

Efectividad de la distribución de melaza en patrones geométricos en el cultivo de tomate y su impacto en la productividad en campo

Effectiveness of molasses distribution in geometric patterns in tomato cultivation and its impact on field productivity

Autores:

MSc. Delvis Olivares - Sánchez, <https://orcid.org/0000-0002-7381-5492>

Lester Enoldis Romero - Olivares, <https://orcid.org/0009-0008-4118-579X>

Yaimer Pérez - Charón, <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>

Lianys García - Alvares, <https://orcid.org/0009-0006-2230-3450>

Filiación institucional: Universidad de Guantánamo, Cuba. Avenida Che Guevara km 1,5 Carretera a Jamaica, CP: 95100. Guantánamo, Cuba.

E-mail: delvis@cug.co.cu; lesterro@cug.co.cu; yaimer@cug.co.cu

Fecha de Recibido: 13 oct. 2025

Fecha de Aprobado: 11 dic. 2025

Resumen

Esta investigación busca evaluar la eficiencia agronómica de la melaza aplicada en un diseño geométrico espacial en el cultivo del tomate para optimizar su distribución y rendimiento en el municipio El Salvador. Se evaluaron diferentes patrones geométricos (cuadrado, triangular, hexagonal y en espiral), a la hora de aplicar las dosis de melaza. La combinación de estos factores en el diseño experimental de bloque completo al azar a campo abierto permitió que la aplicación de melaza a razón de 10ml/L de agua al cultivo, combinada con la distribución en un patrón geométrico hexagonal favoreciera significativamente la eficiencia y optimización del espacio, un mayor rendimiento y la eficiencia productiva. En resumen, el patrón hexagonal es el más efectivo porque optimiza la utilización del espacio y fortalece la estructura del cultivo, mientras que la melaza mejora el sustrato y la nutrición, lo que se evidencia en mejores resultados productivos en el tomate.

Palabras clave: Tomate; Melaza; Distribución espacial; Optimización matemática; Patrones geométricos

Abstract

This research seeks to evaluate the agronomic efficiency of molasses applied in a spatial geometric design in tomato cultivation to optimize its distribution and yield in the municipality of El Salvador. Different geometric patterns (square, triangular, hexagonal, and spiral) were evaluated when applying the doses of molasses. The combinations of these factors in the complete randomized block experimental design in open fields allowed for the application of molasses at a rate of 10ml/L of water to the crop, combined with the distribution in a hexagonal geometric pattern, to significantly favor efficiency and space optimization, higher yield, and productive efficiency. In summary, the hexagonal pattern is the most effective because it optimizes space utilization and strengthens the structure of the crop, while molasses improves the substrate and nutrition, which is evidenced by better production results in tomatoes.

Keywords: Tomato; Molasses; Spatial distribution; Mathematical optimization; Geometric patterns

Introducción

En los últimos años se ha incrementado a escala internacional una corriente dirigida a la producción de alimentos con los recursos del agroecosistema, para garantizar una alimentación más inocua y una mejor protección de los recursos naturales. En este contexto, se ha fortalecido la llamada agricultura ecológica (Vanlauwe, Wendt, Giller, Corbeels y Gerard, 2014). Los avances de esta forma de hacer agricultura, están estrechamente vinculados al riesgo demostrado que puede provocar a la salud humana, la presencia de residuos tóxicos provenientes de los pesticidas y algunos fertilizantes minerales en los alimentos agrícolas (Terry *et al.*, 2015).

Dentro de las hortalizas de fruto, el tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es considerado uno de los productos más rentables de la horticultura mundial por su consumo masivo, su demanda en la alimentación diaria y la creciente popularidad de su producción y rentabilidad (Cacoango, 2018). En la producción de tomate, se recomienda sembrar con distancias específicas entre surcos (120 cm) y entre plantas (25 cm) para lograr una densidad óptima que favorezca la fotosíntesis eficiente y el control de malezas. Estas distancias forman patrones regulares que pueden considerarse geométricos para maximizar el espacio y recursos (Álvarez, 2013).

