

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

STATISTICAL MODELING OF THE EFFECT OF BIOCARBON ON THE MORPHOLOGY AND PRODUCTION OF *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, PIETRO HYBRID, UNDER COVER

Willian Francisco Carvajal Granizo¹, Daniel Antonio Chuquin Vasco²

{willian.carvajal@unach.edu.ec¹, daniel.chuquin@unach.edu.ec²}

Fecha de recepción: 22/11/2024 / Fecha de aceptación: 30/11/2024 / Fecha de publicación: 2/12/2024

RESUMEN: Este artículo muestra los resultados de la influencia del biocarbón en el desarrollo morfológico y la producción de tomates bajo condiciones controladas. Se utilizó un enfoque experimental con modelamiento estadístico para evaluar las diferencias en parámetros morfológicos y productivos de las plantas tratadas con distintas concentraciones de biocarbón. El estudio examinó la capacidad del biocarbón para mejorar la retención de agua, incrementar la disponibilidad de nutrientes y mejorar la estructura del suelo, lo que afectó directamente el crecimiento y rendimiento de las plantas. Se aplicaron varias dosis de biocarbón y se evaluaron los efectos en parámetros clave como altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo y rendimiento de frutos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la morfología y producción del cultivo. Las dosis intermedias de biocarbón generaron un aumento significativo en la altura de las plantas y el número de frutos, mientras que dosis más altas mostraron un efecto decreciente en algunos parámetros. El modelo estadístico permitió identificar la dosis óptima de biocarbón para maximizar la producción sin comprometer la calidad del fruto ni la salud del cultivo. Además, se discutió el papel del biocarbón como enmienda en sistemas agrícolas sostenibles, destacando su potencial para mitigar los efectos del cambio climático debido a su capacidad de secuestrar carbono en el suelo. El artículo concluyó que el uso de biocarbón, en dosis adecuadas, puede mejorar significativamente la producción de tomate bajo condiciones de cultivo protegido, aunque se recomendó realizar más estudios a largo plazo para evaluar su impacto en la salud del suelo y la productividad en ciclos agrícolas sucesivos. El biocarbón se presentó como una alternativa prometedora para optimizar la producción agrícola, con aplicaciones potenciales en diversos sistemas de cultivo sostenibles.

¹Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-0874-5011>.

²Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-9637-3140>.

Palabras clave: *Bio carbono, morfología, producción, Solanum lycopersicum, modelamiento estadístico*

ABSTRACT: This paper shows the results of the influence of biochar on morphological development and yield of tomato plants under controlled conditions. An experimental approach with statistical modeling was used to evaluate differences in morphological and productive parameters of plants treated with different concentrations of biochar. The study examined the ability of biochar to improve water retention, increase nutrient availability and improve soil structure, which directly affected plant growth and yield. Various doses of biochar were applied and the effects on key parameters such as plant height, number of leaves, stem diameter and fruit yield were evaluated. Statistical analysis showed significant differences between treatments in crop morphology and yield. Intermediate doses of biochar generated a significant increase in plant height and fruit number, while higher doses showed a decreasing effect on some parameters. The statistical model allowed the identification of the optimum biochar dose to maximize production without compromising fruit quality and crop health. In addition, the role of biochar as an amendment in sustainable agricultural systems was discussed, highlighting its potential to mitigate the effects of climate change due to its ability to sequester carbon in the soil. The article concluded that the use of biochar, in adequate doses, can significantly improve tomato production under protected cultivation conditions, although further long-term studies were recommended to evaluate its impact on soil health and productivity in successive agricultural cycles. Biocarbon was presented as a promising alternative to optimize agricultural production, with potential applications in diverse sustainable cropping systems.

Keywords: *Biocarbon, morphology, production, solanum lycopersicum, statistical modeling*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas a nivel mundial debido a su valor nutritivo y versatilidad. La variedad híbrida Pietro, destacada por su alta productividad y resistencia a enfermedades, fue ampliamente utilizada en sistemas agrícolas. Sin embargo, la sostenibilidad de su producción en invernaderos exigía prácticas innovadoras que optimizaran la eficiencia y minimizaran el impacto ambiental (1). El biocarbono, producto derivado de la biomasa vegetal mediante pirólisis, se considera como una enmienda del suelo prometedora, para mejorar la estructura del suelo, retención de agua y nutrientes, y promoviendo un crecimiento vegetal saludable. No obstante, su aplicación en cultivos bajo invernadero y su impacto en la morfología y producción del tomate requerían una evaluación científica (2).

Este estudio modeló estadísticamente los efectos del biocarbono en la morfología y producción del tomate híbrido Pietro en condiciones controladas. Se determinó la dosis óptima de biocarbono, mejorando la calidad del tomate en el periodo postcosecha y generando datos útiles para la gestión sostenible de cultivos hortícolas (3). Los objetivos específicos incluyeron: analizar los efectos del biocarbono en la morfología del tomate postcosecha, determinar la dosis óptima

para mejorar la producción y evaluar diversos parámetros de producción bajo diferentes dosis de biocarbono. La hipótesis de que el biocarbono influía positivamente en la morfología postcosecha fue confirmada, aportando indicadores clave para la planificación de la producción.

El análisis se basó en técnicas de modelamiento estadístico avanzadas, comparando los tratamientos de biocarbono en parámetros como tamaño, peso y calidad del fruto, así como en aspectos fisiológicos y bioquímicos postcosecha.

Esta investigación subrayó la relevancia de las prácticas agrícolas sostenibles y su impacto en la salud del ecosistema. El uso de biocarbono promovió una mayor eficiencia en el uso de recursos, mejorando la calidad y el rendimiento de los cultivos. Los resultados obtenidos aportaron conocimientos relevantes sobre el uso del biocarbono en la agricultura sostenible y ofrecieron estrategias prácticas para mejorar la producción de tomate en invernaderos.

Las implicaciones de estos hallazgos resaltaron la importancia de seguir investigando innovaciones agrícolas que afronten los desafíos del cambio climático y la seguridad alimentaria. En este sentido, el estudio se centró en Determinar mediante modelamiento estadístico la influencia de la aplicación de biocarbono en la morfología de tomate hortícola (*S. lycopersicum* L.) bajo cubierta en el periodo postcosecha.

El problema de investigación abordó la temática de que en general, las raíces en las plantas no tienen únicamente la función de otorgar soporte y anclaje al suelo, sino también la absorción de agua y la captación de nutrientes, así como un buen sistema radicular de la tomate hortícola da como buenos resultados el desarrollo, la cantidad, la calidad de las ramificaciones que se obtienen en la cosecha del cultivo por tal razón se realiza un experimento con la utilización de calcio boro, zinc para determinar y mejorar los parámetros antes mencionados que estaban en problema y así lograr obtener unos resultados excelentes y de calidad del cultivo modelando desde el punto de vista estadístico su morfología y producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Por el alcance

La investigación es explicativa, ya que buscó comprender las relaciones causales entre el biocarbono y las características biométricas del *Solanum lycopersicum* L., híbrido Pietro, bajo cubierta. Mediante análisis de regresión múltiple, se identificó la influencia del biocarbono en el sustrato, así como su interacción sinérgica o antagonista, profundizando en los mecanismos que regulan el crecimiento y desarrollo de la planta. Los resultados tuvieron implicaciones tanto para la gestión agrícola como para el avance en el conocimiento de la horticultura (4).

Por el diseño

El estudio fue experimental, manipulando los niveles de biocarbono en el sustrato para observar su efecto en la morfología y producción de *S. lycopersicum* L. Este diseño permitió establecer

relaciones de causa y efecto, además de identificar posibles interacciones entre el biocarbón y las características de las plantas. El control de otros factores garantizó la validez interna y replicabilidad de los resultados (5).

La población estuvo constituida por plantas de *S. lycopersicum* L. que cumplieran con los criterios de inclusión definidos. La muestra fue probabilística y representativa, seleccionada aleatoriamente para reflejar la variabilidad poblacional y obtener conclusiones estadísticamente válidas.

