

ORIGINAL

Sustainable Application of Bioles to Improve Agronomic Performance, Productivity, and Soil Health in Cacao (*Theobroma cacao* L.) Propagated Sexually and Asexually

Aplicación sostenible de bioles para mejorar el desempeño agronómico, la productividad y la salud del suelo en cacao (*Theobroma cacao* L.) propagado sexual y asexualmente

Martha Betania Salazar Pacheco¹ , Luis Humberto Vásquez Cortez^{2,3,4} , Juan Andrés Villamarín Barreiro² , Danny Vidor Benítez Velasco² , Jose Luis Moncayo Paz² , Guillermo Enrique García Vásquez² , Adolfo Emilio Ramírez Castro² , Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos⁴ 

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Agronomía, Los Ríos Quevedo, Ecuador.

²Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Babahoyo, Ecuador.

³Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, ICAI-CONICET.

⁴Facultad de Posgrados Maestría En Ciencia Y Tecnología De Alimentos, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.

Citar como: Salazar Pacheco MB, Vásquez Cortez LH, Villamarín Barreiro JA, Benítez Velasco DV, Moncayo Paz JL, García Vásquez GE, et al. Sustainable Application of Bioles to Improve Agronomic Performance, Productivity, and Soil Health in Cacao (*Theobroma cacao* L.) Propagated Sexually and Asexually. Salud, Ciencia y Tecnología. 2025; 5:2286. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20252286>

Enviado: 18-05-2025

Revisado: 22-07-2025

Aceptado: 08-10-2025

Publicado: 09-10-2025

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Luis Humberto Vásquez Cortez 

ABSTRACT

Introduction: the research was conducted at the experimental farm “La Represa” of the Technical State University of Quevedo with the aim of evaluating the sustainable application of bioles as a strategy to improve agronomic performance, productivity, and soil health in cacao (*Theobroma cacao* L.) propagated sexually and asexually. The study addressed the need for sustainable alternatives to chemical fertilizers and for reducing the accumulation of heavy metals in agricultural systems.

Method: a randomized complete block design with split plots was implemented, comprising 21 treatments (seven bioles and one control) with three replications. Physiological, phenological, sanitary, productive, and soil variables were evaluated. Data were analyzed using Tukey’s test ($p \leq 0,05$).

Results: bioles produced significant differences in most variables. Treatment T14 (potassium-based biol in grafted cacao) achieved the highest yield with 2790,67 kg/ha/year and 30,17 healthy pods per plant. For vegetative traits, T15 recorded the largest stem diameter (12,05 cm) and vigor, while T12 notably reduced the incidence of witch’s broom (*Moniliophthora perniciosa*). Soil analyses confirmed increases in macro- and micronutrients, as well as marked reductions in cadmium and lead concentrations.

Conclusions: the sustainable application of bioles improved agronomic performance, enhanced productivity, and strengthened soil health in cacao propagated both sexually and asexually. Among the treatments, potassium-based biol proved to be the most effective, establishing itself as a viable agroecological alternative for sustainable cacao production systems in Ecuador.

Keywords: Liquid Biofertilizers; Agricultural Sustainability; Cacao Productivity; Sexual and Asexual Propagation; Soil Health.

RESUMEN

Introducción: la investigación se realizó en la finca experimental “La Represa” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo con el fin de evaluar la aplicación sostenible de bioles como estrategia para mejorar el desempeño agronómico, la productividad y la salud del suelo en cacao (*Theobroma cacao* L.) propagado sexual y asexualmente.

sexual y asexualmente. El estudio respondió a la necesidad de alternativas sostenibles que sustituyan a los fertilizantes químicos y mitiguen la acumulación de metales pesados en los sistemas agrícolas.

Método: se implementó un diseño de bloques completamente al azar con parcelas divididas, que incluyó 21 tratamientos (siete bioles y un testigo) y tres repeticiones. Se evaluaron variables fisiológicas, fenológicas, sanitarias, productivas y de suelo. Los datos se analizaron mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados: los bioles generaron diferencias significativas en la mayoría de variables. El tratamiento T14 (biol potásico en cacao injertado) presentó el mayor rendimiento con 2790,67 kg/ha/año y 30,17 frutos sanos por planta. En variables vegetativas, T15 alcanzó el mayor diámetro de tallo (12,05 cm) y vigor, mientras que T12 redujo la incidencia de escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*). Los análisis de suelo confirmaron incrementos en macro y micronutrientes, así como disminuciones notorias en cadmio y plomo.

Conclusiones: la aplicación sostenible de bioles mejoró el desempeño agronómico, aumentó la productividad y fortaleció la salud del suelo en cacao propagado sexual y asexualmente. Entre los tratamientos evaluados, el biol potásico destacó como la opción más eficaz, consolidándose como una alternativa agroecológica viable para sistemas cacaoteros sostenibles en Ecuador.

