

Capítulo II

Evaluación de bioestimulantes en
la producción de semilla de plátano
Dominico-Hartón en el departamento
del Huila

A person wearing a dark cap, a light-colored vest over a dark shirt, and black rubber boots is working in a field. They are holding a banana plant with a large, dark, fibrous root system. The ground is covered with small stones and black plastic mulch. Other banana plants are visible in the background.

Dexi Andrea Cruz Lara, Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo,
Eliseo Polanco Díaz, Mónica Betancourt Vásquez y Eduardo
Barragán Quijano



Introducción

Los bioestimulantes han recibido numerosas definiciones en la literatura científica. En líneas generales, diferentes autores coinciden en que este tipo de productos se diferencian de los fertilizantes o plaguicidas (Halpern et al., 2015) y en que desarrollan, en el interior de la planta, una serie de reacciones que traen beneficios en la absorción de nutrientes (European Biostimulants Industry Council [EBIC], 2020), la promoción del crecimiento (Beaudreau, 2013) y la tolerancia al estrés abiótico (Yakhin et al., 2016).

Los bioestimulantes y su efecto en las plantas

El EBIC (2020) señala que

Los bioestimulantes de plantas estimulan los procesos naturales en las plantas para mejorar la absorción y eficiencia de nutrientes, la calidad de los cultivos y la tolerancia al estrés abiótico, beneficiando tanto el rendimiento como el vigor de las plantas. Esto garantiza que las plantas tengan una buena salud y resistencia básica, lo que las hace menos vulnerables al estrés, las plagas y otras amenazas, incluidas las crisis climáticas.

Por su parte, Beaudreau (2013) indica que son sustancias que,

cuando se aplican a una planta, semilla, suelo o medio de cultivo, junto con los planes de fertilización, mejoran la eficiencia del uso de nutrientes de la planta o proporcionan otros beneficios directos o indirectos al desarrollo de la planta o respuesta al estrés.

De igual modo, Du Jardin (2015) menciona que un bioestimulante es

cualquier sustancia o microorganismo aplicado a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, caracteres de tolerancia al estrés abiótico y/o calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes. Por extensión, los bioestimulantes vegetales también se designan como productos comerciales que contengan mezclas de dichas sustancias y/o microorganismos.

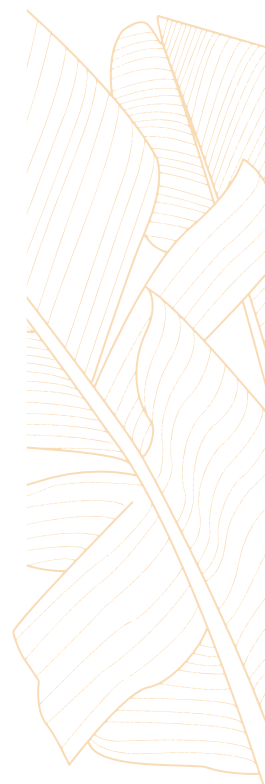
Halpern et al. (2015), por su parte, dice que

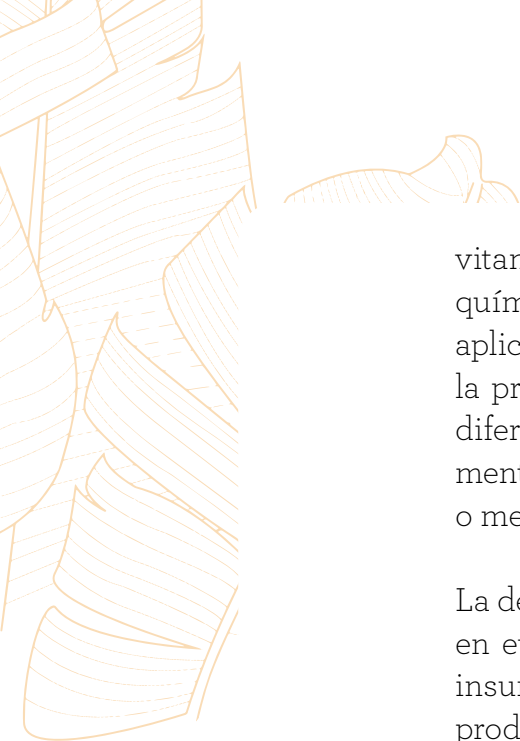
son sustancias o materiales, con excepción de los nutrientes y plaguicidas, que, cuando se aplican a las plantas, semillas o sustratos de cultivo en formulaciones específicas, tienen la capacidad de modificar procesos fisiológicos en plantas de una manera que proporcionen beneficios potenciales para el crecimiento, el desarrollo o la respuesta al estrés.

Yakhin et al. (2016) señalan que son

productos basados principalmente en materias primas naturales, utilizados en dosis ultrapequeñas y pequeñas para la modificación de procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas con el objetivo de una realización más completa del potencial genético de su productividad debido a cambios en el estado hormonal, activación de procesos metabólicos, aumento de la eficiencia de la nutrición, estimulación del crecimiento, desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de resistir a los efectos negativos de varios factores de estrés.

Indistintamente de las definiciones, es común en ellas que los bioestimulantes, usados en pequeñas concentraciones, son eficaces para el mejoramiento de la nutrición, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes. Cuando se aplican exógenamente, tienen acciones similares a los grupos de hormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas. Estos productos, a diferencia de los tradicionales fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos, pueden contener en su fórmula una variedad de compuestos orgánicos como los ácidos húmicos, los extractos de algas, las





vitaminas, los aminoácidos, el ácido ascórbico y otros productos químicos que pueden variar según su fabricante. Cuando se aplican correctamente en los cultivos, aportan beneficios como la promoción del crecimiento, el desarrollo y la respuesta a los diferentes tipos de estreses (hídrico, salino y de toxicidad de elementos), en función de la estimulación de respuestas fisiológicas o metabólicas en el interior de las plantas (Couto et al., 2012).

La definición y concepto de “bioestimulantes vegetales” aún está en evolución, lo que es en parte un reflejo de la diversidad de insumos que pueden considerarse como bioestimulantes. Estos productos pueden contribuir a hacer la agricultura más sostenible y resiliente, ya que una breve revisión de la literatura muestra un papel claro para una gran diversidad y número de sustancias bioestimulantes que tienen efectos protectores contra el estrés abiótico (Feitosa & Garófalo, 2019).

Los bioestimulantes se convierten en una alternativa novedosa para mejorar el desarrollo de las plantas mediante una transformación en sus procesos fisiológicos para aumentar el crecimiento y tolerar las condiciones de estrés, lo cual permite obtener mejores rendimientos (Sobarzo Bernal, 2018). Los efectos de los bioestimulantes todavía no están claros, ya que pueden actuar sobre la productividad de las plantas, como respuesta directa, o en el suelo y microbioma de la planta, como respuesta indirecta, con efectos posteriores en su rendimiento (Yakhin et al., 2017).

Las líneas de investigación de estas sustancias hacia la mitigación del estrés abiótico tienen muchas evidencias científicas sobre sus bondades y su interacción favorable con factores limitantes como las alteraciones del medio ambiente, conocidas como estrés medioambiental. Este tipo de estrés involucra una amplia gama de factores, como la temperatura, el agua, la radiación, sustancias químicas, entre otros. Estos factores son responsables de pérdidas de hasta el 50 % en los cultivos. Por esta razón, se ha evaluado la mitigación del estrés abiótico en diferentes sistemas productivos, en distintas condiciones medioambientales (Nardi

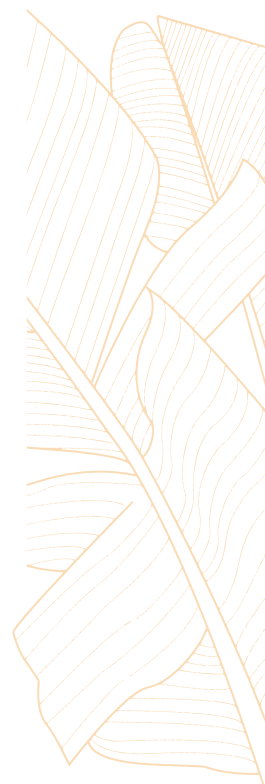
et al., 2016; Ruzzi & Aroca, 2015; Veobides Amador et al., 2018; Van Oosten et al., 2017).