El tamaño de la muestra fue adecuado para asegurar resultados manejables y significativos. Para la recopilación de datos, se realizaron mediciones biométricas, como altura, número de hojas y diámetro del tallo, así como evaluaciones de la producción y morfología del fruto en postcosecha. El diseño experimental controlado incluyó niveles variables de biocarbón en el sustrato, utilizando muestreo aleatorio y controles adicionales para asegurar la validez y fiabilidad de los datos.

El análisis estadístico, empleó técnicas como ANOVA para comparar los tratamientos con distintos niveles de biocarbón, seguidas de pruebas de comparaciones múltiples y análisis de regresión para estudiar la relación entre nutrientes y características biométricas. Las pruebas estadísticas determinaron la significancia de las diferencias, presentándose los resultados con intervalos de confianza y valores de p. Se ajustaron modelos lineales múltiples para cada variable dependiente, utilizando el biocarbón como variable independiente. Se evaluó la significancia de los coeficientes, calculando el R^2 para medir el ajuste, y se realizaron diagnósticos de residuos. Cuando fue necesario, se aplicaron transformaciones de variables para mejorar la linealidad y normalidad de los residuos.

Área de cultivo

La investigación sobre el modelamiento estadístico del efecto del biocarbón en la morfología y producción de *S. lycopersicum*, híbrido Pietro, se realizó en la parroquia Izamba, Tungurahua, Ecuador. El cultivo se desarrolló en 0.25 hectáreas a 2600 m.s.n.m., en suelos desgastados por la agricultura intensiva de hortalizas. El biocarbón se probó como un material emergente para reconstituir el suelo, mejorando su estructura microorgánica y promoviendo una agricultura más sostenible.

Técnicas de toma de datos

a) Área foliar (Último piso floral)

El área foliar del tomate hortícola, correspondiente al último piso floral, se determinó utilizando el software ImageJ. Se recolectó y fotografió las hojas sobre un fondo contrastante, se calibraron las imágenes con una escala conocida y se convirtió a escala de grises. Tras ajustar el umbral para seleccionar solo la hoja, se midió el área con la función "Analyze Particles", obteniendo mediciones precisas para estudios de fisiología vegetal y análisis de crecimiento (6).

b) Número de entrenudos

El número de entrenudos se midió utilizando un flexómetro. Se seleccionó la planta, se identificó los entrenudos (secciones del tallo entre dos nudos consecutivos) y se colocó el flexómetro en la base del tallo o en el primer nudo. Luego, se extendió el flexómetro hasta el nudo final requerido, manteniéndolo recto y paralelo al tallo. Se contaron los entrenudos visibles entre el primer y último nudo medido, sin medir la longitud de cada entrenudo individualmente, y se registró el número total de entrenudos (7).

c) Longitud entrenudos

Para medir la longitud de los entrenudos, se seleccionó la planta y se identificó los entrenudos (secciones del tallo entre dos nudos consecutivos). Se colocó el extremo del flexómetro en el primer nudo y se extendió a lo largo del entrenudo hasta el siguiente nudo, asegurándose de que la cinta estuviera recta y paralela al tallo para obtener una medición precisa. Se registró la longitud medida de cada entrenudo y se repitió el proceso para varios entrenudos a lo largo del tallo, obteniendo un promedio (8).

d) Altura de planta

Se seleccionó una planta de tomate hortícola para medir su altura. Se prepararon las herramientas, utilizando un flexómetro. Se estableció el punto de inicio al colocar el extremo inferior del flexómetro justo donde el tallo emerge del suelo. Luego, se extendió el flexómetro siguiendo el tallo principal de la planta hasta el punto más alto. Se anotó la altura total desde la base del tallo hasta el punto más elevado de la planta, asegurándose de que el flexómetro estuviera recto y paralelo al tallo para obtener una medición precisa. Finalmente, se registró la altura (9).

e) Días altura máxima

Se registraron los datos iniciales marcando la altura de la planta de tomate al comenzar el seguimiento. Se realizaron mediciones periódicas, registrando la altura de las plantas a intervalos regulares, cada semana. Se identificó la altura máxima observando el momento en que la planta alcanzó su valor máximo y dejó de crecer. Finalmente, se contó el número de días desde el inicio del seguimiento hasta el día en que se alcanzó la altura máxima (10).

f) Diámetro del tallo (45 días)

Se midió el diámetro del tallo del tomate hortícola utilizando un calibrador pie de rey. Se verificó que el calibrador estuviera limpio y ajustado a cero. Se seleccionó la planta y se ubicó el punto de medición en la base del tallo. Se abrieron las mandíbulas del calibrador para colocar el tallo, asegurando que estuvieran perpendiculares. Se registró la medida obtenida en un dispositivo de registro.

g) Volumen de raíces

Para medir el volumen radicular se utilizó el método de Arquímedes, se preparó un cilindro graduado grande, agua y las raíces de la planta. Se llenó el cilindro con agua, anotando el volumen inicial (V1). Luego, se sumergieron las raíces cuidadosamente, asegurando que estuvieran completamente bajo el agua sin tocar los bordes del cilindro. Se midió el desplazamiento del agua observando el nuevo nivel y registrando este volumen (V2). El volumen radicular resultó de restar el volumen inicial (V1) del volumen final (V2). Finalmente, se registró el volumen radicular obtenido (11).

h) Diámetro ecuatorial

Para medir el diámetro ecuatorial del fruto del tomate hortícola, se utilizó un calibrador vernier. Se colocó el tomate en una superficie plana y se abrieron las mordazas del calibrador lo suficiente para que el fruto pudiera caber entre ellas. Luego, se posicionó el calibrador en la parte más ancha del tomate y se cerraron las mordazas suavemente, evitando aplicar presión excesiva. Se leyó la medida en la escala principal y en la escala vernier del calibrador para garantizar precisión, y finalmente, se registró el resultado (12).

i) Diámetro polar

Para medir el diámetro polar del fruto del tomate hortícola, se utilizó un calibrador pie de rey. El tomate se colocó en una superficie plana y estable, abriendo las mordazas del calibrador lo suficiente para que el fruto pudiera caber entre ellas. Se posicionaron las mordazas a lo largo del diámetro polar, que abarca el eje del fruto desde el punto más alto hasta el más bajo. Las mordazas se cerraron suavemente, evitando presión excesiva para no dañar el tomate. Finalmente, se leyó la medida en la escala del calibrador y se registró el resultado (13).

j) Número de racimos

Se examinó cada planta de tomate hortícola cuidadosamente, los racimos formados por grupos de frutos que emergen de un solo punto de la planta, luego se contó los racimos desde la base de la planta hasta la parte superior. Los racimos suelen estar ubicados a lo largo del tallo principal y las ramas laterales. Finalmente, se registraron los datos por planta (14).

k) Número frutos racimo

En este caso, se eligió uno o varios racimos representativos de la planta para asegurar que la muestra sea representativa, se procedió a contar el número total de frutos en cada racimo seleccionado y se registró el número de frutos por racimo, para cada racimo evaluado (15).

l) Número de frutos/planta

En este caso, se seleccionaron varias plantas para obtener una muestra representativa, luego se contaron los racimos presentes en cada planta, verificando el número de frutos en cada racimo. Finalmente se conmutó el total de frutos, multiplicando el número de frutos por racimo por el número total de racimos para obtener el número total de frutos en cada planta. Finalmente, se registró el número total de frutos por planta para cada planta evaluada (16).

m) Días a la maduración

Los datos de esta variable respondieron a la selección de un grupo representativo de flores cuajadas en varias plantas, verificando que los frutos estén en la misma etapa de desarrollo inicial (ovario fecundado). Luego, se registró la fecha en que los frutos muestran signos de maduración, como el cambio de color, y se monitoreó regularmente hasta que alcancen la madurez completa mediante una ficha de maduración, con colores estandarizados para evaluar visualmente los índices de maduración. Para calcular el tiempo de maduración, se resta la fecha de inicio de la fecha de maduración completa, se obtuvo así, el número de días hasta la maduración. Finalmente, se registró los datos (17).

n) Peso del fruto

Para medir el peso del fruto del tomate hortícola a pesar, se elegirán los que estén limpios y secos para lograr mediciones precisas mediante una balanza, se coloca cada fruto individualmente en ella y, se registra el peso de cada uno por separado. Finalmente, se calcula el promedio de los pesos de las muestras (18).

o) Volumen del fruto

Para medir el volumen del fruto del tomate hortícola se utilizó el método de Arquímedes, llenando un recipiente con agua, se verifica que sea lo suficientemente grande para sumergir el fruto sin que el agua se desborde. Se registra el nivel inicial del agua y, se pesa el fruto para garantizar la precisión. Se sumerge cuidadosamente el fruto en el agua, evitando que toque las paredes del recipiente y se midió la diferencia en el nivel del agua; es decir, la diferencia entre el nivel inicial y el nivel final tras sumergir el fruto, representa su volumen en mililitros (19).