Palabras clave: Biofertilizantes Líquidos; Sostenibilidad Agrícola; Productividad del Cacao; Propagación Sexual y Asexual; Salud del Suelo.

INTRODUCCIÓN

El uso prolongado e intensivo de fertilizantes sintéticos en los sistemas agrícolas ha generado impactos negativos sobre la salud del suelo, los costos de producción y la sostenibilidad ambiental, particularmente en países tropicales dependientes de cultivos permanentes.⁽¹⁾ Esta problemática ha impulsado el desarrollo de alternativas basadas en bioinsumos, entre ellos los bioles, biofertilizantes líquidos obtenidos por fermentación anaeróbica de estiércol animal y biomasa vegetal, ricos en nutrientes asimilables, compuestos bioactivos y microorganismos benéficos.⁽²⁾ Su aplicación se asocia con mejoras en el crecimiento radicular, foliar y reproductivo, además de reducir la dependencia de insumos químicos de alto costo.⁽³⁾

En este contexto, el cacao (*Theobroma cacao* L.) representa un cultivo estratégico en América Latina. Su origen se sitúa en la región noroccidental de la Amazonía, donde los territorios actuales de Ecuador, Perú y Colombia constituyen zonas primarias de domesticación y diversificación genética.⁽⁴⁾ Ecuador, en particular, se posiciona como el principal productor mundial de cacao fino de aroma, con más de 500 000 hectáreas cultivadas y una contribución aproximada del 65 % a este mercado especializado.⁽⁵⁾ Más de 600 000 familias dependen directamente de su producción, lo que refuerza su importancia económica, social y cultural.⁽⁶⁾

A pesar de esta relevancia, la productividad promedio nacional (419 kg/ha/año) se mantiene por debajo del potencial genético de los materiales cultivados.⁽⁷⁾ Entre los factores limitantes destacan: degradación del suelo, escasa fertilización sostenible, enfermedades fúngicas (*Moniliophthora roreri* y *Crinipellis perniciosa*), envejecimiento de plantaciones y limitada asistencia técnica en pequeños productores.⁽⁸⁾ Durante la “era de la pepa de oro” (1860-1920), Ecuador lideró la exportación mundial; sin embargo, el monocultivo, las crisis fitosanitarias y la falta de renovación clonal provocaron un descenso productivo sostenido.⁽⁹⁾ La introducción de materiales mejorados como el clon CCN-51 permitió recuperar competitividad al combinar rendimiento, tolerancia y estabilidad agronómica.⁽¹⁰⁾

Un aspecto crítico poco abordado es el método de propagación del cultivo. La multiplicación sexual mediante semilla, predominante en el 70 % de las fincas, genera poblaciones heterogéneas con baja uniformidad fenotípica y respuestas variables a la fertilización.⁽¹¹⁾ En contraste, las técnicas asexuales (injerto, acodo, estacas) permiten replicar genotipos superiores con mejor desempeño y resistencia a estrés biótico y abiótico.⁽¹²⁾ Sin embargo, existe un vacío de investigación respecto a cómo interactúa la aplicación de bioles con diferentes métodos de propagación en el establecimiento y desarrollo inicial del cacao, especialmente en condiciones de finca de pequeños productores. Los estudios actuales se centran en cultivos anuales, suelos específicos o en materiales genéticos homogéneos, sin considerar diferencias fisiológicas entre plantas provenientes de origen sexual y clonal.

Ante esta limitación científica, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del biol en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.) considerando distintos métodos de propagación. Se plantea la hipótesis de que la aplicación de biol mejora significativamente el desempeño agronómico del cultivo, con respuestas diferenciadas según el tipo de propagación empleado, lo que permitirá generar recomendaciones técnicas sostenibles adaptadas a los sistemas productivos ecuatorianos.

MÉTODO

Localización y condiciones ambientales

La investigación se ejecutó en la finca experimental “La Represa” de la Universidad Técnica Estatal de

Quevedo, ubicada en el kilómetro 7,5 de la vía Quevedo-San Carlos, recinto Faita, provincia de Los Ríos, Ecuador. Su localización geográfica corresponde a 1°03'18" de latitud Sur y 79°25'24" de longitud Oeste, a una altitud de 73 m s. n. m.

El sitio pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (bh-T) según la clasificación de Holdridge, con una precipitación media anual de 2200-2600 mm, temperatura promedio de 24-27 °C y humedad relativa superior al 80 %. Los suelos predominantes son de origen aluvial, de textura franco-arcillosa, con pH ligeramente ácido (5,5-6,5) y buen contenido de materia orgánica.