En cuanto al estrés biótico, este puede desencadenar cambios en el metabolismo que afectan el crecimiento de las plantas y su productividad final (Berger et al., 2007). En tal sentido, se pueden ver afectados procesos fisiológicos de forma directa, como el transporte de agua y nutrientes, e indirecta, como la disminución en la tasa fotosintética, la conductancia estomática y la transpiración, lo cual puede afectar la tasa de crecimiento de la planta, su metabolismo y su fisiología, incluso hasta causar la muerte (Caldwell et al., 2017).

Los principales organismos causantes de estrés biótico son los agentes patógenos, como hongos, bacterias, virus y fitoplasmas; además, insectos, nematodos e incluso plantas también pueden ser desencadenantes de estrés en cultivos. En la hipótesis llamada “gen a gen”, el reconocimiento de un patógeno por la planta se debe a una interacción directa o indirecta entre el producto de un gen de resistencia en la planta (gen R) y un gen de avirulencia en el patógeno (gen Avr). Una vez detectado el patógeno, comienzan a desencadenarse en el interior de la planta una serie de reacciones de orden fisiológico, bioquímico y metabólico que disparan respuestas defensivas. De acuerdo con Glazebrook (2005, citado por Ramírez & Rodríguez, 2012, p. 273),

las respuestas de resistencia gen-gen, mediadas por hormonas como ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y etileno (ET), se presentan en las plantas como mecanismos de defensa mediante efectores, con producción de metabolitos, proteínas y acumulación de calosa y lignina.

La respuesta de defensa puede iniciarse por un reconocimiento gen-gen, que limita el crecimiento del organismo invasor y puede estar acompañado por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), necesarias para la respuesta hipersensible (HR), que permite la programación de muerte celular y le impide al invasor el acceso a nutrientes y agua (Ramírez & Rodríguez, 2012).





Esta resistencia mediada por genes R está asociada a la activación de la vía de señalización dependiente del SA, que permite la expresión de proteínas relacionadas con patogénesis (PR), mientras que otras defensas de la planta están controladas por mecanismos que dependen de ET o JA (Glazebrook, 2005, citado por Ramírez & Rodríguez, 2012, p. 273).

Por su parte, los efectores específicos de los patógenos, también llamados “determinantes de avirulencia”, son reconocidos por proteínas de resistencia específicas (R), o “determinantes de resistencia” (Díaz-Puentes, 2012). “Si la planta o el patógeno no poseen el apropiado determinante de resistencia o de avirulencia, entonces la activación de la respuesta de defensa de la planta puede ser retrasada o inefectiva, generando una interacción compatible” (Glazebrook, 2005; Mysore et al., 2004; Thatcher et al., 2005; Wiermer et al., 2005, citados por Díaz-Puentes, 2012, p. 259), es decir, el patógeno es virulento y puede invadir la planta.

La resistencia sistémica adquirida (SAR) confiere protección ante una infección secundaria por patógenos (Díaz-Puentes, 2012). Este proceso presenta dos etapas: una primera, de inducción de las defensas en las células cercanas al ataque del patógeno, llamada “respuesta local”, y una segunda, de inducción de las defensas en los tejidos alejados del foco de infección. Esta última confiere protección sistémica a la planta ante una gran variedad de patógenos (Ballaré, 2011; Grant et al., 2006; Durrant et al., 2004; Sticher et al., 1997; Vlot et al., 2009; Hayat et al., 2010; Vlot et al., 2008, citados por Díaz-Puentes, 2012, p. 260).

Por otra parte, la resistencia sistémica inducida (ISR) está asociada a la capacidad de las rizobacterias para promover el crecimiento de la planta y protegerla contra patógenos (Ruzzi & Aroca, 2015).

El uso de sustancias bioestimulantes en el cultivo de plátano es de relativa actualidad, con pocos trabajos que ilustren su efecto sobre la planta y sobre algunos tipos de estreses. En tal sentido, efectos de promoción de crecimiento e incremento en la

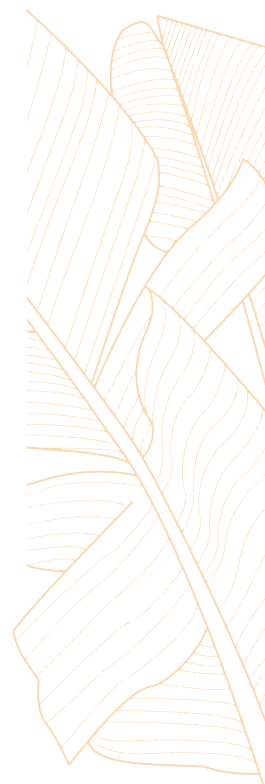
eficiencia de procesos fisiológicos, como la actividad fotosintética, la eficiencia fotoquímica del fotosistema II y el intercambio gaseoso, que mejoran la calidad fisiológica de la semilla, han sido demostrados por Mateus-Cagua y Rodríguez-Yzquierdo (2019). De igual modo, el efecto de los bioestimulantes sobre estreses bióticos es otro frente de trabajo muy interesante, pues este tipo de sustancias puede mitigar o retrasar el efecto de patógenos en el cultivo de plátano, incluso de enfermedades vasculares que ocasionan efectos perjudiciales en la planta. Una de ellas es *R. solanacearum* raza 2, causante de la enfermedad conocida como Moko; al respecto, sustancias como el SA, el dióxido de silicio y algunos microorganismos benéficos han retrasado la curva de desarrollo de esta enfermedad en ensayos en etapa de vivero utilizando plátano Hartón (Mateus-Cagua et al., 2024).

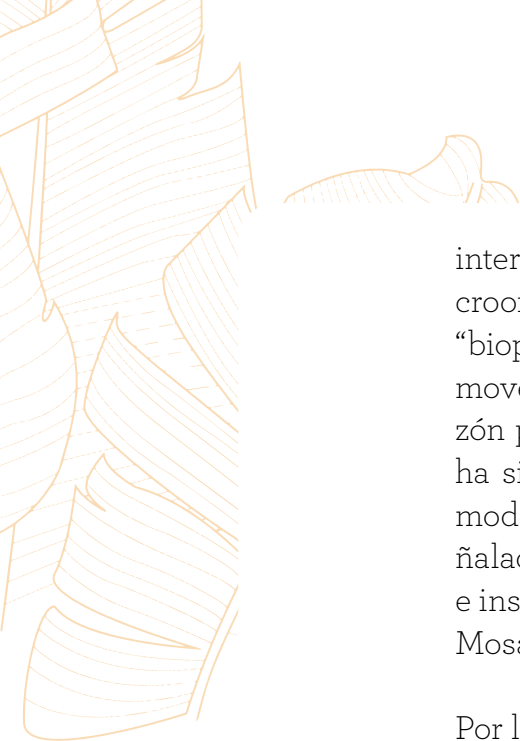
Para el caso de patógenos vasculares, como *R. solanacearum*,

cuando la infección ocurre en el suelo, *R. solanacearum* invade los espacios intercelulares del córtex de la raíz y el parénquima vascular, vasos del xilema, y se mueve a través de ellos causando marchitez progresiva debido a la secreción de polisacáridos extracelulares, medio sobre el cual se agregan en biopelículas, que ocluyen los haces vasculares y limitan su flujo. (Schell, 2000; Peeters et al., 2013, citados por Mateus-Cagua et al., 2024)

El modo como actúan estos patógenos repercute en el movimiento de nutrientes y en las relaciones hídricas de la planta, ya que se obstruye el ascenso del agua vía xilema, generando cambios en la relación suelo-planta-atmósfera (Buchanan et al., 2015). En la medida que avanza la colonización del patógeno, disminuye la actividad fotosintética y la conductancia estomática debido a que el agua no puede ser transportada hacia la parte aérea, por lo que la planta disminuye toda actividad y se presenta colapso total (Narancio et al., 2013).

Por otra parte, algunos microorganismos que desempeñan sustancias bioestimulantes tienen la capacidad de ser endófitos, es decir, de penetrar en los tejidos de la planta y colonizar





internamente espacios que podrían ser ocupados por otros macroorganismos patogénicos. Esta capacidad, conocida como “bioprotección”, es una característica muy importante para promover la calidad fisiológica y sanitaria del material vegetal, razón por la cual, en procesos de producción de plántulas, su uso ha sido promovido en diferentes sistemas de cultivo. De igual modo, el uso de este tipo de microorganismos también se ha señalado como potencial para el control biológico de fitopatógenos e insectos plaga (Feitosa & Garófalo, 2019; Hernández et al., 2015; Mosa et al., 2021).