La geometría está estrechamente vinculada con la agricultura, permite diseñar y planificar los cultivos de manera eficiente para optimizar el uso del espacio, el riego y la exposición solar. La geometría es fundamental en el diseño de terrazas agrícolas para controlar la erosión, en la organización de caminos rurales y en la rotación de cultivos para mejorar la salud del suelo. Por lo tanto, la aplicación de principios geométricos en la agricultura no solo optimiza la producción sino que contribuye a la sostenibilidad y rentabilidad de las explotaciones agrícolas (Mamani, 2021). La geometría que estudia patrones y proporciones perfectas en la naturaleza (incluyendo estructuras botánicas), ha sido explorada para entender cómo aplicar estos principios en la agricultura y diseño de cultivos, aunque su uso práctico en la distribución de productos beneficiosos para las plantas y específico en el tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es más conceptual.

La geometría como explica Zapata (2014), se utiliza en la planificación agrícola para diseñar sistemas de riego, caminos y control de plagas, basándose en la distribución geométrica de cultivos para mejorar la eficiencia y productividad. Algunos estudios agrícolas emplean técnicas geomáticas (GPS, SIG y cartografía) para gestionar parcelas y optimizar la siembra,

lo que implica un uso avanzado de patrones espaciales y geométricos en la agricultura. La presente investigación pretende dar a conocer algunos aspectos de la relación matemática - agricultura, dentro del contexto del desarrollo agrícola con miras a procesos inclusivos y la finalidad de evaluar la eficiencia agronómica de la melaza aplicada en un diseño geométrico espacial en el cultivo del tomate para optimizar su distribución y rendimiento en condiciones de campo, en el municipio El Salvador.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el municipio El Salvador, en la finca de La Luisa, del barrio Jamaiquita, perteneciente a la CCS Guillermo Castro, sobre un suelo Pardo Sialítico Mullido Carbonatado, profundidad efectiva de 60 cm, con buen drenaje según MINAGRI (1999); desde el 19 de enero al 5 de abril de 2025.

Para la investigación se utilizó un diseño de bloque al azar (bifactorial), con cuatro tratamientos, tres repeticiones, formándose 12 parcelas, con 5,0 m de largo por 6,0 m de ancho para un área de 30 m² (Rodríguez *et al.*, 2007) y una separación de un metro entre ellas como efecto de borde. Para un total de 83 plantas por parcelas y un cómputo de 996 plantas en el experimento.

Este diseño permitió controlar la variabilidad del terreno y factores ambientales, asignando al azar las diferentes dosis de melaza a bloques espaciales o parcelas que están organizadas según un patrón geométrico. Este diseño permite comparar el efecto de cada dosis dentro de cada patrón geométrico, evaluando el crecimiento y rendimiento del cultivo de manera precisa y eficiente.

Tratamientos	Dosis de melaza (ml/L)	Patrón geométrico de distribución
T ₁	Testigo absoluto. Sin aplicación	Sin patrón
T ₂	5	Triangular
T ₃	10	Hexagonal
T ₄	15	Espiral

Tratamiento **T₁**(testigo absoluto): en este patrón las plantas se disponen de un patrón geométrico de distribución ya que no se aplica la melaza.

Tratamiento **T₂**: aplicación de melaza 5 ml/L de agua y distribución en patrón geométrico triangular (puntos equidistantes formando triángulos equiláteros). Esta disposición maximiza

la captación de luz solar y el flujo de aire, favoreciendo el crecimiento y reduciendo enfermedades.

Tratamiento **T₃**: aplicación de melaza 10 ml/L de agua y distribución en patrón geométrico hexagonal (formando celdas hexagonales, optimizando espacio).

Tratamiento **T₄**: aplicación de melaza 15 ml/L de agua y distribución en patrón geométrico en espiral o fractal (para evaluar efectos en un patrón más complejo).

Los patrones geométricos utilizados permiten maximizar el efecto del bioproducto en las plantas, mejorar la eficiencia productiva y los rendimientos, así como, facilitar el análisis matemático y estadístico al tener tratamientos ligados a estructuras geométricas bien definidas.

La preparación del suelo y atenciones al cultivo se realizó según normas técnicas descritas en el Manual Técnico de Organopónico y Huertos Intensivos. La variedad Vyta es la utilizada en el experimento, por su adaptabilidad a las condiciones climáticas del municipio.

Análisis estadísticos: a partir de los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza bifactorial. Para la determinación de las diferencias entre los tratamientos, se utilizó la prueba de Tukey para $p \leq 0,05\%$ de probabilidad de error, para el estudio estadístico el análisis de varianza ANOVA y para la elaboración de los gráficos el programa EXCEL, 2010.