Material vegetal y establecimiento

El ensayo se realizó con plantas establecidas de *Theobroma cacao* L. de 36 meses de edad al inicio del estudio (enero de 2024). El trasplante al campo definitivo se efectuó en enero de 2021, utilizando tres métodos de propagación:

Injerto y ramilla: variedad CCN-51 (Trinitario).

Propagación por semilla: materiales Nacional y ETT-103 (Forastero).

Las plantas se encontraban en fase de inicio productivo, con presencia de floración, formación de frutos y expresión de síntomas sanitarios característicos del cultivo. Se empleó un marco de plantación de 3 m × 3 m ($\approx 1,111$ plantas/ha) bajo sombra regulada.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas útiles, con dos adicionales como bordura, totalizando 630 plantas distribuidas en 63 unidades experimentales (21 tratamientos × 3 repeticiones). Las labores culturales (deshierba manual, poda sanitaria, riego suplementario) fueron aplicadas de forma homogénea para evitar sesgos en la respuesta a los tratamientos.

Diseño de la Investigación

Según como se muestra en la tabla 1, la investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, con el propósito de evaluar simultáneamente el efecto del método de propagación y la aplicación de bioles sobre plantas de *Theobroma cacao* L. en etapa productiva temprana. El factor correspondiente a la parcela principal estuvo constituido por tres métodos de propagación: ramilla clonal de la variedad CCN-51, injerto de la misma variedad y propagación sexual mediante semillas de los materiales Nacional y ETT-103. En las subparcelas se evaluaron siete bioles de distinta composición nutricional y microbiológica, incluyendo un testigo artesanal tradicional y seis formulaciones comerciales (Albio Root, Alico-Cal SC, Albio-Potasio, Albiobacth, Najoga Plus y Bioru de minerales).

La combinación factorial de ambos factores generó un total de 21 tratamientos, cada uno de los cuales fue repetido tres veces, sumando 63 unidades experimentales. Cada unidad estuvo conformada por diez plantas útiles, con dos plantas adicionales utilizadas como bordura para reducir el efecto de interferencias laterales. La distribución de los tratamientos dentro de cada bloque se realizó mediante asignación aleatoria, respetando la estructura jerárquica entre parcelas principales y subparcelas.

El análisis estadístico se efectuó mediante un ANOVA para parcelas divididas, considerando los efectos principales de los factores, la interacción entre ellos y el bloque como fuente de variación aleatoria. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. El procesamiento de datos se realizó utilizando el software InfoStat (versión profesional, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), lo que garantizó el tratamiento adecuado de los errores asociados a cada nivel del diseño experimental.

Tabla 1. Datos

Fuente de variación	Fórmula	Grados de libertad
Parcela Grande	a.r-1	8
Métodos(A)	a-1	2
Bloque	r-1	2
Error (a)	(a-1)(r-1)	4
Bioles (B)	(b-1)	6
Inte.AxB	(a.-1)(b-1)	12
Error (b)	a (r-1) (b-1)	36
Total	a.b.r-1	62

Descripción de los tratamientos

El experimento contempló un total de veintiún tratamientos, resultantes de la combinación factorial entre los tres métodos de propagación evaluados y los siete tipos de bioles aplicados. Cada tratamiento se codificó

según el tipo de biol y el método de propagación correspondiente, lo que permitió estructurar la comparación bajo un enfoque multifactorial, como se muestra en la tabla 2.

Los bioles utilizados incluyeron un testigo artesanal y seis formulaciones de origen comercial con distintas bases microbiológicas, minerales y orgánicas. El biol artesanal se elaboró a partir de excretas de conejo y leguminosas fermentadas, presentando un pH de 6,6 y contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio acordes a su composición tradicional. Por su parte, los bioles comerciales estuvieron formulados para actuar sobre distintos procesos fisiológicos y edáficos: Albio Root, compuesto por ácidos húmicos, fúlvicos y úlmicos; Alico-Cal SC, diseñado como enmienda cálcica para la corrección de acidez y salinidad; Albio-Potasio, orientado a la síntesis de azúcares y resistencia estructural; y Najoga Plus, con aporte de macronutrientes, azufre y aminoácidos. Asimismo, se emplearon formulaciones microbiológicas como Albiobacth, con consorcios de *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Bradyrhizobium japonicum*, y Bioru de minerales, derivado de material ruminal enriquecido con cenizas volcánicas, harina de roca y microorganismos eficientes como *Bacillus subtilis*.

Cada biol fue aplicado sobre las tres formas de propagación evaluadas: ramilla clonal de la variedad CCN-51, injerto de la misma variedad, y propagación sexual mediante semillas de los materiales Nacional y ETT-103. Esta disposición generó veintiún combinaciones experimentales, diferenciadas por el código bXaX, donde “b” identifica el tipo de biol y “a” el método de propagación. Dichas combinaciones fueron distribuidas en campo con uniformidad experimental y analizadas bajo el mismo esquema estadístico.