Por lo anterior, la investigación sobre el uso de sustancias bioestimulantes, dada su variedad de efectos y beneficios sobre las plantas, como las mejoras en la calidad fisiológica y sanitaria y las ventajas comparativas de tipo adaptativo que generan en las plantas para su establecimiento en condiciones de campo, permite vislumbrar que la validación de los resultados obtenidos sea apropiable por parte de agricultores multiplicadores de semilla en el cultivo de plátano, pues los beneficios de esta tecnología han sido validados específicamente para las condiciones del departamento del Huila en el cultivo de plátano Dominico-Hartón, en esquemas de multiplicación de semilla, con diferentes tipos de material vegetal, ambientes y técnicas de multiplicación.

Validación de resultados en las condiciones del departamento del Huila

Ensayo de sustancias bioestimulantes y enraizadoras en plántulas de plátano en etapa de vivero

En cuatro municipios del departamento del Huila (Timaná, Garzón, Palermo y Santa María) se estableció un ensayo de evaluación de sustancias bioestimulantes sobre variables de desarrollo y fisiológicas de plántulas del clon Dominico-Hartón provenientes de propagación *in vitro*. Las condiciones climáticas de cada localidad se presentan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Condiciones climáticas de los núcleos de semilla

Municipio	Altura (m s. n. m.)	Precipitación anual (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)
Santa María	1.320	1.836	20,8	89
Garzón	830	1.263	20,1	84
Palermo	609	2.099	27	81
Timaná	1.100	1.012	24	81

Fuente: Elaboración propia con base en Alcaldía Municipal de Santa María (2015); Alcaldía Municipal de Garzón (2020); Alcaldía Municipal de Palermo (2019); Alcaldía Municipal de Timaná (2020); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam, 2022); Weather Spark (2023); Climatology Lab (2021)

La infraestructura de los viveros estuvo compuesta por techo y paredes perimetrales de polisombra con entrada del 70 % de luz, y una cobertura plástica para aislar el suelo de las plantas. Adicionalmente, se ubicaron estibas plásticas para garantizar que las plantas no quedaran sobre la superficie del suelo y se generaran problemas asociados con exceso de agua en superficie que afectaran las plantas contenidas en las bolsas.

Las plantas se sembraron en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad, en un sustrato de cascarilla de arroz, suelo y materia orgánica en relación 1:2:1, respectivamente. El periodo de aclimatación fue de aproximadamente 30 días, después del cual se procedió a realizar la primera aplicación de sustancias bioestimulantes en plantas ya adaptadas a las condiciones locales.

El manejo del riego dependió de las condiciones ambientales de cada localidad y por lo general se hizo en forma interdiaria, con un sistema de riego por aspersión. La fertilización se aplicó de forma foliar y en *drench* dos veces por semana, utilizando fertilizantes foliares a base de macro y microelementos. Prácticas culturales como la eliminación de hojas senescentes se realizaron de acuerdo con las condiciones locales de desarrollo de las plantas durante la etapa de vivero. Una imagen del área experimental se presenta en la figura 2.1.

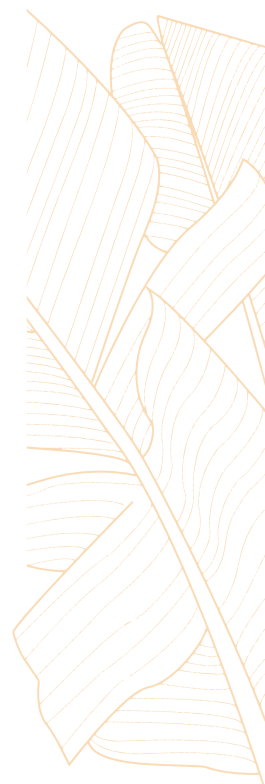


Figura 2.1.

Área experimental y distribución de plantas de acuerdo con el diseño experimental propuesto.



Foto: Dexi Andrea Cruz Lara

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con 8 tratamientos, 4 repeticiones y 6 plantas por unidad experimental (figura 2.2). Los tratamientos se describen en la tabla 2.2. Para el establecimiento del ensayo se utilizaron vitroplantas ya endurecidas, provenientes de meristemas seleccionados de huertos de plantas madre de cada localidad, previa revisión de los lotes madre, para verificar las condiciones de desarrollo y su estado sanitario mediante análisis de laboratorio para la identificación de patógenos limitantes en la producción de semilla (*R. solanacearum*, *Foc R1*, *Foc R4T*, CMV y BSV).

Figura 2.2.

Distintos tratamientos a los 90 días después de la siembra en el área experimental. a. Fertilizante orgánico/enraizador dosis 1; b. Fertilizante orgánico dosis 1 + sustancia húmica; c. Fertilizante orgánico dosis 2; d. Fertilizante orgánico dosis 2 + sustancia húmica; e. Fertilizante orgánico dosis 3; f. Fertilizante orgánico dosis 3 + sustancia húmica; g. *Bacillus amyloliquefaciens*; h. Testigo sin aplicación de producto.



Fotos: Dexi Andrea Cruz Lara

Tabla 2.2. Descripción de los tratamientos de evaluación de bioestimulantes y sustancias húmicas en plántulas *in vitro* del clon Dominico-Hartón durante la fase de vivero

Tratamiento	Descripción	Composición	Dosis y forma de aplicación
T1	Fertilizante orgánico/ enraizador dosis 1	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 %	0,5 cm ³ de producto enraizador/L de agua vía foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T2	Fertilizante orgánico dosis 1 + sustancia húmica	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 % Sustancia húmica: K ₂ O: 35 g/L CaO: 4 g/L MgO: 0,2 g/L Carbono de extracto húmico total (CEHT): 150 g/L Carbono de ácidos húmicos (CAH): 20 g/L Carbono de ácidos fúlvicos (CAF): 30 g/L	0,5 cm ³ de producto enraizador/L de agua + sustancia húmica (3 cm ³ /L) en aplicación foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T3	Fertilizante orgánico dosis 2	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 %	1 cm ³ de producto enraizador/L de agua vía foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T4	Fertilizante orgánico dosis 2 + sustancia húmica	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 % Sustancia húmica: K ₂ O: 35 g/L CaO: 4 g/L MgO: 0,2 g/L CEHT: 150 g/L CAH: 120 g/L CAF: 30 g/L	1 cm ³ de producto enraizador/L agua + sustancia húmica (3 cm ³ /L) en aplicación foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.

Continúa en la siguiente página...

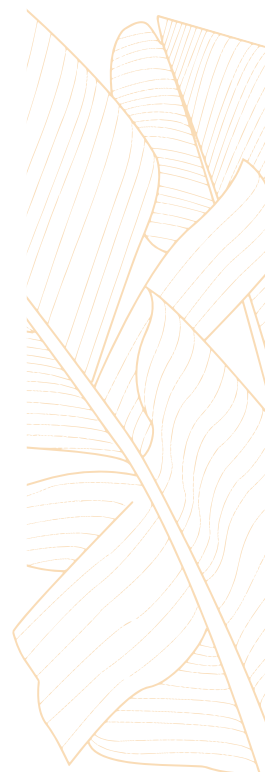
T5	Fertilizante orgánico dosis 3	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 %	1,5 cm ³ de producto enraizador/L de agua vía foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T6	Fertilizante orgánico dosis 3 + sustancia húmica	Fertilizante orgánico: N total: 3,19 % K ₂ O: 9,27 % Zn: 0,11 % C: 12,33 % Sustancia húmica: K ₂ O: 35 g/L CaO: 4 g/L MgO: 0,2 g/L CEHT: 150 g/L CAH: 120 g/L CAF: 30 g/L	1,5 cm ³ de producto enraizador/L de agua vía foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T7	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Esporas viables de <i>B. amyloliquefaciens</i> Bs006, 0,2% (1 × 10 ⁹ UFC)	25 cm ³ de producto enraizador/L de agua vía foliar y en <i>drench</i> . Cinco aplicaciones por ciclo de vivero.
T8	Testigo sin aplicación de producto	Agua potable	Solo aplicación de agua.