Para determinar matemáticamente la influencia de los patrones geométricos de distribución, nos basamos en principios de geometría, densidad de planta, radio de influencia y eficiencia espacial a partir de las siguientes fórmulas.

Densidad de planta (planta/m²)

$$\text{Patrón cuadrado } D_c = \frac{1}{d \times h} \quad \text{Patrón triangular } D_t = \frac{2}{\sqrt{3} \times d^2}$$

$$\text{Patrón hexagonal } D_h = \frac{4}{\sqrt{3} \times d^2} \quad \text{Patrón en espiral } D_e = \frac{1}{2\pi \times 0.25^2}$$

$$\text{Área por planta (m}^2\text{)} \quad A = \frac{1}{D} \quad \text{Radio de zona de influencia (m)} \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$\text{Eficiencia espacial (\%)} \quad E = \frac{\pi \times 0.125^2}{A} \times 100$$

Variables evaluadas: se seleccionaron 25 plantas por parcelas para la muestra y como área de cálculo en la parcela se consideró la correspondiente a los tres surcos centrales, excepto dos plantas en ambos extremos de cada surco.

- Número de fruto por planta (u): se realizó el conteo visual cuando apareció el 50% de los frutos cuajados y se determinó la media.
- Diámetro de los frutos (mm): la medición se realizó con un pie de rey en el momento que se hizo el pesaje de los frutos.
- Masa fresca de los frutos (kg): se pesaron los frutos por tratamientos con una balanza analítica.
- Rendimientos agrícolas ($t \cdot ha^{-1}$): se determinó la producción agrícola del cultivo en cada cosecha, con las medias del número de frutos por plantas y la masa fresca del fruto por tratamiento.

Los resultados se evaluaron económicamente para conocer el tratamiento de mejor relación beneficio/costo.

Resultados y discusión

Comportamiento de las variables climáticas durante la etapa experimental

El siguiente gráfico muestra la influencia de los factores climáticos (temperatura, humedad relativa y precipitaciones) durante la investigación.

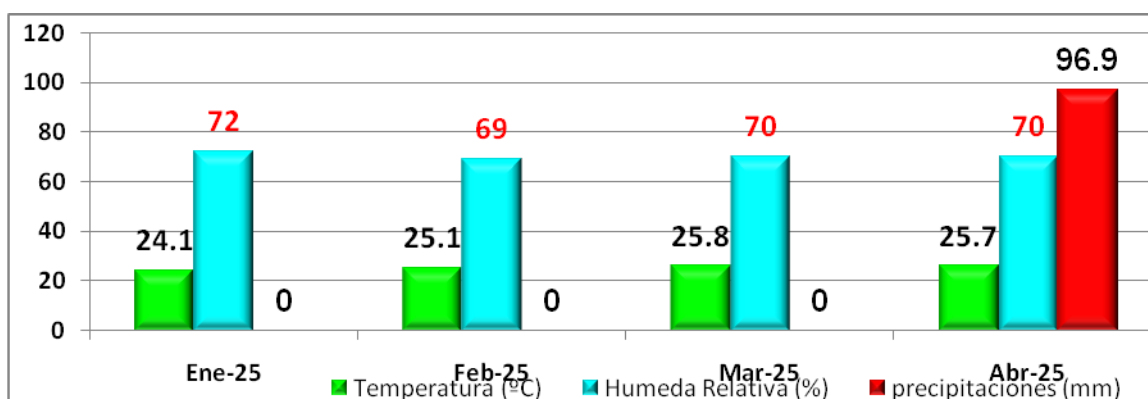


Figura 1. Influencia de los factores climáticos durante la investigación.

Según datos del Centro Meteorológico Provincial Guantánamo del CITMA, las temperaturas media en la etapa experimental oscilaron entre los 24 y 26 °C, estando dentro del rango de temperaturas del cultivo (15 a 27 °C) según Guenkov (1969).

La humedad relativa durante el experimento se comportó entre 69 y 72%, razón por la cual se vio afectada la fructificación, pues la humedad relativa más favorable para el desarrollo del tomate se considera entre el 50 y 60%. Según Huerres y Caraballo (1996), la humedad relativa influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y

desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferible humedades medias no superiores al 50%.