La integración de estos tratamientos permitió contrastar el efecto diferencial de los biofertilizantes sobre plantas con distintos orígenes fisiológicos, lo que facilitó la detección de posibles interacciones entre el tipo de propagación y la composición del biol. Este enfoque permitió evaluar la respuesta productiva, fisiológica y sanitaria del cultivo bajo condiciones de manejo homogéneo y con una estructura metodológica robusta.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos: la propagación mediante ramilla e injerto se realizó con la variedad CCN-51 (Trinitario), mientras que la propagación por semilla correspondió a las variedades ETT-103 (Forastero) y Nacional

Nº Tratamientos	Código	Detalle del tipo de biol y método propagativo
1	b0a0 Testigo 1	Biol artesanal testigo con ramilla
2	b0a1 Testigo 2	Biol artesanal testigo con injerto
3	b0a2 Testigo 3	Biol artesanal testigo con semilla
4	b1a0	Biol albio root con ramilla
5	b1a1	Biol albio root con injerto
6	b1a2	Biol albio root con semilla
7	b2a0	Biol Alico- cal Sc con ramilla
8	b2a1	Biol Alico- cal Sc con injerto
9	b2a2	Biol Alico- cal Sc con semilla
10	b3a0	Biol Albio- potasio con ramilla
11	b3a1	Biol Albio - potasio con injerto
12	b3a2	Biol Albio -potasio con semilla
13	b4a0	Biol Albiobacth con ramilla
14	b4a1	Biol Albiobacth con injerto
15	b4a2	Biol Albiobacth con semilla
16	b5a0	Biol najoga plus con ramilla
17	b5a1	Biol najoga plus con injerto
18	b5a2	Biol najoga plus con semilla
19	b6a0	Biol bioru de minerales con ramilla
20	b6a1	Biol bioru de minerales con injerto
21	b6a2	Biol bioru de minerales con semilla

Manejo de experimento

El manejo del ensayo se realizó bajo condiciones homogéneas de campo, a fin de garantizar que las diferencias observadas en las variables fueran atribuibles únicamente a los factores evaluados. Las aplicaciones de bioles se efectuaron durante 120 días (enero-abril de 2024), con una frecuencia quincenal para un total de ocho eventos. La dosis utilizada fue de 200 mL por planta, distribuida en 100 mL vía foliar y 100 mL como drench al cuello, aplicados con una motobomba Stihl de 20 L equipada con boquilla cónica calibrada (0,45 L·min⁻¹). Las aplicaciones se realizaron en horario matutino (07h00-09h30), y el equipo se lavó después de cada uso para

evitar contaminación cruzada.

El calendario de aplicaciones correspondió a las siguientes fechas: 5 y 20 de enero, 4 y 19 de febrero, 5 y 20 de marzo, 4 y 19 de abril de 2024. Durante este período no se aplicaron fertilizantes sintéticos ni fungicidas sistémicos, con el fin de evaluar de manera exclusiva la interacción entre el tipo de propagación y los bioles. El control de malezas se realizó de manera manual cada 30 días, mientras que las podas sanitarias se efectuaron de forma preventiva. El riego suplementario se aplicó únicamente cuando la precipitación semanal fue inferior a 20 mm, manteniendo una lámina de 25-30 mm por evento.

Las mediciones se realizaron en cinco plantas centrales de cada unidad experimental, utilizando protocolos estandarizados y equipos calibrados. La altura de planta se midió con estadal metálico desde el cuello del tallo hasta el ápice funcional. El diámetro se registró con calibrador digital (0,01 mm de precisión) a 30 cm sobre el suelo, con dos lecturas ortogonales promediadas. El contenido de clorofila se determinó mediante un medidor SPAD-502, tomando tres hojas plenamente expandidas por planta y tres lecturas por hoja, para luego promediar los valores individuales. La brotación de yemas y la floración se cuantificaron mediante conteo directo en cojines florales y ejes vegetativos, expresando los datos como porcentajes.

En el caso de las variables sanitarias, la incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* se expresó como porcentaje de frutos o brotes afectados respecto al total observado por planta. El marchitamiento fisiológico (cherelle wilt) se calculó como la proporción de frutos abortados sobre los frutos cuajados en cada ciclo de evaluación. Para las variables productivas, el número de frutos sanos se contabilizó quincenalmente durante la cosecha fisiológica (5-6 meses de desarrollo), y el peso fresco de almendras se determinó con balanza analítica (0,01 g) en mazorcas representativas de cada planta.

Finalmente, se realizaron análisis de suelo antes de iniciar las aplicaciones y al concluir el ensayo, con el fin de determinar cambios en pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Este manejo integral permitió evaluar de forma precisa el efecto de los tratamientos sobre el desempeño fisiológico, sanitario y productivo del cacao bajo condiciones controladas de campo.