Fuente: Elaboración propia

Se midieron parámetros fisiológicos y de desarrollo durante el ciclo de vivero, el cual duró aproximadamente 90 días después del trasplante (DDT). Se garantizó que todos los tratamientos se aplicaran cinco veces durante el ciclo de las plantas en vivero. Las variables evaluadas se describen a continuación.

Variables de desarrollo

Altura de planta: se midió con una frecuencia quincenal, hasta los 60 días luego de la primera aplicación de los tratamientos, es decir, 90 DDT. Se determinó como la distancia desde la superficie del suelo hasta la inserción de la primera hoja desarrollada en el pseudotallo de la planta. Se realizaron mediciones en cuatro plantas por unidad experimental.





Perímetro de pseudotallo: se determinó usando una cinta de medición a 5 cm de altura desde la superficie del suelo, en cuatro plantas por unidad experimental.

Hojas activas: se cuantificó el número de hojas totales fotosintéticamente activas por cada planta, descartando áreas foliares con senescencia o afectadas por enfermedades foliares. Se realizó de forma quincenal en cuatro plantas por unidad experimental.

Hojas totales: se cuantificó el número total de hojas emitidas, con una frecuencia quincenal, en cuatro plantas por unidad experimental.

Variables fisiológicas

Cuarenta y cinco días después de la primera aplicación de los tratamientos de bioestimulantes, se registraron variables asociadas al comportamiento fisiológico de la planta, con ayuda de un equipo medidor de intercambio gaseoso. Se tomó la hoja número 3, en sentido ápice-base (hoja recientemente madura), en su tercio medio, la cual ha sido señalada como hoja indicadora para este tipo de variables en el cultivo de plátano en etapa de vivero (Mateus-Cagua & Rodríguez-Yzquierdo, 2019). De igual forma, se determinó el índice de clorofila con uso de un medidor Spad. Las variables determinadas fueron fotosíntesis neta ($\text{mol de CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), conductancia estomática ($\text{mol de H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$), transpiración ($\text{mmol de H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) e índice de clorofila (unidades Spad).

Los análisis estadísticos se aplicaron por medio del *software* Infostat versión 8.0, mediante un ANOVA con el 5 % de significancia, de acuerdo con el diseño experimental propuesto. Se analizaron las cuatro localidades por separado y en conjunto (análisis combinado) para poder interpretar los efectos diferenciados por cada condición particular en que se desarrolló el trabajo experimental.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis estadístico para los tratamientos y localidades evaluadas se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Resumen de los parámetros estadísticos utilizados en la expresión del uso de bioestimulantes en semilla de plátano Dominico-Hartón en el departamento del Huila

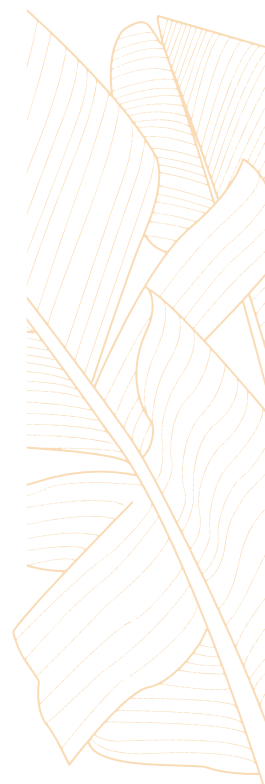
Variables	Altura	Perímetro	HF	HT	Pn	Gs	Tr	IC
FDV	Probabilidad							
Modelo	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0041	<0,0001	<0,0001
Localidad	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,8725	0,0011	0,0010
Tratamientos	0,1564	0,6945	0,551	0,6834	0,3043	0,8976	0,7629	0,5107
Tratamiento × localidad	0,0499*	0,9341	0,2639	0,4951	0,0463*	0,487	0,613	0,697
CV (%)	15,45	22,56	15,16	11,83	26,71	85,58	33,12	10,23

FDV: fuente de variación; HF: hojas funcionales; HT: hojas totales; Pn: fotosíntesis neta; Gs: conductancia estomática; Tr: transpiración; IC: índice de clorofila; CV: coeficiente de variación.

* Diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

El análisis de datos de cada factor y sus interacciones indicó que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos evaluados, mientras que se presentó una alta significancia para el efecto de localidad, y la interacción de localidad × tratamiento solo fue significativa para las variables de altura de planta y fotosíntesis neta. De esta forma, se puede concluir que los tratamientos fueron similares entre sí, y que cuando se analiza la interacción con el ambiente, es decir, su aplicación en localidades con condiciones climáticas contrastantes, las respuestas son diferenciadas. Por esta razón, los resultados varían de acuerdo con el sitio específico evaluado, y, por lo tanto, las recomendaciones e interpretaciones deben considerar el contexto local y evitar ser genéricas en cuanto al uso de esta tecnología. Esto es muy importante teniendo en cuenta que el material vegetal es de la misma procedencia local y que, tratándose del mismo clon, las respuestas de los tratamientos son distintas entre las localidades evaluadas.





Los resultados del factor localidad para todas las variables (de desarrollo y fisiológicas) se presentan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Resultados de variables de desarrollo y fisiológicas en plántulas del clon Dominico-Hartón en las cuatro localidades evaluadas en el departamento del Huila

Factor localidad	Altura (cm)	Perímetro (mm)	HF	HT	Pn (mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Gs (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Tr (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	IC unidades Spad
Timaná	28,43 a	19,95 a	7,85 a	8,49 a	8,62 ab	0,14 a	2,67 a	51,76 a
Palermo	21,71 b	18,97 a	5,70 b	6,61 b	10,27 a	0,17 a	2,64 a	46,1 b
Garzón	16,74 c	16,00 b	5,46 b	6,43 b	7,47 b	0,13 a	2,53 a	46,23 b
Santa María	16,01 c	15,60 b	5,16 b	5,81 c	6,76 c	0,15 a	1,66 b	46,50 b

HF: hojas funcionales; HT: hojas totales; Pn: fotosíntesis neta; Gs: conductancia estomática; Tr: transpiración; IC: índice de clorofila. Las letras diferentes dentro de una misma columna se corresponden con diferencias significativas según la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$).