RESULTADOS

Hipótesis

Las respuestas de las variables relacionadas con los objetivos con respecto a la aceptación o rechazo de las hipótesis están reflejadas en la Tabla 1. Donde se observa por sus valores, la aceptación de las hipótesis alternativas en función de haber observado diferencias en al menos alguno de sus tratamientos.

Tabla 1. Resultado de las hipótesis por objetivos frente a la respuesta de las variables en estudio para el modelamiento estadístico del efecto del bio carbono en la morfología y producción de *S. licopersicum*, L, híbrido pietro, bajo cubierta

Objetivos	Hipótesis	Respuestas ($\alpha = 0.05$)	
		Rechazar	Aceptar
General: Determinar mediante modelamiento estadístico la influencia de la aplicación	Hipótesis Nula (H_0): La aplicación de biocarbono no influye en la morfología de tomate hortícola (<i>S. licopersicum</i> , L.) bajo cubierta durante el periodo postcosecha.	✓	

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

de biocarbón en la morfología de tomate hortícola (<i>S. lycopersicum</i> L.) bajo cubierta en el periodo postcosecha.	Hipótesis Alternativa (H_1): La aplicación de biocarbón influye en la morfología de tomate hortícola (<i>S. lycopersicum</i> , L.) bajo cubierta durante el periodo postcosecha.	✓
Específico 1: Analizar los efectos del biocarbón en la respuesta morfológica postcosecha del tomate hortícola variedad Pietro	Hipótesis Nula (H_0): El biocarbón no tiene efectos en la respuesta morfológica postcosecha del tomate hortícola variedad Pietro.	✓
	Hipótesis Alternativa (H_1): El biocarbón tiene efectos en la respuesta morfológica postcosecha del tomate hortícola variedad Pietro.	✓
Específico 2: Determinar cuál fue la mejor dosis de biocarbón en la morfología y producción del tomate hortícola variedad Pietro en postcosecha.	Hipótesis Nula (H_0): No hay diferencia significativa en la morfología y producción del tomate hortícola variedad Pietro en postcosecha entre las diferentes dosis de biocarbón aplicadas.	✓
	Hipótesis Alternativa (H_1): Existen diferencias significativas en la morfología y producción del tomate hortícola variedad Pietro en postcosecha entre las diferentes dosis de biocarbón aplicadas.	✓
Específico 3: Evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón en la producción de tomate hortícola variedad Pietro, mediante la medición de diferentes parámetros.	Hipótesis Nula (H_0): No hay efecto significativo de las diferentes dosis de biocarbón en la producción de tomate hortícola variedad Pietro, medido a través de los diferentes parámetros.	✓
	Hipótesis Alternativa (H_1): Las diferentes dosis de biocarbón tienen un efecto significativo en la producción de tomate hortícola variedad Pietro, medido a través de los diferentes parámetros.	✓

Estadísticos descriptivos

El análisis de los estadísticos descriptivos permitió resumir y describir las características esenciales del conjunto de datos utilizado. Donde las medidas como la media, mediana, moda, desviación estándar y coeficiente de variación ayudan a comprender la distribución, tendencia central y dispersión de los datos se facilitó la interpretación de la información y permitió comparar conjuntos de datos. El coeficiente de variación (CV) de este estadístico descriptivo Tabla 2, señala la baja dispersión relativa de los datos respecto a la media, de todas las variables respuesta. Está expresado como un porcentaje y se calcula dividiendo la desviación estándar entre la media, multiplicado por 100. Este CV bajo, de las variables respuesta empleadas, sugiere poca variabilidad en relación con la media.

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del efecto del bio carbono en la morfología y producción de *Solanum lycopersicum*, L, híbrido Pietro, bajo cubierta.

Variables	N	Media	Error Estándar de la media	Desv. Est.	Coef Var	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.
Área Foliar cm ²	50	34.5	0.13	0.91	2.62	32.8	36.3	33.8	35.4	34.4
No. entrenudos	50	9.01	0.05	0.38	4.24	8.13	8.75	9.03	9.28	9.93
Long. Entrenudos cm	50	17.64	0.05	0.39	2.23	16.84	17.43	17.76	17.96	18.10
Alt. planta cm	50	188.5	0.11	0.80	0.42	187.1	187.9	188.5	189.15	190.2
Días altura máx. cm.	50	92.59	0.23	1.61	1.74	89.42	91.92	92.92	93.79	95.16
Perímetro tallo 90 días, cm.	50	9.10	0.09	0.68	7.49	7.84	8.59	8.95	9.75	10.41
Volumen raíces ml.	50	2.83	0.07	0.48	17.02	1.78	2.46	2.76	3.23	4.12
Diámetro ecuatorial cm.	50	7.65	0.06	0.45	5.91	6.58	7.39	7.64	7.96	8.52
Diámetro polar cm.	50	5.71	0.07	0.48	8.39	4.78	5.37	5.62	6.16	6.88
No. racimos	50	8.99	0.04	0.26	2.92	8.46	8.81	9.03	9.16	9.58
No. frutos/racimo	50	5.29	0.07	0.52	9.82	4.43	4.89	5.23	5.64	6.46
No. frutos/planta	50	52.24	0.17	1.19	2.27	50.59	51.06	52.11	53.34	54.61
Días maduración	50	103.63	0.09	0.71	0.68	102.57	103.09	103.56	104.22	105.11
Peso fruto (g)	50	245.34	0.08	0.56	0.23	244.27	244.85	245.32	245.90	246.49
Vol. fruto (ml)	50	2.52	0.07	0.48	18.93	1.74	2.14	2.42	3.00	3.53

Normalidad

Para este estadístico, se efectuó una prueba de normalidad con el fin de determinar si el conjunto de datos para el modelamiento estadístico del efecto del bio carbono en la morfología y producción de *S. lycopersicum*, híbrido Pietro, bajo cubierta sigue una distribución normal como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov Test para el efecto del bio carbono en la morfología y producción de *Solanum lycopersicum*, L, híbrido Pietro, bajo cubierta.

Variables	Media	Desv. Est.	N	KS	Valor p
Área Foliar cm ²	34.53	0.90	50	0.09	>0.150
No. entrenudos	9.02	0.38	50	0.09	>0.150
Long. Entrenudos cm	-4.19 ⁻¹⁴	1.01	50	0.08	>0.150
Alt. planta cm	-5.35 ⁻¹⁴	1.01	50	0.09	>0.150
Días altura Max. cm.	-1.74 ⁻¹³	1.01	50	0.10	>0.150
Perímetro tallo 90 días, cm.	-1.45 ⁻¹⁴	1.01	50	0.06	>0.150
Volumen raíces ml.	-1.07 ⁻¹⁵	1.01	50	0.11	0.149
Diámetro ecuatorial cm.	-9.64 ⁻¹⁵	1.01	50	0.07	>0.150
Diámetro polar cm.	-3.21 ⁻¹⁵	1.01	50	0.09	>0.150
No. racimos	-6.01 ⁻¹⁵	1.01	50	0.09	>0.150
No. frutos/racimo	-3.25 ⁻¹⁵	1.01	50	0.09	>0.150
No. frutos/planta	-2.30 ⁻¹⁴	1.01	50	0.08	>0.150
Días maduración	-2.99 ⁻¹⁴	1.01	50	0.11	0.140
Peso fruto (g)	-2.37 ⁻¹³	1.01	50	0.10	>0.150
Vol. fruto (ml)	1.02 ⁻¹⁵	1.01	50	0.08	>0.150

Con respecto a las gráficas de residuos vs ajustes, los datos son homocedasticos por no tener una forma establecida. Finalmente, en la gráfica de residuos vs orden, los datos se muestran aleatorios e indicaron que existe independencia, Figura 1.

