growth demands*. NSW Department of Primary industries. <https://bit.ly/3GuIy0w>