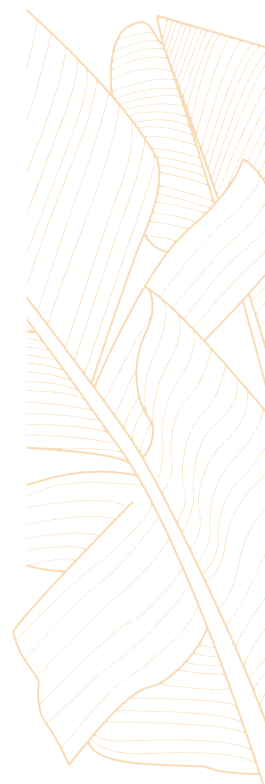
Fuente: Elaboración propia

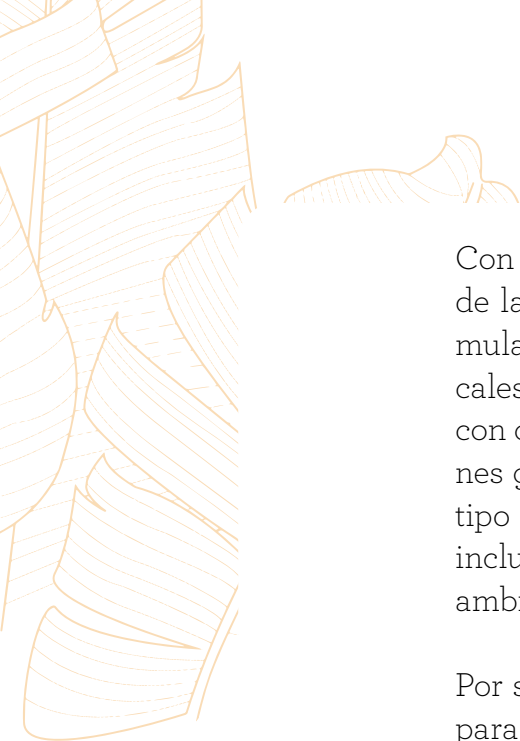
En la tabla 2.4 se puede observar que las variables de desarrollo (altura, perímetro, HF y HT) fueron mayores en las localidades de Timaná y Palermo, caracterizadas por estar situadas a una menor altura sobre el nivel del mar y por sus condiciones de clima más cálido en comparación con Garzón y Santa María, que tienen climas más fríos. En tal sentido, las condiciones ambientales juegan un papel fundamental en la respuesta de crecimiento de las plantas de plátano. En líneas generales, en localidades con menores temperaturas, que para el caso de las regiones tropicales corresponden a lugares de mayor altitud, el crecimiento vegetativo se ve disminuido. Esto se ve reflejado tanto en vivero como en campo, con menores ritmos de emisión foliar y disminución en el vigor de las plantas, asociados a parámetros de altura y perímetro del pseudotallo (Rodríguez Yzquierdo et al., 2018). Los resultados de mayor altura y grosor del pseudotallo, así como de mayor número de hojas emitidas totales y activas, indican, para Timaná y Palermo, condiciones de temperatura más favorables para el desarrollo vegetativo de las plantas, razón por la cual los tiempos de la fase de vivero pueden ser más cortos que en Garzón y Santa María. Para poder determinar esto, es conveniente tener indicadores de

calidad de planta asociados a la cantidad de hojas activas y a la altura de la planta, que son comúnmente tenidos en cuenta como criterios para que las plantas sean llevadas a campo. De esta forma, en términos generales, plantas de plátano con al menos 25 cm de altura y con 4-5 hojas verdaderas emitidas pueden ser consideradas aptas para el trasplante definitivo a campo (Mateus-Cagua & Rodríguez-Yzquierdo, 2019; Rodríguez Yzquierdo et al., 2019).

Para el caso de las variables fisiológicas asociadas al intercambio gaseoso (P_n , G_s y T_r), el efecto del ambiente también provocó diferencias estadísticamente significativas entre las localidades en donde se realizó la experimentación. Al respecto, nuevamente las localidades más cálidas fueron las que presentaron mejores valores de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración; es probable que el microclima, una menor nubosidad y un adecuado manejo de las plantas en cuanto a la dotación hídrica se combinen para favorecer una expresión más adecuada del intercambio gaseoso, de forma diferenciada para cada localidad. Los valores encontrados de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración son adecuados o normales para el caso de plantas en etapa de vivero, y coinciden con los reportados por Mateus-Cagua y Rodríguez-Yzquierdo (2019).

En términos generales, valores de fotosíntesis entre 6 y 8 $\mu\text{mol de CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ suelen ser normales para plantas de plátano en etapa de vivero que no se encuentren en condiciones de estrés (Mateus-Cagua et al., 2024). No obstante, en la localidad de Palermo se pudieron observar mayores valores para esta variable. En el caso de la conductancia estomática, plantas no sometidas a estrés suelen presentar valores entre 0,10 y 0,15 $\text{mol de H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$, y en cuanto a transpiración, el rango suele ser entre 2 y 3 $\text{mmol de H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ (Mateus-Cagua & Rodríguez-Yzquierdo, 2019). La mayoría de los valores encontrados en las diferentes localidades con todos los tratamientos estudiados se encontraron en el rango normal para el cultivo en etapa de vivero; sin embargo, se observan tendencias diferenciales de acuerdo con la condición particular de cada localidad, pues los procesos pueden ser ligeramente afectados en localidades con ambientes más fríos.





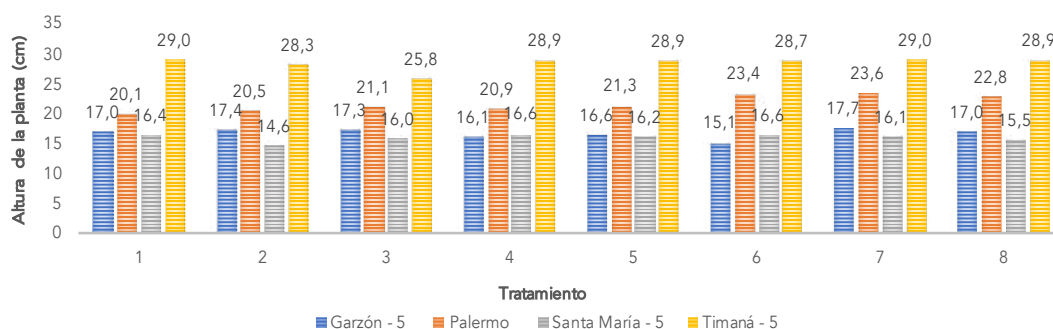
Con lo anterior, se puede afirmar que las respuestas fisiológicas de las plantas sometidas a tratamientos con sustancias bioestimulantes se verán afectadas por las condiciones ambientales locales, manifestando comportamientos diferenciales de acuerdo con cada localidad evaluada, razón por la cual las recomendaciones genéricas no son adecuadas para la implementación de este tipo de tecnologías en la multiplicación de semilla de plátano, incluso cuando se utiliza el mismo material vegetal en distintos ambientes.

Por su parte, el índice de clorofila es una variable que se utiliza para comparar el grado de verdor de las hojas, el cual puede verse afectado por la condición nutricional de la planta, pero a su vez por procesos de senescencia natural o inducida por estreses de orden abiótico o biótico que comienzan a generar especies reactivas de oxígeno que afectan a la planta (Nadarajah, 2020; Rehman et al., 2021; Rodríguez Yzquierdo et al., 2019).

En las figuras 2.3 a 2.6 se presentan las variables de desarrollo en etapa de vivero según las localidades asociadas a los tratamientos evaluados.

Figura 2.3.

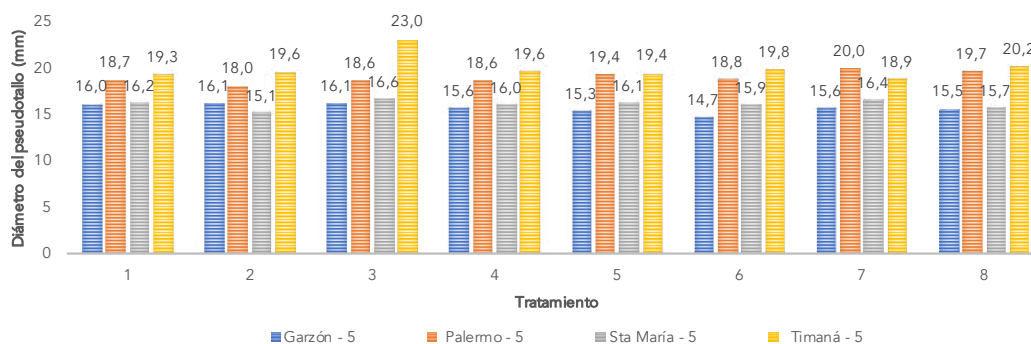
Altura de la planta de plátano Dominico-Hartón 60 días después de la primera aplicación de los tratamientos (3 meses después de la siembra) en las cuatro localidades del departamento del Huila.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.4.

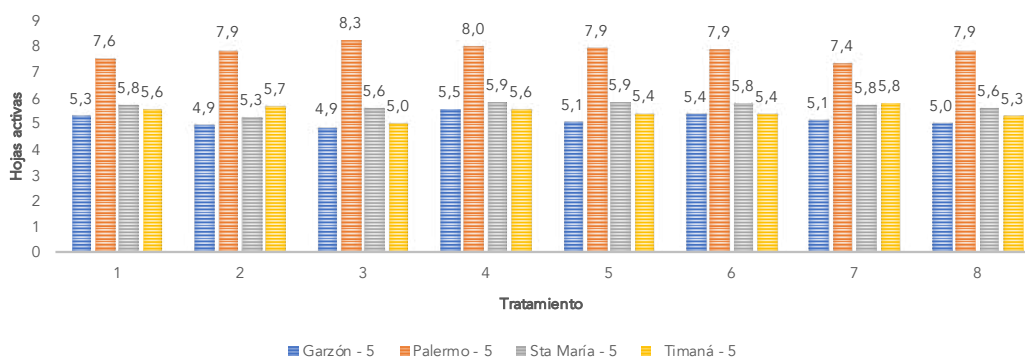
Diámetro del pseudotallo en plantas de plátano Dominico-Hartón 60 días después de la primera aplicación de los tratamientos (3 meses después de la siembra) en las cuatro localidades del departamento del Huila.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.5.