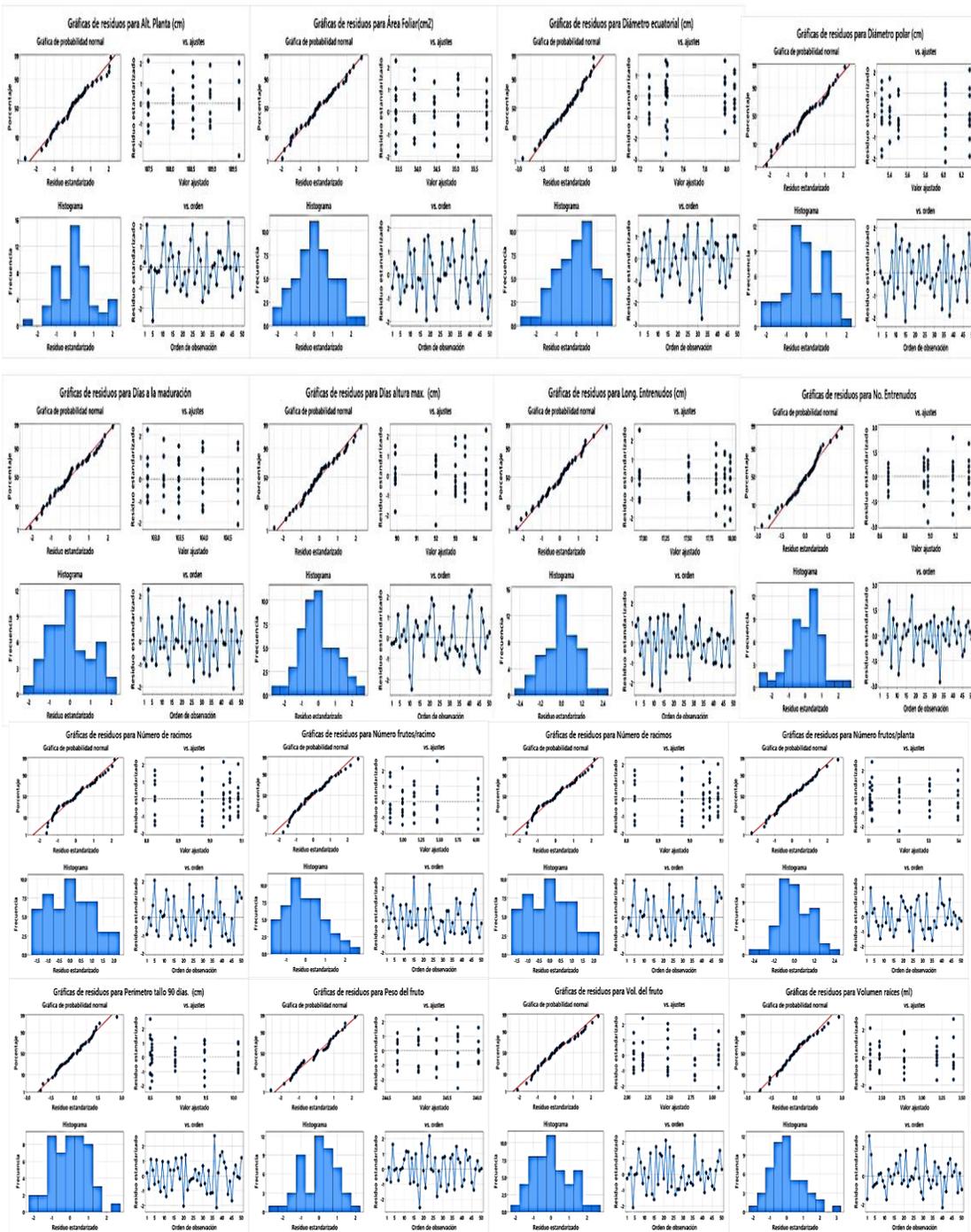


Figura 1. Gráficas cuatro en uno de probabilidad normal (Q-Q plot); residuos estandarizados vs. ajustes (Homocedasticidad); Histograma y; residuos estandarizados vs orden de observación (Independencia).

Este es un paso crucial en el análisis estadístico, ya que muchos métodos estadísticos asumen que los datos son normalmente distribuidos. Mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov Test para comparar y verificar si los 81 datos presentan una distribución normal, con el software estadístico Minitab 21 se realizó la prueba seleccionada.

Se agregan los datos y ejecutala prueba. Se interpretan los resultados y analiza el valor p, siendo este valor p mayor que 0.150 (en la gran mayoría de los casos), el cual, por conservadurismo estadístico, al utilizar un valor p mayor (como 0.150) como umbral, es una elección conservadora, que proporciona aún más confianza en que los datos son efectivamente normales, reduciendo el riesgo de cometer un error tipo I (rechazar incorrectamente una hipótesis nula verdadera).

El valor p mayor que 0.150 indica que los datos no muestran desviaciones significativas de una distribución normal, por lo que se considera que los datos siguen una distribución normal. De este modo, quedan validados los supuestos estadísticos, con el fin de probar un estadístico paramétrico como un ANOVA, que, asume que los datos son normales.

Análisis de varianza

Con el análisis de varianza (ANOVA), se determinó que hay diferencias estadísticas. Tabla 4. Nos permitió comparar las medias de los grupos en estudio, evitando el aumento del error tipo I. Además, se evaluó la variabilidad entre estos grupos en comparación con la variabilidad dentro de los grupos. En consecuencia, se admitió la Hipótesis Alternativa (H_1) pues, al menos una de las medias es diferente. El cálculo de este F-Estadístico, fue la razón de la varianza entre los grupos (entre tratamientos) a la varianza dentro de los grupos (error). La decisión en este caso, siendo el valor p menor que el nivel de significancia, rechaza la hipótesis nula. Esto indica que hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos.

Tabla 4. Análisis de varianza para el modelamiento estadístico del efecto del bio carbono en la morfología y producción de *S. lycopersicum*, L, híbrido Pietro, bajo cubierta.

Variables	Fuente						Valor F	Valor p
	SC Ajust.			MC Ajust.				
	Trat.	Err.	Tot.	Trat.	Err.			
Área Foliar cm ²	35.03	5.16	40.19	8.76	0.11	76.40	0.000	
No. entrenudos	2.36	4.81	7.17	0.59	0.11	5.51	0.001	
Long. Entrenudos cm	6.99	0.55	7.55	1.75	0.01	142.63	0.000	
Alt. planta (cm)	27.02	4.23	31.44	6.76	0.09	68.69	0.000	
Días altura máx. cm.	123.54	3.59	127.13	30.89	0.08	386.89	0.000	
Perímetro tallo 90 días, cm.	18.04	4.73	22.76	4.51	0.11	42.9	0.000	
Volumen raíces ml.	8.01	3.41	11.42	2.00	0.08	26.42	0.000	
Diámetro ecuatorial cm.	5.04	4.96	10.00	1.26	0.11	11.45	0.000	
Diámetro polar cm.	7.24	4.00	11.24	1.81	0.09	20.37	0.000	
No. racimos	0.45	2.95	3.39	0.11	0.07	1.71	0.165 ns	
No. frutos/racimo	8.88	4.37	13.25	2.22	0.09	22.87	0.000	
No. frutos/planta	63.69	5.28	68.97	15.92	0.11	135.59	0.000	
Días maduración	21.37	3.06	24.43	5.34	0.07	78.57	0.000	

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

Peso fruto (g)	11.08	4.44	15.52	2.77	0.09	28.07	0.000
Vol. fruto (ml)	6.91	4.26	11.17	1.73	0.09	18.25	0.000

Nota: Los grados de libertad, en todos los casos son: tratamientos 4, error 45 y total 49.