Las precipitaciones se comportaron de manera escasa y mal distribuida en tiempo y espacio. Las precipitaciones ocurrieron en la etapa final del experimento, mes de abril con 96,9 mm, valores ya insignificante para el experimento. Coincidimos con una serie de autores que plantean que este es un cultivo relativamente resistente a la sequía. Sin embargo, por su gran superficie foliar y sistema radicular desarrollado, utiliza un alto volumen de agua del suelo, pero de una forma económica (Álvarez, 2005).

Análisis de las variables número de frutos por planta y diámetro del fruto

La significancia estadística de la melaza, los patrones geométricos de distribución y su interacción con el cultivo mostró el efecto en el tiempo para las variables de número de frutos por planta, su efecto se presenta en la Tabla 1. Para esta variable el tratamiento T₃ (10 ml/ L distribuida con patrón geométrico hexagonal, mostró mayor resultado con una media de 22,92 frutos y diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos, con 25,7% para T₁, 13,8% para T₂ y 25,04% para T₄.

En la misma tabla se reportan diferencias estadísticas entre los tratamientos establecidos en cuanto al diámetro del fruto, es el tratamiento T₃, el que presentó el mayor diámetro con valores de 73,74 mm.

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en las variables número de frutos por plantas y diámetro del fruto, de la variedad de tomate estudiada.

Tratamientos	Dosis de melaza (ml/L H₂O)	Número de frutos por planta (u)	Diámetro del fruto (mm)
T ₁	-	17,03c	60,05c
T ₂	5	19,75b	69,21b
T ₃	10	22,92a	73,74a
T ₄	15	17,18c	69,71b
CV (%)		10,74	16,47
ES+		0,31	0,02

Medias seguida de letras desiguales difieren significativamente de según prueba de Tukey para $p \leq 0,05$.

Los resultados obtenidos demuestran que la combinación de la dosis de melaza 10 ml/L de H₂O con patrón geométrico hexagonal es óptimas; según Suárez (2023), la melaza es

especialmente útil para plantas que requieren altos niveles de potasio, cruciales para el desarrollo radical, la floración, la fructificación y para plantas que requieren un pH más bajo; tiene propiedades antifúngicas y antibacterianas, lo que la hace útil para prevenir enfermedades y controlar la presencia de insectos dañinos. Además, puede ayudar a aumentar la resistencia de las plantas a las condiciones climáticas extremas, como la sequía de la región.

El patrón de distribución hexagonal es un arreglo geométrico que maximiza la absorción del agua, la melaza y sus nutrientes. Cada planta tiene equilibrada la distribución del bioproducto y lo recibe de manera uniforme. Esto permite que la planta exprese todo su potencial genético, aprovechando al máximo el beneficio nutricional proporcionado por la melaza. En resumen, este patrón geométrico es el más efectivo porque optimiza la distribución espacial de la melaza y fortalece la estructura del cultivo, mientras que la melaza mejora el sustrato y la nutrición, lo que se evidencia en mejores resultados productivos en el tomate.

Esta investigación demuestra que la efectividad no depende sólo de la dosis y del patrón geométrico de distribución, sino de la combinación sinérgica de ambos; es la estrategia más efectiva para aumentar tanto la producción como la calidad del fruto bajo las condiciones de campo.

Análisis de las variables masa fresca del fruto y rendimiento

La tabla 2 referente al efecto de diferentes dosis de melaza aplicada en un diseño geométrico espacial en condiciones de campo, muestra que el tratamiento donde se aplica melaza a razón de 10 ml/L de agua, distribuida en un patrón geométrico hexagonal supera a los demás tratamientos, tanto en la masa fresca como en rendimiento con valores de 24,02 kg y 63 t.ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en las variables masa fresca del fruto y rendimiento.

Tratamientos	Dosis de melaza (ml/L H ₂ O)	Masa fresca del fruto (kg)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
T ₁	-	14,92d	27,0c
T ₂	5	21,49b	56,0b
T ₃	10	24,02a	63,0a
T ₄	15	19,15c	27,3c
CV (%)		10,74	16,47

ES+	0,31	0,02
-----	------	------

Medias seguida de letras desiguales difieren significativamente de según prueba de Tukey para $p \leq 0,05$.