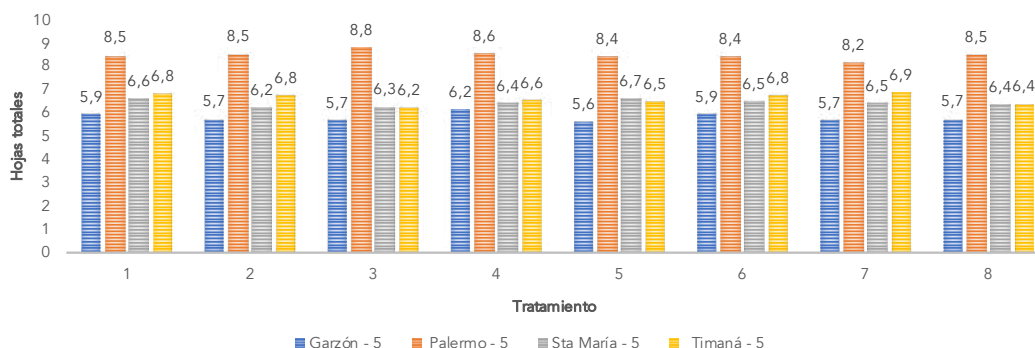
Número de hojas activas en plantas de plátano Dominico-Hartón 60 días después de la primera aplicación de los tratamientos (3 meses después de la siembra) en las cuatro localidades del departamento del Huila.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.6.

Número de hojas totales en plantas de plátano Dominico-Hartón 60 días después de la primera aplicación de los tratamientos (3 meses después de la siembra) en las cuatro localidades del departamento del Huila.



Fuente: Elaboración propia

La altura de la planta presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en las cuatro localidades (tabla 2.5). Se puede observar un efecto en la promoción del crecimiento con el uso del microorganismo *B. amyloliquefaciens* (T7), con la dosis más alta del producto enraizador solo (T5) y al combinarlo con sustancias húmicas (T6), teniendo en cuenta los resultados encontrados en todas las localidades evaluadas. De igual modo, con la combinación del enraizador con sustancias húmicas se incrementó el valor de altura para cada concentración del enraizador evaluada (T2, T4 y T6), lo que sugiere un efecto de sinergia con la aplicación de ambas sustancias, que además tienen efecto sobre procesos distintos en la fisiología de la planta (Canellas et al., 2015; Pichyangkura & Chadchawan, 2015). Por su parte, el tratamiento testigo (T8) presentó el menor valor de altura, lo cual indica un efecto benéfico de todas las sustancias bioestimulantes evaluadas. Vale la pena destacar que estos valores corresponden al promedio de cada tratamiento en las cuatro localidades.

Tabla 2.5. Altura de la planta (cm) con los distintos tratamientos en las localidades evaluadas para el clon Dominico-Hartón

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Altura (cm)	18,02 b	18,45 b	18,97 b	19,21b	21,34 a	22,56 a	22,89 a	17,79 c

Fuente: Elaboración propia

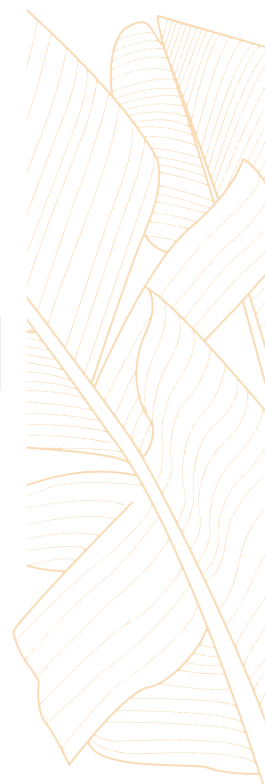
En este sentido, diversos autores señalan como beneficios de las sustancias húmicas la promoción del crecimiento por medio del aumento del peso seco en la parte aérea y radicular, la estimulación de la actividad de enzimas clave en el metabolismo de C y N, la mejora en la producción de ciertas hormonas, cambios en la expresión génica y el aumento en la calidad y rendimiento de las cosechas en diferentes cultivos (Calderín et al., 2016; Canellas et al., 2015; Colla et al., 2015; Hernández et al., 2015; Nardi et al., 2016; Ruzzi & Aroca, 2015; Vaccaro et al., 2015; Veobides Amador et al., 2018). De igual modo, el efecto promotor de crecimiento en plántulas de plátano Hartón en etapa de vivero con el uso de *Bacillus subtilis* y *B. amyloliquefaciens*, así como con otras sustancias bioestimulantes, como el SA y el dióxido de silicio, ha sido reportado por Mateus-Cagua y Rodríguez-Yzquierdo (2019).

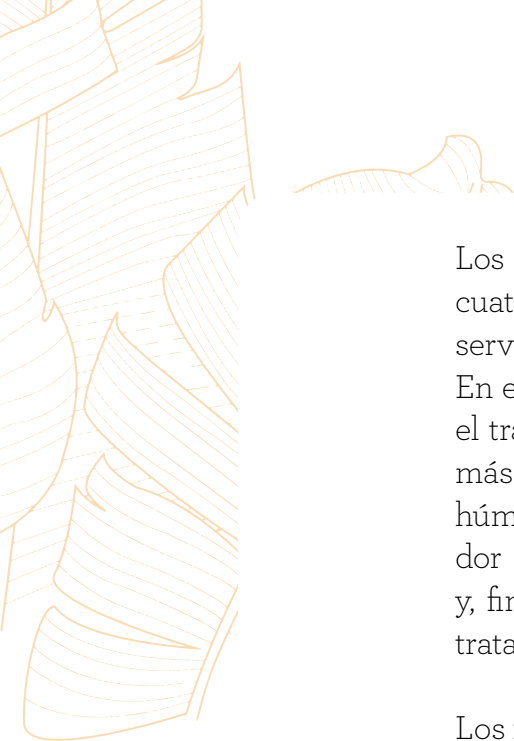
En cuanto al desempeño fisiológico de las plantas según los tratamientos evaluados, el análisis estadístico indica que se presentaron diferencias significativas solo para la fotosíntesis neta (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol de CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) con los distintos tratamientos en las localidades evaluadas para el clon Dominico-Hartón

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Fotosíntesis neta (Pn)	8,44 b	8,60 b	8,19 b	8,41b	9,21 ab	9,61 ab	10,41 a	7,84 c