RESULTADOS

Variables Fisiológicas

Brotación de yemas

La figura 1 muestra los valores iniciales y finales de brotación de yemas en los distintos tratamientos. En la evaluación realizada al día 0 no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), lo que confirma condiciones homogéneas antes de la aplicación de los bioles.

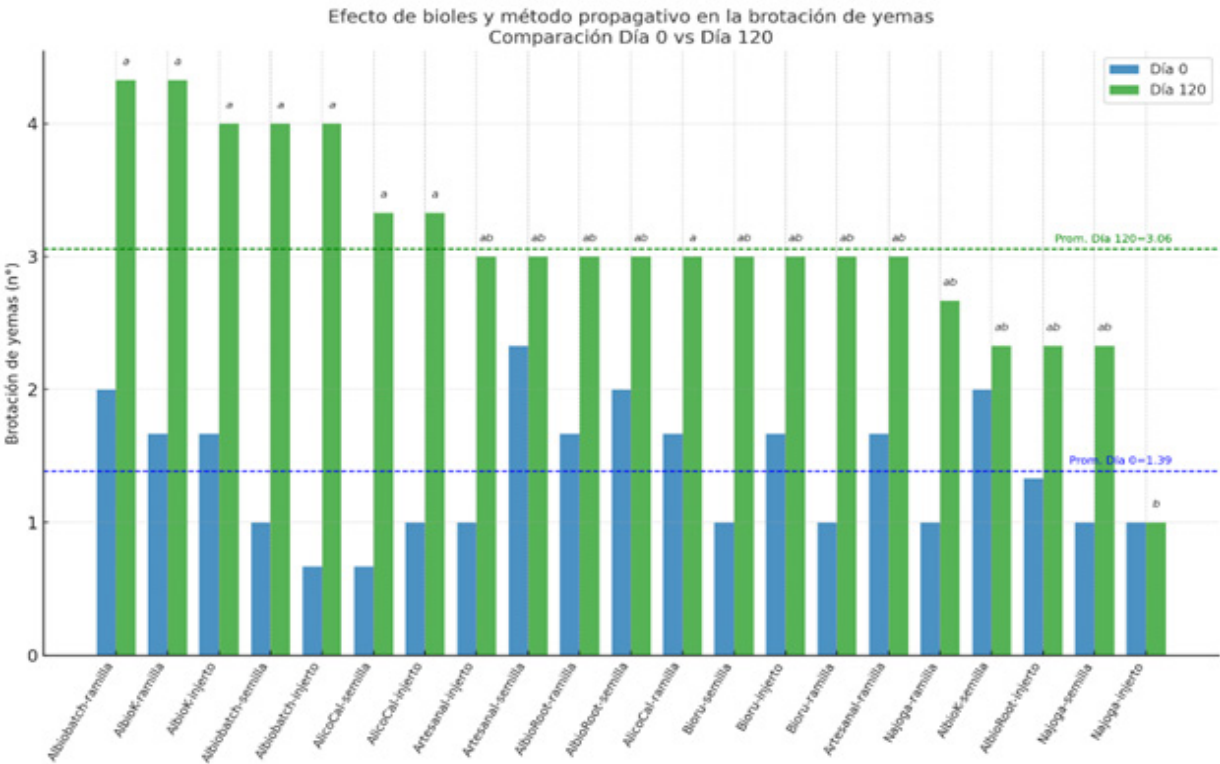


Figura 1. Efecto de la aplicación de los bioles sobre los métodos propagativo, variable fisiológica brotación de yemas en el día 0 sin aplicación y día 120 después de la aplicación

Nota: *Escala 1 = 0 % Ausencia 2 = 25 % Poco 3 = 50 % Ligero 4 = 75 % Moderado 5 = 100 % Abundante

A los 120 días, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). El tratamiento T13 (Biol Albiobacth aplicado en plantas propagadas por ramilla) presentó el promedio más alto, con 4,33 yemas por planta. En contraste, el menor valor se registró en el tratamiento T17 (Biol Najoga plus aplicado en plantas injertadas), con un promedio de 1,00 yema. El valor medio general al finalizar el ensayo fue de 3,06 yemas, frente a 1,39 registrado al inicio. El coeficiente de variación alcanzó 22,65 %, lo que refleja una variabilidad moderada entre los tratamientos.

Floración

En la figura 2 se presentan los valores iniciales y finales de floración en los diferentes tratamientos evaluados. En la medición realizada al día 0, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), lo que confirma la uniformidad inicial de las unidades experimentales. Luego de 120 días de aplicación de los bioles, se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). El tratamiento T14 (Albiobacth aplicado en plantas injertadas) registró el mayor promedio, alcanzando un valor de 5,0 flores por planta. El valor medio general al finalizar el ensayo fue de 2,94 flores, en contraste con el promedio inicial de 1,00 flor registrado antes de las aplicaciones. El coeficiente de variación fue de 24,12 %, lo que indica una variabilidad moderada entre tratamientos.