Una de las principales ventajas del uso de la melaza como abono es su capacidad para mejorar la calidad del suelo. Otra muy importante es su capacidad para estimular el crecimiento de microorganismos beneficiosos en el suelo. Estos microorganismos, como las bacterias y los hongos, son esenciales para la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. La melaza proporciona a estos microorganismos el alimento que necesitan para crecer y multiplicarse, lo que ayuda a mejorar la calidad del suelo y la salud de las plantas (Suarez, 2023).

El patrón geométrico hexagonal aplicado en el cultivo de tomate con una dosis de melaza de 10 ml/L de agua es efectivo por varias razones vinculadas con la eficiencia estructural y funcional de esta forma en sistemas naturales y agrícolas:

- Reconocida por maximizar el uso del espacio sin dejar vacíos, lo que permite una distribución más uniforme y eficiente de los recursos (agua, nutrientes) en el suelo y en la planta.
- En la naturaleza, como en los panales de abejas, el hexágono es una forma que optimiza la resistencia y minimiza el uso de materiales; aplicado a la agricultura, esto se traduce en una mejor disposición del cultivo, facilitando la absorción y distribución de la melaza y sus nutrientes.
- La melaza aporta nutrientes, energía para la flora benéfica del suelo y mejora la estructura del suelo, lo que en conjunto con un patrón hexagonal de distribución, puede potenciar el crecimiento y productividad del tomate.

La justificación de su efectividad se basa en que el hexágono es la forma geométrica más eficiente para cubrir una superficie sin desperdiciar espacio, mejora la resistencia estructural y optimiza la distribución de recursos externos como la melaza aplicada, que aporta compuestos que mejoran la salud del suelo y las plantas, y combinada con el patrón geométrico de distribución hexagonal, maximiza el potencial del cultivo.

Esta estrategia permitió determinar que existen pocas investigaciones relacionadas al tema propuesto, que la presente investigación tenga un diseño experimental innovador y fácil de interpretar tanto en matemáticas como en agricultura.

Evaluación de matemática de los patrones geométricos de distribución

La tabla 3 nos muestra que el patrón geométrico de distribución hexagonal para la aplicación de 10ml/L de melaza es matemáticamente óptimo porque hay una mayor densidad de planta con 36,95 plantas/m², muestra una mayor eficiencia en el uso del espacio con 181,5%, además de, reducir la competencia entre plantas por su radio de zona de influencia con 0.093 m.

Tabla 3. Tabla comparativa de los patrones geométricos de distribución de las dosis de melaza.

Parámetros	Patrón cuadrado	Patrón triangular	Patrón hexagonal	Patrón en espiral
Densidad (Plantas/M ²)	3.33	18.47	36.95	2.54
Área/planta (m ²)	0.30	0.054	0.037	0.39
Radio de zona de influencia (m)	0.309	0.131	0.093	0.354
Eficiencia espacial (%)	16.36	90.65	181.5	12.48

Valoración económica

En resumen, la valoración económica confirma que el mejor tratamiento es aquel que combina optimización de la distribución y la dosis adecuada de melaza para maximizar rendimiento y ganancias económicas, como se observó en el patrón hexagonal con aplicación de melaza 10 ml/L de agua.

Para determinar el efecto económico producido por los tratamientos en la producción de tomate, se realizó un análisis económico el cual se muestra en la tabla 4, teniendo como base el rendimiento obtenido. Logrando los mejores resultados cuando se aplica la dosis de melaza de 10 ml/L de agua reportando ganancias de \$ 63.033,98 por hectárea. Es válido destacar que el resto de los tratamientos donde se aplicó este producto mostraron ganancias superiores al testigo.

Tabla 4. Resultados económicos.

Tratamientos	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Costos de Producción (\$)	Valor de Producción (\$)	Ganancia (\$)
T ₁	27,0	6.810,64	29.935,98	23.125,34
T ₂	56,0	6.816,64	62.089,44	55.272,80

T ₃	63,0	6.816,64	69.850,62	63.033,98
T ₄	27,3	6.816,64	30.268,602	23.457,96

Los resultados obtenidos con la aplicación de melaza y su distribución en patrones geométricos en la variedad Vyta, permiten aceptar la hipótesis, por cuanto, los tratamientos que recibieron su aplicación, reportaron mejores resultados, tanto en crecimiento, como en desarrollo de las plantas, así como en el incremento de los indicadores de productividad, al obtener un producto de mejor calidad.