Fuente: Elaboración propia



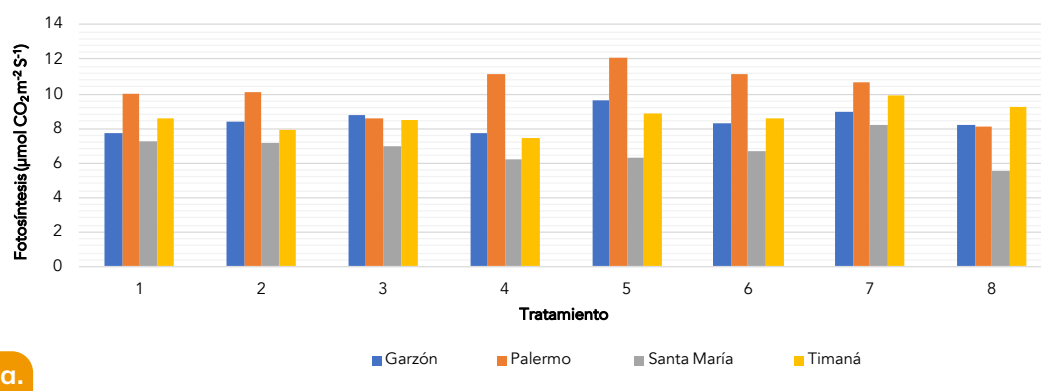


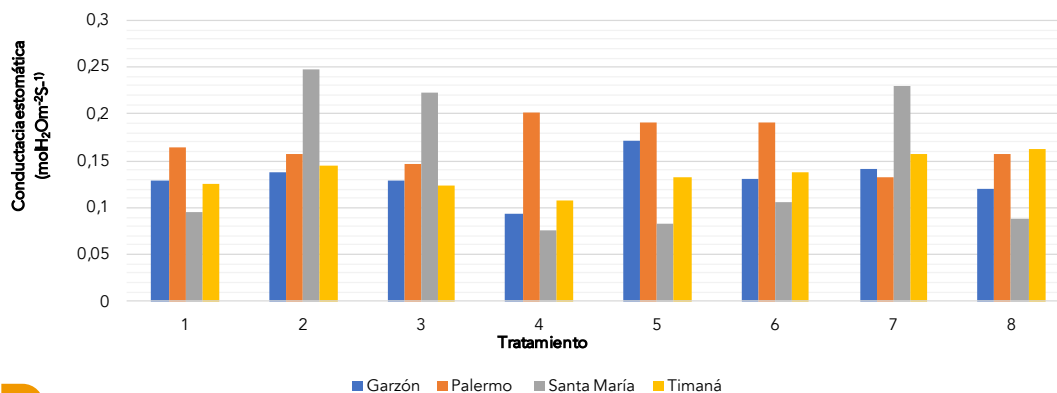
Los resultados de fotosíntesis neta para cada tratamiento en las cuatro localidades estudiadas presentan la misma tendencia observada entre los tratamientos en cuanto a la altura de la planta. En este sentido, la mayor tasa de fotosíntesis fue encontrada para el tratamiento con *B. amyloliquefaciens* (T7), seguido por la dosis más alta del enraizador solo (T5) y en combinación con sustancias húmicas (T6); les siguen las dosis intermedia y baja del enraizador (ya sea solo o en combinación con las sustancias húmicas), y, finalmente, los menores valores de fotosíntesis los presentó el tratamiento testigo sin aplicación de bioestimulantes (T8).

Los resultados de los tratamientos evaluados para cada localidad se pueden observar en la figura 2.7. La tendencia general de las variables fisiológicas indica que en Palermo y Timaná se presentaron los mejores valores, en concordancia con lo encontrado para las variables de desarrollo en estas dos localidades de clima cálido. En cuanto a los tratamientos que presentaron ciertas mejoras en las variables fisiológicas, nuevamente fueron los tratamientos T7, T5 y T6, indistintamente de la localidad evaluada.

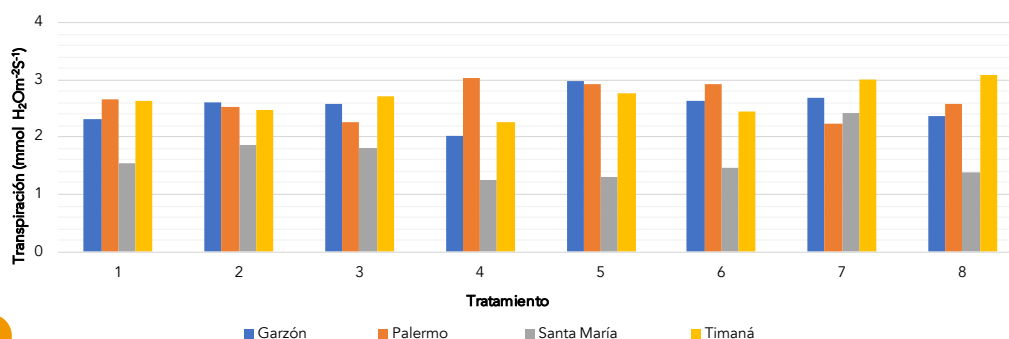
Figura 2.7.

Variables fisiológicas asociadas al intercambio gaseoso en las cuatro localidades del departamento del Huila para el clon Dominico-Hartón.
a. Fotosíntesis; b. Conductancia estomática; c. Transpiración.





b.

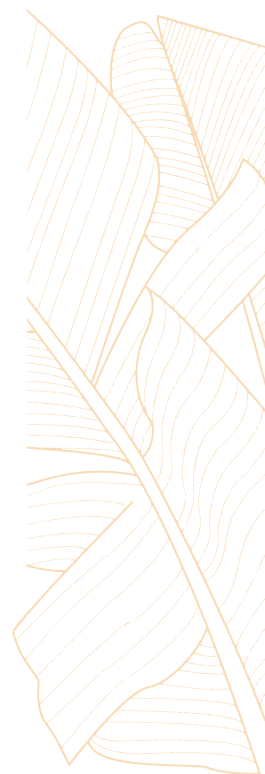


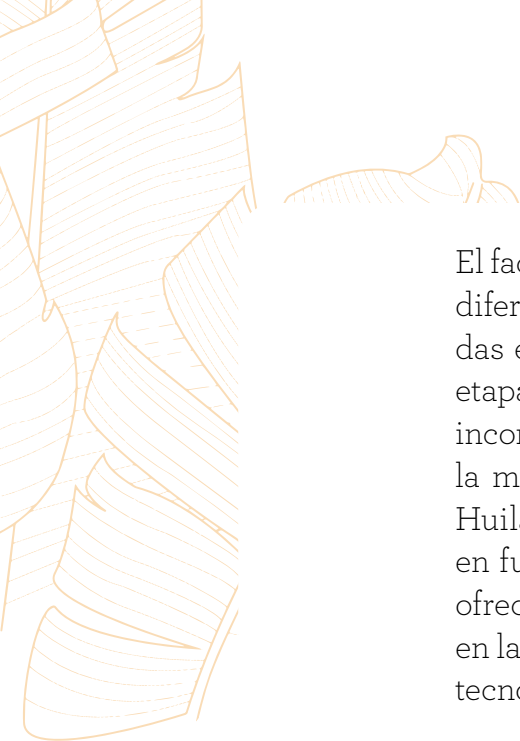
c.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El uso de sustancias bioestimulantes sobre plantas de plátano en etapa de vivero generó diferencias en las variables de desarrollo y fisiológicas en las cuatro localidades estudiadas; estas diferencias son muestra de los beneficios que el uso de estos productos genera sobre aspectos de la calidad de la semilla durante la etapa de vivero. La promoción del crecimiento y las mejoras en variables asociadas a la fisiología de la planta, como la fotosíntesis, representan resultados muy importantes en cuanto al mejoramiento de la calidad física y fisiológica del material vegetal y a la incorporación de estas plantas para lograr en ellas un desarrollo más acelerado en la etapa de vivero, entre otras ventajas con respecto a la adaptación de estas a las condiciones en campo.





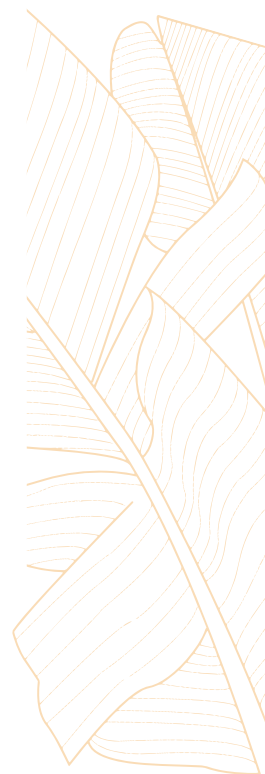
El factor localidad mostró una alta significancia para la expresión diferenciada de las variables de desarrollo y fisiológicas evaluadas en el material vegetal del clon Dominico-Hartón durante la etapa de vivero. Con estos resultados, se hace evidente que la incorporación de sustancias bioestimulantes, como estrategia en la multiplicación de semilla de plátano en el departamento de Huila, requiere una evaluación y un seguimiento diferenciados en función de las condiciones locales, por lo cual se debe evitar ofrecer recomendaciones genéricas, buscando validar resultados en las condiciones particulares donde se quiera hacer uso de esta tecnología.