Los valores más bajos se registraron en los tratamientos T21, T2, T4, T5, T19 y T17, los cuales obtuvieron un promedio de 2,00 flores por planta. Estos valores se ubicaron por debajo de los tratamientos con mayores respuestas al día 120, aunque superaron los valores iniciales.

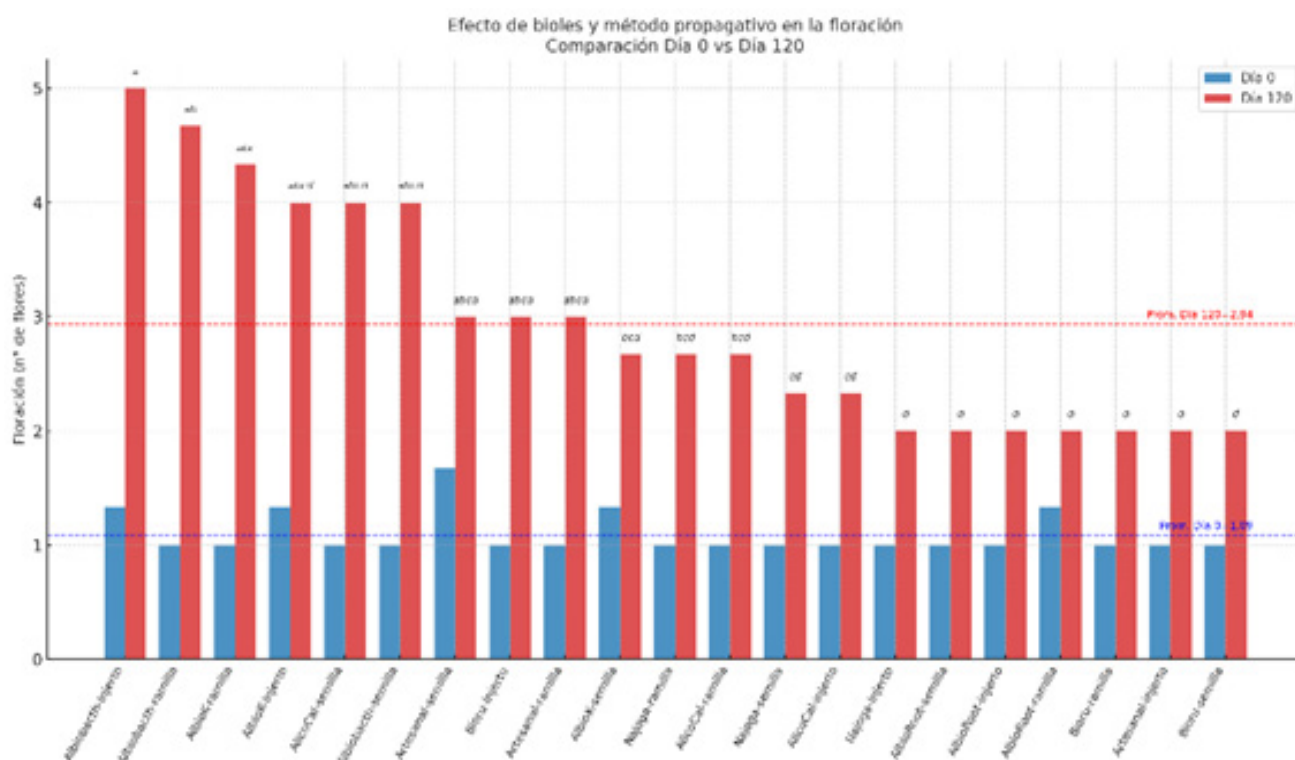


Figura 2. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variables fisiológica floración en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

Nota: *Escala 1 = 0 % Ausencia 2 = 25 % Poco 3 = 50 % Ligero 4 = 75 % Moderado 5 = 100 % Abundante

Fructificación

La figura 3 presenta los valores de fructificación registrados al inicio del ensayo (día 0) y a los 120 días después de la aplicación de los bioles. En la evaluación inicial, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), lo que indica condiciones homogéneas antes de la intervención.

Después de 120 días, se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$). El tratamiento T14 (biol aplicado en plantas injertadas) registró el valor más alto, con un promedio de 5,0 frutos por planta. El promedio general al finalizar el estudio fue de 2,90 frutos, en comparación con el valor inicial de 1,42 frutos. El coeficiente de variación fue de 29,10 %, lo que evidencia una dispersión moderada entre los tratamientos.

Los valores más bajos al día 120 se registraron en los tratamientos T19, T20 y T21, con un promedio de 1,0 fruto por planta.