Prueba de Tukey

Observada la existencia de diferencias entre los tratamientos, se efectuó una prueba de Tukey (Tukey's Honestly Significant Difference o HSD test), este método *post hoc* se ejecutó posterior al análisis de varianza (ANOVA), con el que se realizan comparaciones múltiples entre pares de medias de grupos y, con el fin de identificar específicamente cuáles medias son diferentes entre sí, Tabla 5.

Además, se calculó la diferencia mínima significativa (HSD) entre las medias de los grupos, con base en el tamaño de muestra, la variabilidad de los datos y el número de comparaciones realizadas, proporcionando un valor de p para cada par de comparaciones, donde, al obtener un valor p es menor que el nivel de significancia (en este caso 0.05), se rechazó la hipótesis nula para ese par, indicando que las medias de esos dos grupos son significativamente diferentes. Excepto en la variable número de racimos que fue estadísticamente igual.

Se generó una tabla que muestra todas las comparaciones posibles entre pares de medias de grupos, junto con los valores p correspondientes y la diferencia observada entre las medias, además, la prueba proporcionó intervalos de confianza para las diferencias de medias, lo que facilitó la interpretación visual de si esas diferencias son significativas, en concordancia con esto, los pares de grupos con valores p menores que el nivel de significancia fueron considerados significativamente diferentes, mientras que, los pares con valores p mayores no se consideraron significativamente diferentes.

Tabla 5. Prueba de Tukey para las variables en estudio del efecto del bio carbono en la morfología y producción de *S. licopersicum*, L, híbrido Pietro, bajo cubierta.

Medias de las Variables	Tratamientos				
	t1: BC 02% TR 98%	t2: BC 04% TR 96%	t3: BC 06% TR 94%	t4: BC 08% TR 92%	t5: BC 10% TR 90%
Área foliar	35.80 a	35.06 b	34.44 c	33.91 d	33.43 e
No. Entrenudos	9.30 a	9.18 a	8.99 ab	8.95 ab	8.67 b
Long. entrenudos (cm)	17.98 a	17.92 ab	17.82 b	17.51 c	16.96 d
Altura de plantas (cm)	189.64 a	188.96 b	188.55 c	188.07 d	187.49 e
Días altura máxima (cm)	94.56 a	93.49 b	92.99 c	91.99 d	89.91 e
Perímetro tallo a 90 días	10.08 a	9.47 b	8.95 c	8.53 d	8.49 d
Volumen de raíces (ml)	3.39 a	3.19 a	2.78 b	2.47 bc	2.36 c
Diámetro ecuatorial (cm)	8.07 a	7.98 a	7.45 b	7.44 b	7.29 b
Diámetro polar (cm)	6.29 a	6.02 a	5.51 b	5.40 b	5.32 b
No. De racimos	9.09 a	9.06 a	9.04 a	8.98 a	8.83 a
No. Frutos/racimo	6.02 a	5.47 b	5.16 bc	4.99 c	4.83 c

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

No. Frutos/planta	53.97 a	53.03 b	52.02 c	51.10 d	51.05 d
Días a la maduración	104.70 a	103.98 b	103.48 c	103.17 c	102.84 d
Peso del fruto (g)	246.02 a	245.68 ab	245.32 bc	245.03 cd	244.68 d
Volumen del fruto (ml)	3.07 a	2.79 ab	2.48 bc	2.18 cd	2.08 d

Optimización de respuesta

Las variables en este estudio se sometieron a una prueba de optimización de respuesta, poniendo de relieve como meta los máximos, con base en valores de partida inferiores y un techo objetivo que evidenció los tratamientos más relevantes planteados como solución con su respectivo ajuste como se muestra en la Tabla 6 y Figura 2.

Tabla 6. Optimización de respuestas para las variables estudiadas en función del efecto del del biocarbón en su morfología y producción de *S. lycopersicum*.

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Solución	Ajuste	EE del ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Alt. Planta (cm)	Máximo	187.065	190.242	t1: BC 02% TR 98%	189.639	0.099	(189.439; 189.839)	(188.976; 190.301)
Área Foliar(cm ²)	Máximo	32.842	36.269	t1: BC 02% TR 98%	35.804	0.107	(35.589; 36.020)	(35.089; 36.520)
Diámetro ecuatorial (cm)	Máximo	6.576	8.523	t1: BC 02% TR 98%	8.071	0.105	(7,860; 8,283)	(7,370; 8,773)
Diámetro polar (cm)	Máximo	4.782	6.882	t1: BC 02% TR 98%	6.290	0.094	(6,1001; 6,4800)	(5,6602; 6,9199)
Días a la maduración	Mínimo	-	102.574	t1: BC 02% TR 98%	102.837	0,082	(102,671; 103,004)	(102,287; 103,388)
Longitud entrenudos	Máximo	16.840	18.102	t1: BC 02% TR 98%	17.977	0.035	(17,9065; 18,0476)	(17,7432; 18,2110)
Número de entrenudos	Máximo	8.129	9.927	t1: BC 02% TR 98%	9.303	0,103	(9,095; 9,512)	(8,613; 9,994)
Número de racimos	Máximo	8.458	9.579	t1: BC 02% TR 98%	9.088	0.081	(8,9257; 9,2516)	(8,5482; 9,6291)
Número frutos/racimo	Máximo	4.431	6.462	t1: BC 02% TR 98%	6.025	0.098	(5,8264; 6,2233)	(5,3667; 6,6830)
Número frutos/planta	Máximo	50.595	54.614	t1: BC 02% TR 98%	53.969	0.108	(53,752; 54,188)	(53,246; 54,694)
Perímetro tallo 90 días. (cm)	Máximo	7.838	10.412	t1: BC 02% TR 98%	10.076	0.103	(9,870; 10,283)	(9,392; 10,761)
Peso del fruto	Máximo	244.272	246.498	t1: BC 02% TR 98%	246.017	0.099	(245,817; 246,217)	(245,354; 246,681)

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL BIO CARBONO EN LA MORFOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE *SOLANUM LICOPERSICUM*, L, HÍBRIDO PIETRO, BAJO CUBIERTA

Días altura máx. (cm)	Mínimo	-	89.422	t1: BC 02% TR 98%	89.914	0.089	(89,7336; 90,0935)	(89,3167; 90,5104)
Vol. del fruto	Máximo	1.740	3.528	t1: BC 02% TR 98%	3.074	0.097	(2,8776; 3,2694)	(2,4237; 3,7233)
Volumen raíces (ml)	Máximo	1.778	4.121	t1: BC 02% TR 98%	3.392	0.087	(3,2170; 3,5676)	(2,8109; 3,9738)



Figura 2: Gráficas para la optimización de respuestas de las variables estudiadas en función del efecto del del biocarbón en su morfología y producción de *S. lycopersicum*.

DISCUSIÓN

Área foliar (Último piso floral): El biocarbón, en este ensayo, influyó en el área foliar. La atención se centra en los efectos de la incorporación del biocarbón en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, así como en las posibles implicaciones para la agricultura sostenible. En este sentido, el tratamiento con menor porcentaje de biocarbón (t1: BC02%TR98%) propició por su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo una mejor área foliar (19). Posiblemente, la mejora de la estructura del suelo, a la que influye, aumentando la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo, lo que pudo favorecer el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes por las plantas.