La calidad de semilla en sus cuatro dimensiones (genética, física, fisiológica y sanitaria) debe tenerse en cuenta para los procesos de multiplicación de material vegetal en el cultivo de plátano. La incorporación del uso de sustancias bioestimulantes mejora atributos de calidad física (vigor de la planta), así como fisiológica (mejor desempeño en cuanto a la actividad fotosintética), lo que le da un valor agregado al material vegetal durante la etapa de vivero y le confiere mejores condiciones para su establecimiento definitivo en condiciones de campo.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Garzón, Huila. (2019). *Diagnóstico Plan de desarrollo municipio de Garzón 2016-2019*. <https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2021/03/Garzon-Acuerdo-No.-007-de-2020-Garzon-si-somos-el-cambio.pdf>
- Alcaldía Municipal de Palermo, Huila. (2019). *Plan de Desarrollo Municipal*. <https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2022-ACTUALIZACIONES/PlanDesarrollo/Palermo-Plan-de-desarrollo-2016-2019.pdf>
- Alcaldía Municipal de Santa María, Huila. (2015). *Plan de Desarrollo Municipal*. <https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Santa-Mara.pdf>

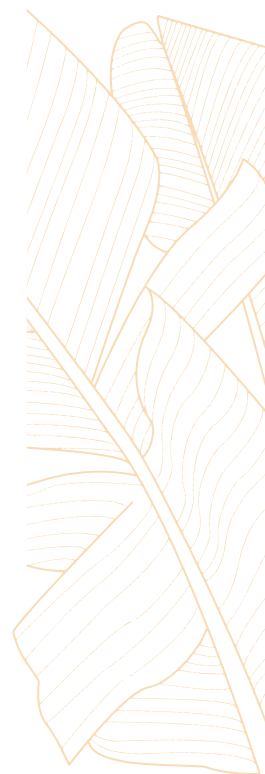
- Alcaldía Municipal de Timaná, Huila. (2020). *Plan de Desarrollo 2020-2023*. https://timanahuila.micolombiadigital.gov.co/sites/timanahuila/content/files/000405/20224_plan-definitivo.pdf
- Beaudreau, D. (2013). *Biostimulants in agriculture: Their current and future role in a connected agricultural economy*. Bioestimulant Coalition.
- Berger, S., Benediktyova, Z., Matou, K., Bonfig, K., Mueller, M. J., & Nedbal, L. (2007). High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. *Plant Methods*, 9(17).
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & Sons.
- Calderín, A., Pimentel, J., Martínez, D., Huelva, R., & Guridi, F. (2016). Efeitos no cultivo do milho de um extrato líquido humificado residual, obtido a partir de vermicomposto. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 38-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93242698007>
- Caldwell, D., Kim, B. S., & Iyer-Pascuzzi, A. S. (2017). *Ralstonia solanacearum* differentially colonizes roots of resistant and susceptible tomato plants. *Phytopathology*, 107(5), 528-536.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Climatology Lab. (2021). *Terraclimate*. <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- Couto, C. A., Peixoto, C. P., Vieira, E. L., Carvalho, E. V., & Peixoto, V. A. B. (2012). Ação da cinetina, ácido indolbutírico e ácido giberélico na emergência do girassol sob estresse por alumínio. *Comunicata Scientiae*, 3(3), 206-209. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=2JjHKiEAAAJ&citation_for_view=2JjHKiEAAAJ:gyKSN-GCBoIC
- Díaz-Puentes, L.-N. (2012). Resistencia sistémica adquirida mediada por el ácido salicílico. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

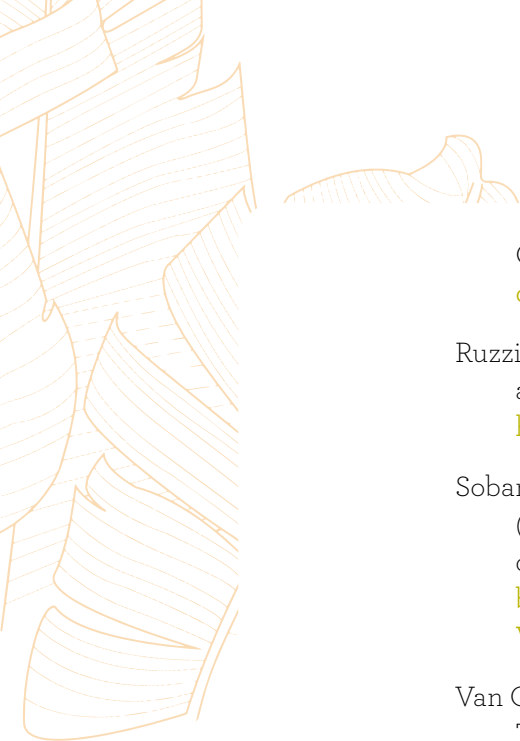




- Agroindustrial*, 10(2), 257-267. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000200030&lng=en&tln g=es
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- European Biostimulants Industry Council (EBIC). (2020). *Economic overview of the European biostimulants market*. <https://biostimulants.eu/highlights/economic-overview-of-the-european-biostimulants-market/>
- Feitosa, A. C., & Garófalo, L. H. (2019). Biostimulants and their role in improving plant growth under abiotic stresses. En S. M. Mirmajlessi, & R. Radhakrishnan (Eds.), *Biostimulants in plant science*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88829>
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., & Yermiyahu, U. (2015). The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in agronomy* (vol. 130, pp. 141-174). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>
- Hernández, O. L., Calderín, A., Huelva, R., Martínez-Balmori, D., Guridi, F., Aguiar, N. O., Olivares, F. L., & Canellas, L. P. (2015). Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 225-232. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0221-x>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2022). Consulta y descarga de datos hidrometereológicos (DHIME). <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Mateus-Cagua, D., & Rodríguez-Yzquierdo, G. (2019). Effect of biostimulants on dry matter accumulation and gas exchange in plantain plants (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(2), 151-160. <https://doi.org/10.17584/rech.2019v13i2.8460>
- Mateus-Cagua, D., González-Almario, A., Betancourt-Vásquez, M., & Rodríguez-Yzquierdo, G. (2024). Physiological response induced by biostimulants on plantain plants (*Musa AAB*) under *Ralstonia solanacearum* race 2 stress. *Ceres*, 71, e71019. <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710019>
- Mosa, W. F. A., Salem, M. Z. M., Al-Huqail, A. A., & Ali, H. M. (2021). Application of glycine, folic acid, and moringa extract as biostimulants for enhancing the production of 'Flame Seedless' grape

- cultivar. *Bioresources*, 16(2), 3.391-3.410. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/application-of-glycine-folic-acid-and-moringa-extract-as-bio-stimulants-for-enhancing-the-production-of-flame-seedless-grape-cultivar/>
- Nadarajah, K. K. (2020). ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), artículo 5208. <https://doi.org/10.3390/ijms21155208>
- Narancio, R., Zorrilla, P., Robello, C., Gonzalez, M., Vilaró, F., Pritsch, C., & Dalla Rizza, M. (2013). Insights on gene expression response of a characterized resistant genotype of *Solanum commersonii* Dun. against *Ralstonia solanacearum*. *European Journal of Plant Pathology*, 136(4), 823-835. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0210-y>
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
- Pichyangkura, R., & Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.031>
- Ramírez, M., & Rodríguez, A. (2012). Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 271-284. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a25.pdf>
- Rehman, H., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2021). Sequenced application of glutathione as an antioxidant with an organic biostimulant improves physiological and metabolic adaptation to salinity in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.041>
- Rodríguez Yzquierdo, G. A., Becerra Campiño, J. J., Betancourt Vásquez, M., Miranda Salas, T. C., & Alzáte Henao, S. V. (2019). *Modelo productivo: tecnologías eficientes para la producción de semilla de plátano en los Llanos Orientales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402711>
- Rodríguez Yzquierdo, G. A., Becerra Campiño, J. J., Betancourt Vásquez, M., Miranda Salas, T. C., Alzáte Henao, S. V., Pisco Ortiz, Y. C., & Sandoval Contreras, H. A. (2018). *Modelo productivo para la producción de plátano en los Llanos Orientales*. Corporación





- Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402674>
- Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042>
- Sobarzo Bernal, O. (2018). *Cerio en germinación y producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero* [tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3283/Sobarzo_Bernal_O_MC_Fisiologia_Vegetal_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(5), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- Veobides Amador, H., Guridi Izquierdo, F., & Vázquez Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-109. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193260659015/html/>
- Weather Spark. (2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Timaná*. <https://es.weatherspark.com/y/22360/Clima-promedio-en-Timan%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>
- Yakhin, O. I., Lubyantov, A. A., & Yakhin, I. A. (2016). Biostimulants in agrotechnologies: Problems, solutions, outlook. *Agrochemical Herald*, 1, 15-21.
- Yakhin, O. I., Lubyantov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, artículo 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>