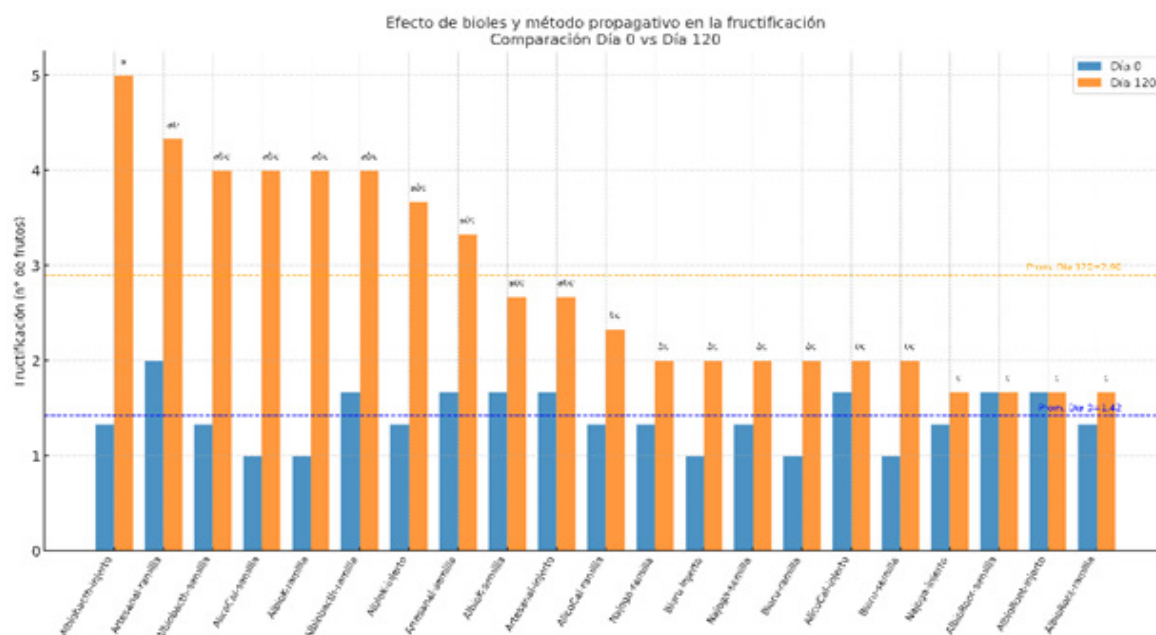


Figura 3. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variable fisiológica fructificación en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

Nota: *Escala 1 = 0 % Ausencia 2 = 25 % Poco 3 = 50 % Ligero 4 = 75 % Moderado 5 = 100 % Abundante

Variables Fenológicas

Altura de planta

En la figura 4 se presentan los valores de altura de planta evaluados al inicio del ensayo (día 0) y a los 120 días posteriores a la aplicación de los bioles. En la medición inicial se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), con una media general de 2,73 m.

Al finalizar los 120 días, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \geq 0,05$). No obstante, se registró un incremento en los valores promedio, alcanzando una media general de 3,41 m. El coeficiente de variación fue de 12,66 %, lo que evidencia una variabilidad baja entre los tratamientos.

El tratamiento T3 (biol artesanal aplicado en plantas propagadas por semilla) registró el valor más alto al final del periodo, pasando de 3,48 m a 3,80 m. El valor más bajo se observó en el tratamiento T8 (Alico-Cal aplicado en plantas propagadas por semilla), con una altura final de 3,41 m.