Además, el aparente incremento de la fertilidad del suelo por la presencia del biocarbón, actuando como un reservorio de nutrientes esenciales, mejorando la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio para el tomate (20). El área foliar, como indicador crítico del crecimiento y la salud de las plantas, está directamente relacionado con la fotosíntesis y la producción de biomasa. Estudios han demostrado que la adición de biocarbón al suelo puede aumentar significativamente el área foliar del tomate hortícola variedad Pietro (21).

El aumento del área foliar se atribuye a una mejor absorción de nutrientes, fomentando la mayor disponibilidad de nutrientes en suelos enriquecidos con biocarbón, para nuestro caso, máximo al 2%, favoreciendo el crecimiento vegetativo, resultando en un mayor desarrollo del área foliar (22). El biocarbón fomentaría un ambiente favorable para los microorganismos beneficiosos del suelo, que son esenciales para la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, impactando positivamente en el rendimiento del cultivo y, en esta oportunidad, el área foliar (23).

Los entrenudos son la distancia entre dos nudos consecutivos en el tallo de una planta. En el tomate hortícola, el número de entrenudos es un indicador importante del crecimiento vegetativo y puede influir en la productividad del cultivo. Factores como la disponibilidad de nutrientes, agua, y la salud del suelo juegan un papel crucial en la formación de entrenudos (9). El tratamiento uno y dos (t1: BC02%TR98%, t2: BC04%TR96%), influyeron positivamente en el número de entrenudos debido, posiblemente, a la mejora en la retención de nutrientes y agua, al mejorar la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua, lo que puede resultar en un suministro constante y adecuado de estos recursos a las plantas. Un suelo que mantiene un buen balance hídrico y de nutrientes favorece un crecimiento vegetativo más saludable y uniforme, lo que puede incrementar el número de entrenudos (24).

El incremento en la actividad microbiana, debido a la estructura porosa del biocarbón proporcionó un hábitat ideal para microorganismos beneficiosos. Estos microorganismos pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes y estimular el crecimiento de las raíces, contribuyendo a un desarrollo más vigoroso de la planta y, por ende, a un mayor número de entrenudos (25). El biocarbón puede ayudar a mitigar el estrés abiótico, como la falta de humedad o las condiciones salinas del suelo. Al crear un ambiente más favorable para el crecimiento de la planta, el biocarbón puede permitir que el tomate variedad Pietro desarrolle más entrenudos, al no tener que destinar tantos recursos a la defensa contra el estrés. (26). La adición de biocarbón puede mejorar la estructura del suelo, aumentando la aireación y facilitando el crecimiento de las raíces. Un sistema radicular más extenso y saludable puede sustentar un crecimiento vegetativo más robusto, resultando en un mayor número de entrenudos (28).

Con relación a la longitud de entrenudos, el biocarbón y su influencia en el suelo, teniendo la capacidad de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, tal como ocurrió con el tratamiento uno (t1: BC02%TR98%). Su alta superficie específica proporciona un hábitat favorable para microorganismos beneficiosos, lo que puede potenciar la salud general del suelo y la productividad de los cultivos (1). La longitud de los entrenudos, es decir, la distancia entre dos nudos consecutivos en el tallo de una planta es un indicador crucial del crecimiento vegetativo y el desarrollo general de las plantas de tomate. Este parámetro puede ser influenciado por

factores ambientales y de manejo agrícola, como la disponibilidad de nutrientes, la iluminación y el régimen hídrico, donde la presencia de biocarbono lo ha fomentado (17). Al mejorar en la retención de agua y nutrientes, en la proporción del tratamiento uno, al adicionar biocarbono al suelo pudo mejorar la retención de agua y nutrientes, proporcionando un suministro más constante y accesible para las plantas de tomate. Esto puede resultar en un crecimiento más uniforme y vigoroso, influenciando positivamente la longitud de los entrenudos (5).

El biocarbono pudo aumentar la actividad y diversidad microbiana en el suelo, promoviendo interacciones simbióticas que mejoran la absorción de nutrientes por las plantas. Estas mejoras en la nutrición vegetal pueden reflejarse en un crecimiento vegetativo más robusto y en la elongación de los entrenudos (10). Al mejorar la estructura del suelo, el biocarbono facilitó un mejor desarrollo radicular, lo que pudo llevar a una planta más estable y saludable. Este desarrollo radicular robusto permite a las plantas explorar un mayor volumen de suelo para la absorción de agua y nutrientes, impactando directamente en la longitud de los entrenudos (11). Diversos estudios han mostrado que la aplicación de biocarbono en suelos destinados al cultivo de tomate puede resultar en entrenudos más largos y uniformes. En la variedad Pietro, caracterizada por su vigor y producción de frutos de alta calidad, la respuesta al biocarbono ha sido positiva, con incrementos significativos en la longitud de entrenudos observados en varias pruebas controladas (3).

Con relación a la altura de planta, el uso de biocarbono en las proporciones del tratamiento uno (t1: BC02%TR98%), ha ganado interés debido a sus beneficios potenciales para el suelo y las plantas. En el cultivo de tomate hortícola, específicamente la variedad Pietro, se ha observado el impacto del biocarbono en la altura de las plantas de tomate Pietro (19). El biocarbono contribuyó a una mejor estructura del suelo al aumentar su porosidad, lo que facilita la aireación y el drenaje. Un suelo bien aireado y con buen drenaje permite que las raíces del tomate se desarrollen de manera más eficiente, promoviendo un crecimiento vigoroso y una mayor altura de las plantas. (29). La capacidad del biocarbono para retener agua y nutrientes es otra de sus características beneficiosas.

Esto es especialmente importante en condiciones de estrés hídrico, donde el biocarbono puede ayudar a mantener un suministro constante de agua y nutrientes disponibles para las plantas de tomate. Una planta bien nutrida y con acceso adecuado a agua tiende a crecer más y alcanzar una mayor altura (7). El biocarbono también pudo influir en el microbiota del suelo, creando un ambiente favorable para los microorganismos beneficiosos que ayudan en la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes. Esta simbiosis puede mejorar la salud del suelo y, en consecuencia, apoyar el crecimiento óptimo de las plantas de tomate (4).

Sobre los días de altura máxima, el biocarbono, se incorporó al suelo principalmente para mejorar su estructura y fertilidad, en el caso del tratamiento uno (t1: BC02%TR98%), algunos de los beneficios que aportarían incluyen la mejora de la retención de agua pues, posee una alta capacidad de retención, lo cual es crucial en áreas donde la disponibilidad de este recurso es limitada. Al mantener el suelo húmedo por más tiempo, se favorece un crecimiento más rápido y sostenido de las plantas de tomate (24). Además, incrementa de la capacidad de intercambio catiónico, este material aumenta la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales como

nitrógeno, fósforo y potasio. Un suelo más nutrido proporciona las condiciones óptimas para el desarrollo rápido y saludable de las plantas (11). Mejora la estructura del suelo, la adición de biocarbono puede mejorar la aireación y la estructura del suelo, facilitando el crecimiento de las raíces y, en consecuencia, el desarrollo vegetativo de las plantas. El biocarbono influyó directamente en el número de días necesarios para que la planta de tomate hortícola variedad Pietro alcance su altura máxima (8).

La mejora en la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes permite que las plantas crezcan más rápidamente. En un suelo enriquecido con biocarbono, las plantas de tomate pueden alcanzar su altura máxima en menos tiempo comparado con su crecimiento en suelos sin este aditivo (13). Un sistema radicular más robusto y extenso facilita la absorción de agua y nutrientes, acelerando el crecimiento vertical de la planta. Esto se traduce en un menor número de días para alcanzar la altura máxima (12). El biocarbono puede ayudar a estabilizar el pH del suelo, creando un ambiente más favorable para el crecimiento del tomate. Un pH adecuado permite la óptima absorción de nutrientes, promoviendo un crecimiento más rápido (26).