Conclusiones

La mejor respuesta de la variedad de tomate Vyta en el crecimiento y rendimiento ocurre bajo el efecto de la aplicación de melaza a 10ml/L de agua, con distribución espacial en patrón geométrico hexagonal.

La mejor respuesta de la variedad de tomate Vyta desde el punto de vista económico ocurre cuando se le aplica la dosis de melaza 10 ml/L de agua con patrón geométrico de distribución hexagonal, se obtienen 63,0 t. ha⁻¹ y se generan utilidades de \$63033,98.

Bibliografía

- Álvarez, A .2005. Influencia de los análogos de brasinoesteroides Biobras 16 (BB-16) y MI-1 en la incidencia de plagas, enfermedades y en los rendimientos del cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill.) en la Granja Estatal “Luis Marcano Álvarez “, Velasco, Municipio de Gibara en la provincia de Holguín. Trabajo de Diploma. en opción al título de Ing. Agrónomo.Universidad de Holguín.
- Álvarez, A. 2013.Evaluación del efecto de diferentes dosis del Bionutriente FitoMas E como alternativa ecológica en el cultivo *Solanum Lycopersicum*L (tomate), en la granja hortícola “Brisas”, Provincia Holguín. Tesis en opción al grado académico de Máster en Ciencias Agrícolas. Holguín, Cubas.
- Cacoango, M. (2018). Estudio de la adaptación y rendimiento de 10 variedades de tomate de riñón (*Solanum Lycopersicum* L) bajo invernadero, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gómez, A. y K. Gómez. 2018. Diseño y Análisis de Experimentos Agrícolas con SPSS. Primera edición. Disponible en:

https://tauniversity.org/sites/default/files/ebook_diseno_y_analisis_de_experimentos_agricolas_con_spss.pdf. Consultado 3 de junio de 2025.

Guenkov, G. 1974. Plantas hortícolas de frutos carnosos. En Fundamentos de horticultura cubana. La Habana. Instituto del libro, pp.123-143.

Huerres, P. C. y Caraballo, N. 1996. Horticultura. Ed. Pueblo y Educación La Habana, pp. 70, 83, 120, 128 – 129 y 138.

InfoAgro. 2023. La geometría perfecta de las abejas: Un secreto matemático. Disponible en: <https://infoagro.com.ar/que-patrones-matematicos-siguen-las-abejas-para-fabricar-sus-panales/>. Consultado: 3 de junio de 2025.

Mamani Álvarez Eliseo. 2021. Diseño de experimentos con pequeños agricultores. Una herramienta metodologica para redes de agricultores investigadores. Revista LEISA 37(1). Disponible en: <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-37-numero-01/disenio-de-experimentos-con-pequenos-agricultores-una-herramienta-metodologica-para-redes-de-agricultores-investigadores/>. Consultado 3 de junio de 2025.

Rodríguez, A., Companioni, N., Peña, E., Cañet, F., Fresneda, J., Estrada, J., Rey, R. 2007. Manual Técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida. sexta edición. ACTAF, INIFAT. Cuba, pp. 42-43, 68-69.

Suarez, J.R. 2023. Beneficios de la melaza como fertilizante.

Terry, E.A., J.P. Ruiz, T.P. Tejeda, I.E. Reynaldo, Y.S. Carrillo, y H.M. Morales. 2015. Interacción de bioproductos como alternativas para la producción hortícola cubana. Tecnociencia 8(3):14-18.

Vanlauwe, B., J. Wendt, K.E. Giller, M. Corbeels, and B. Gerard. 2014. Response to Sommer et al. (2014) “Fertilizer use is not required as a fourth principle to define Conservation Agriculture”. Field Crops Res. 169:149. doi:10.1016/j.fcr.2014.10.011.

Wikipedia, la enciclopedia libre. 2024. Historia de la geometría. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_geometr%C3%ADa. Consultado: 3 de junio de 2025.

Zapata, F.N. 2014. La geometría de las plantas. Una experiencia de modelación matemática en el pensamiento espacial y sistema geométrico. Trabajo de investigación presentado para optar por el título de Magíster en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 258 p.