En lo concerniente al perímetro del tallo, siendo éste un indicador importante del vigor y la estabilidad de la planta. Los mejores promedios se obtuvieron con el tratamiento uno (t1: BC02%TR98%), en este caso, un tallo más robusto no solo soporta mejor el peso de la planta y sus frutos, sino que también indica una buena absorción de nutrientes y agua (22). El biocarbono, como ya se ha mencionado aumenta la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes esenciales. En suelos mejorados con biocarbono, las plantas de tomate pueden acceder a estos recursos de manera más eficiente, promoviendo un crecimiento más uniforme y robusto del tallo.

Posiblemente, la promoción de microorganismos beneficiosos, debido a la estructura porosa del biocarbono, proporciona un ambiente óptimo para estos, como bacterias y hongos micorrízicos, que ayudan en la descomposición de materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esta simbiosis puede resultar en un tallo más grueso y saludable (23). Al incrementarse la absorción de nutrientes mejorando la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, el biocarbono facilita una mayor absorción de minerales esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos, nutrientes son fundamentales para el crecimiento y engrosamiento del tallo (2).

El volumen de raíces de los tratamientos uno y dos (t1: BC02%TR98%, t2: BC04%TR96%), influenciados por los efectos del biocarbono en el volumen radicular, en virtud de la aplicación de biocarbono en los suelos cultivados con tomate variedad Pietro, pudieron aumentar significativamente el volumen de raíces. Las plantas de tomate cultivadas en suelos enmendados con biocarbono, muestran un sistema radicular más extenso y denso, lo que se traduce en una mayor capacidad para absorber agua y nutrientes. Esto, a su vez, mejora el vigor de la planta, la resistencia al estrés hídrico y la eficiencia en el uso de nutrientes (20).

En este sentido, el aumento del volumen radicular tiene implicaciones directas en la producción y calidad del tomate. Un sistema radicular más desarrollado permite a las plantas soportar mejor las condiciones adversas y maximizar el rendimiento. Los agricultores pueden utilizar el

biocarbón como parte de una estrategia de manejo sostenible del suelo para mejorar la productividad y la salud del cultivo de tomate (9).

Para el diámetro ecuatorial, los mejores promedios observados en los tratamientos uno y dos (t1: BC02%TR98%, t2: BC04%TR96%), para el fruto, es una medida clave de la calidad del tomate, influenciando su apariencia, peso y atractivo comercial. Un mayor diámetro ecuatorial generalmente indica un fruto más desarrollado y potencialmente más valioso en el mercado. La aplicación de biocarbón puede afectar positivamente este parámetro debido a la mejora en las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales (4).

Es posible que la adición de biocarbón, en las proporciones de los tratamientos uno y dos, como ya se mencionó, puede aumentar significativamente el tamaño de los frutos. En el caso específico del tomate variedad Pietro, investigaciones preliminares sugieren que los frutos cultivados en suelos enmendados con biocarbón tienden a mostrar un mayor diámetro ecuatorial en comparación con aquellos cultivados en suelos sin esta enmienda.

Los frutos no solo son más grandes, sino que también muestran una mayor uniformidad y calidad general (3). Para este caso, en concreto, el biocarbón, podría inducir una mejora en la retención de agua en el suelo, lo que es crucial durante períodos de sequía o bajo riego. Esto asegura que las plantas tengan un suministro constante de agua, necesario para el crecimiento celular y el desarrollo del fruto. Además, la mejor retención de nutrientes reduce la necesidad de fertilización adicional, proporcionando un crecimiento más sostenido y equilibrado de las plantas de tomate (19).

El diámetro polar del tomate se refiere a la medida vertical del fruto, desde el extremo superior hasta el extremo inferior. Este es un parámetro importante para evaluar la calidad y tamaño del fruto, influenciado por factores como la genética de la variedad, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo agrícola. La variedad Pietro del tomate hortícola es conocida por su productividad y calidad, pero la influencia del biocarbón en su diámetro polar, evidenciado por la respuesta a los tratamientos (t1: BC02%TR98%, t2: BC04%TR96%) como se ha observado (20).

Varios estudios sugieren que el biocarbón podría tener efectos positivos en el aumento en el tamaño del fruto. La mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo puede favorecer una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales y una mejor retención de agua, lo que a su vez puede promover un desarrollo más uniforme y robusto de los frutos (12). El aumento de la retención de nutrientes, proporcionaría un suministro constante de los mismos, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, que son cruciales para el crecimiento del fruto (13).

En el caso del *número de racimos*, no se observó significación, se infiere que, esta respuesta es propia de la genética de la planta pues, no podría ser influenciada de modo externo, en consecuencia, se trata de la respuesta propia de su genotipo (18). En cuanto al *número frutos racimo y número de frutos/planta*, el tratamiento uno (t1: BC02%TR98%) con el porcentaje más bajo de biocarbón, tuvo los mejores promedios, la aplicación de biocarbón en el suelo podría influir positivamente en el número de frutos por racimo del tomate hortícola variedad Pietro.

Al mejorar la disponibilidad de nutrientes, como el nitrógeno, fósforo y potasio, que son cruciales para la floración y fructificación del tomate. Un suelo más fértil y saludable puede resultar en un mayor número de flores que se desarrollan en frutos, incrementando así la cantidad de frutos por racimo (17).

Para los *días a la maduración*, los frutos del tratamiento uno (t1: BC02%TR98%), con el menor porcentaje de biocarbón, ha demostrado los beneficios del mismo. Nuestra investigación, sobre este cultivo, ha mostrado que la adición de biocarbón puede mejorar la productividad y la calidad del fruto. En cuanto a la variedad Pietro, de acuerdo con principios generales sobre los beneficios del biocarbón, sugieren que su uso pudo tener un impacto positivo en la reducción de los días a la maduración de los frutos (2).

El *peso del fruto* en el tratamiento uno (t1: BC02%TR98%), destacó de los demás tratamientos, posiblemente por la influencia del biocarbón en el rendimiento del tomate. Los resultados indican que la adición de biocarbón puede tener un impacto significativo en el peso del fruto de la variedad Pietro (23). La adición de biocarbón mejora la estructura del suelo, aumentando su aireación y capacidad de retención de nutrientes. Un suelo bien estructurado facilita un mejor desarrollo radicular, permitiendo a las plantas absorber más agua y nutrientes, lo que se traduce en un mayor peso del fruto (7).

El biocarbón actúa como una esponja que retiene y libera gradualmente los nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio. Esta liberación sostenida asegura que las plantas tengan un suministro constante de nutrientes, favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de frutos más pesados y de mejor calidad. Además, el biocarbón crea un ambiente favorable para la proliferación de microorganismos beneficiosos en el suelo. Estos microorganismos pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes y producir hormonas de crecimiento que promueven el desarrollo del fruto (10).

Con relación al *volumen del fruto*, En la variedad Pietro, se ha observado que la incorporación de biocarbón puede llevar a un aumento significativo en el volumen del fruto. Esto se debe principalmente a la mejor disponibilidad de nutrientes y agua, que son esenciales para el crecimiento celular y la expansión del fruto. Tal como ha ocurrido con el tratamiento uno (t1: BC02%TR98%) (6).

Además del aumento en el volumen, el biocarbón también puede mejorar la calidad del fruto en términos de contenido de azúcar y acidez, lo que es beneficioso para el sabor y la aceptación comercial. Esto, lleva al fruto a ser más consistente, reduciendo las variaciones en el tamaño y calidad de los frutos entre las diferentes temporadas y condiciones climáticas; por tanto, aumento de volumen (18).

CONCLUSIONES

Mediante el modelamiento estadístico, se evidenció la influencia que ejerció la aplicación de biocarbón en diferentes cantidades utilizando un sustrato con base en turba rubia, los valores alcanzados en las variables que representan la morfología de tomate hortícola (*S. lycopersicum* L.) estuvo en relación de la menor cantidad de biocarbón administrado, en este sentido, el mejor tratamiento fue el número uno que, en proporción llevó 02% de biocarbón sobre el 98% de turba rubia.

Analizados los efectos que el biocarbón aplicado en diversos porcentajes sobre una base de turba rubia, se observa que la respuesta morfológica en postcosecha del tomate hortícola variedad Pietro, tanto en la parte vegetativa como en los frutos, han manifestado diferencias estadísticas significativas, los valores relacionados con las variables dependientes de mejor respuesta se ajustan al tratamiento uno cuya composición obedece a 02% de biocarbón sobre el 98% partes de turba rubia.

Por los valores que dan respuesta a la influencia de cada uno de los resultados, se llega a la conclusión de que las mejores dosis, fueron las que se formularon con menores cantidades de biocarbón, en consecuencia, la menor cantidad de este insumo, la presentó el tratamiento uno compuesto por un 02% de biocarbón en un 98% de turba rubia, tal proporción, dio lugar a que la morfología y, los valores inherentes a estas características, sean superiores en calidad y cantidad en cuanto a la producción del tomate hortícola variedad Pietro en postcosecha.

Utilizando las diversas dosis de biocarbón y de turba rubia incorporados al sustrato donde se desarrolló la especie en estudio, observando que la respuesta en la producción de tomate hortícola variedad Pietro, especialmente en la medición de los diferentes parámetros productivos relacionados directamente con la cantidad y calidad del fruto, como su tamaño, peso y volumen, se concluye que el tratamiento con la menor proporción, 02% de biocarbón y, 98% de turba rubia, acondicionan el sustrato de manera que los nutrientes sean asimilados e incorporados de manera más efectiva a las plantas y, en consecuencia, influenciar efectivamente en los tejidos y órganos suministrando los recursos que incrementador fundamentalmente su peso y volumen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernandez-Ochandía, D., Martínez, D. Y., Regalado, R. E., Cabrera, I. M., Delgado-Oramas, B. P., y Hernández, M. G. R. J. R. d. P. V. (2024). Solanum lycopersicum L.-nematodo agallero: efecto de biocarbón y Trichoderma asperellum Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg sobre el patosistema. 39. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1326>.
2. Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejagal, I., Salcedo-Pérez, E., y Balois-Morales, R. J. R. m. d. c. a. (2021). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. 12(4), 713-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542>

3. Soto Espinosa, P. A., Tenelanda Masache, C. R., y Amaya Rivas, A. (2023). *Análisis de factibilidad de una enmienda de suelo a base de biocarbono para banano orgánico* [ESPAE-ESPOL]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/59158>
4. Abad Carbajal, E. (2022). Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Bolaina blanca (*Guazuma Crinita C. martius*) en el suelo agrícola para mejorar la producción del tomate regional (Costoluto Fiorentino) distrito de Yarinacocha, Ucayali 2019-2020. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3375>
5. Darré, M., Valerga, L., Zaro, M. J., y Concellón, A. (2021). Caracterización morfológica y de calidad de las principales variedades de tomate del cinturón hortícola platense. In: Universidad Nacional del Litoral. <http://hdl.handle.net/11336/193610>
6. Carrión Sanchez, K. T., y Huaman Olmos, M. (2021). Uso de biocarbono para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura: revisión sistemática. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84307>
7. Peralta, D. E. A., y García, H. S. J. C. A. (2018). Evaluación de tres dosis de fertilizante quelatado en tres híbridos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). 1(1), 11-23. <https://www.centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/2>
8. Lozano Reategui, R. M. (2023). El Biocarbono enriquecido para la producción sostenible de sistemas de cultivos en Ucayali. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/9090>
9. Chávez Estrada, A. M. (2022). *Efecto del biocarbono en el cultivo de tomate riñón (Solanum lycopersicum l.), Chaltura, Antonio Ante.* <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13069>
10. Ovalle, A. P., Ordaz, A. H., Felipe, D. P. M., García, Y. H., y Alejandro, D. A. R. J. J. E. L. C. (2024). Estudio de los efectos del biocarbono. 28. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4321>
11. Hernández, M. G. R., Fuentes, E. G., y Hernández, N. H. (2024). Investigación e innovación relacionadas con el uso agrícola del biocarbono: dos casos de estudio cubanos: VIII Taller Internacional " Universidad, Seguridad y Soberanía Alimentaria". Congreso Universidad. <https://revista.congresouniversidad.cu/congreso/article/download/1/21?inline=1>
12. Armendano, A., Rouaux, J., y Salazar Martínez, A. J. A. z. m. (2018). Fauna edáfica asociada a un cultivo hortícola convencional de tomate (*Lycopersicum Esculentum* Mill.) en La Plata (Buenos Aires, Argentina). 34. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412116>
13. Ruiz Perez, K. E. (2019). El biocarbono y su uso en la recuperación de suelos áridos. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1251>
14. Supe Camino, W. W. (2023). *Introducción de tres híbridos de tomate hortícola (Lycopersicum esculentum L.) a las condiciones climáticas de Huachi Grande-Ambato.* <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39760>
15. Yucailla Masabanda, L. A. (2022). *Evaluación de sustratos con la adición de ácidos húmicos para la producción de plántulas de tomate (Solanum lycopersicum) var. pietro.* <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36451>

16. Aquije Ramos, C. A. (2019). Optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbono en el Perú. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1363>
17. Balta Crisolago, R. A. (2019). El carbón activado y el biocarbono en la asimilación del cadmio por el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo el invernadero. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3874>
18. Rolleri, J., y Romero, A. M. J. R. R. d. i. a. (2022). Prospección del marchitamiento y cancro bacteriano del tomate en invernaderos del Cinturón Hortícola de La Plata. *48*(1), 104-110. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142022000100104&script=sci_arttext
19. Arguello, H., y Chiguachi, D. J. C. d. A. (2020). Efecto de diferentes concentraciones de biocarbon y compost en la producción y desarrollo del cultivo de tomate (*lycopersicum esculentum*) bajo cubierta. *15*(2). <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/3377>
20. Salgado, J. C. H., Nely, O., Cobas, R., Hernández, A., y Valdivia, O. J. A. J. R. d. P. V. (2023). Sustratos con biocarbono y compost mejoran el desarrollo y sanidad de semilleros de *Solanum lycopersicum* L. en bandejas multiceldas. *38*. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1280>
21. Tubón Tite, W. L. (2023). *Adaptación de tres híbridos de tomate hortícola (*Lycopersicum esculentum*) bajo cubierta plástica*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39762>
22. Huerta De La Cruz, A. J. (2020). Influencia del biocarbono elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri, noviembre 2018 a abril 2019. <https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.931>
23. Cabello Ponce, S. M. (2023). Eficacia de la adsorción con distintas dosis de biocarbono de gallinaza para restaurar el suelo contaminado con metales pesados del centro poblado de Chicrin, Pasco–2023. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4683?show=full>
24. Espinoza Vaca, J. S. (2024). Aplicación de biocarbono en la agricultura: Mejoramiento de la calidad de suelos mediante el uso de diferentes combinaciones de biocarbono y enmiendas orgánicas y su efecto sobre la nutrición y producción agrícola. <http://hdl.handle.net/2445/212525>
25. Coro Valiente, G. K. D., y Salazar Bustamante, D. E. (2023). Pirólisis de lodos residuales de acuicultura y calidad del biocarbono como enmienda de suelo, Paríamarca, Canta-Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/8266>
26. González, G. D. (2024). *Efecto a corto plazo del biocarbono en las características químicas de un suelo fuertemente ácido y la productividad de tomate* Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://hdl.handle.net/11036/7777>
27. Guamani Quilapanta, L. G. (2022). *Efecto de la aplicación de promesol y ATP-UP en la propagación por esquejes de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro en el*

cantón Pillaro en la parroquia Emilio María Terán.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36541>

28. Ortega, J. A., Martínez, D. Y., Ochandía, D. H., de la Cruz, R. A., y Hernández, M. R. J. R. d. P. V. (2023). Efecto de biocarbones y *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la protección frente a nematodos. 38. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1297>
29. Chávez Estrada, A. M. (2022). *Efecto del biocarbón en el cultivo de tomate riñón (Solanum lycopersicum L.), Chaltura, Antonio Ante.*
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13069>