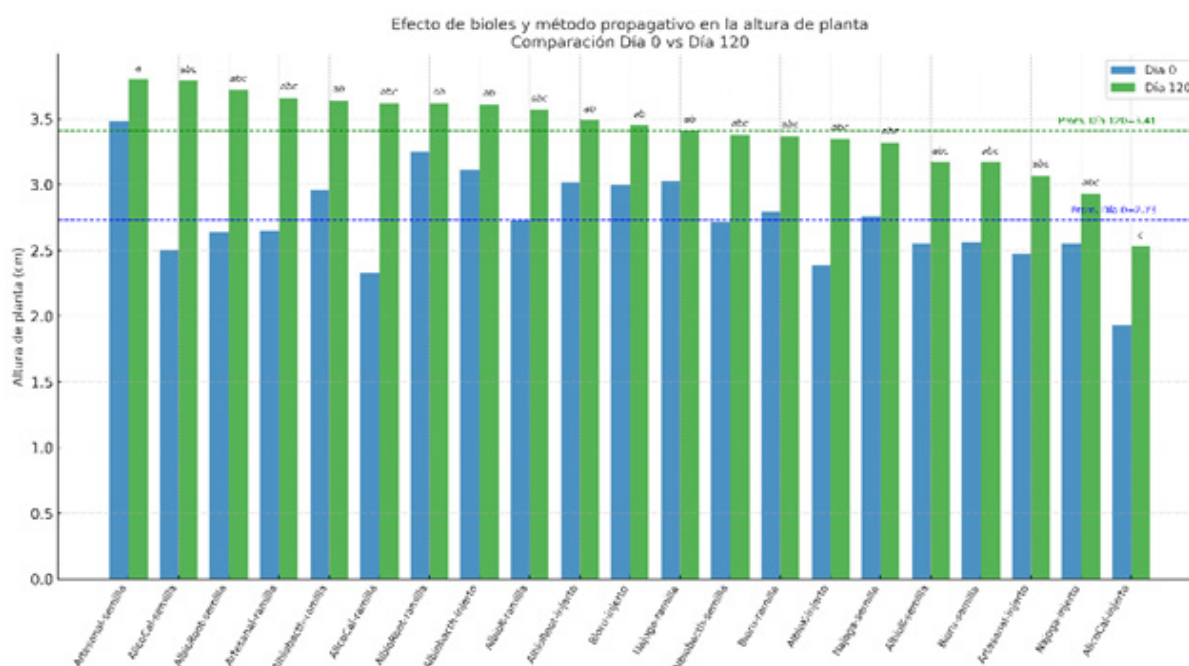


Figura 4. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variable fenológica altura de planta en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

Diámetro del tallo

La figura 5 muestra los valores de diámetro de tallo registrados al inicio del experimento (día 0) y a los 120 días posteriores a la aplicación de los bioles. En la evaluación inicial se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), con un promedio general de 7,81 mm. Al finalizar el periodo de evaluación también se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), registrándose un incremento en la media general hasta 8,38 mm. El coeficiente de variación fue de 17,79 %.

El mayor valor al día 120 correspondió al tratamiento T15 (Albiobacth aplicado en plantas propagadas por semilla), que pasó de 11,17 mm a 12,05 mm. En contraste, los valores más bajos se registraron en los tratamientos T5 (Albio Root con injerto) y T14 (Albiobacth con injerto), con promedios finales cercanos a 5,24 mm y valores inferiores a la media del conjunto de tratamientos.

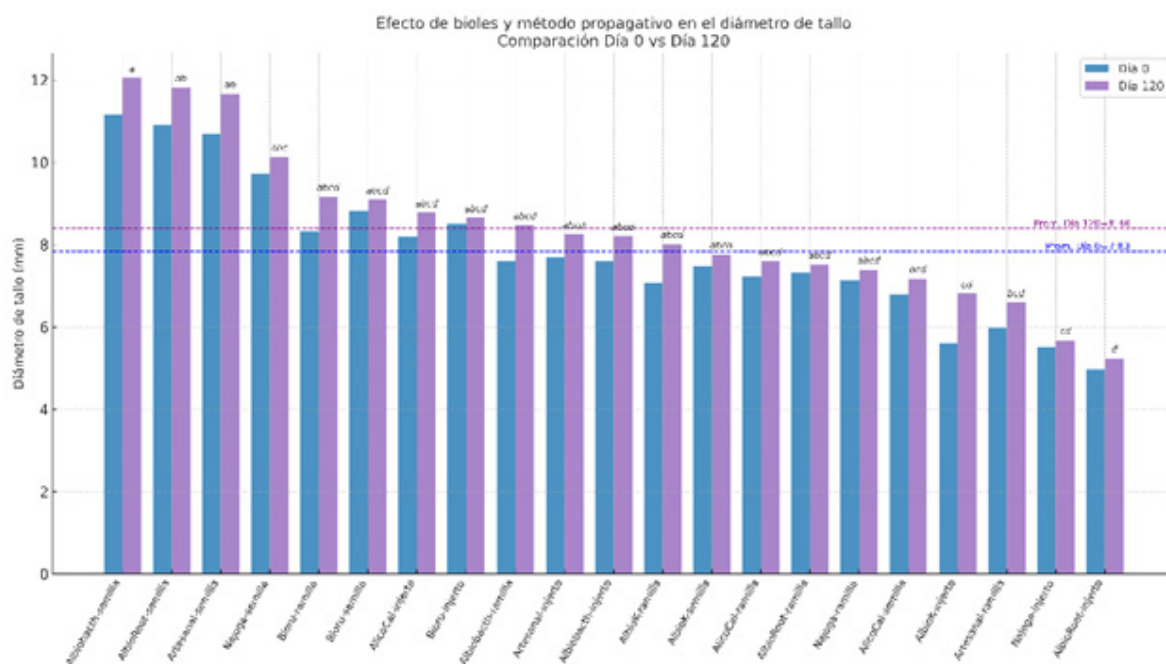


Figura 5. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variable fenológica diámetro de tallo en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

Vigor

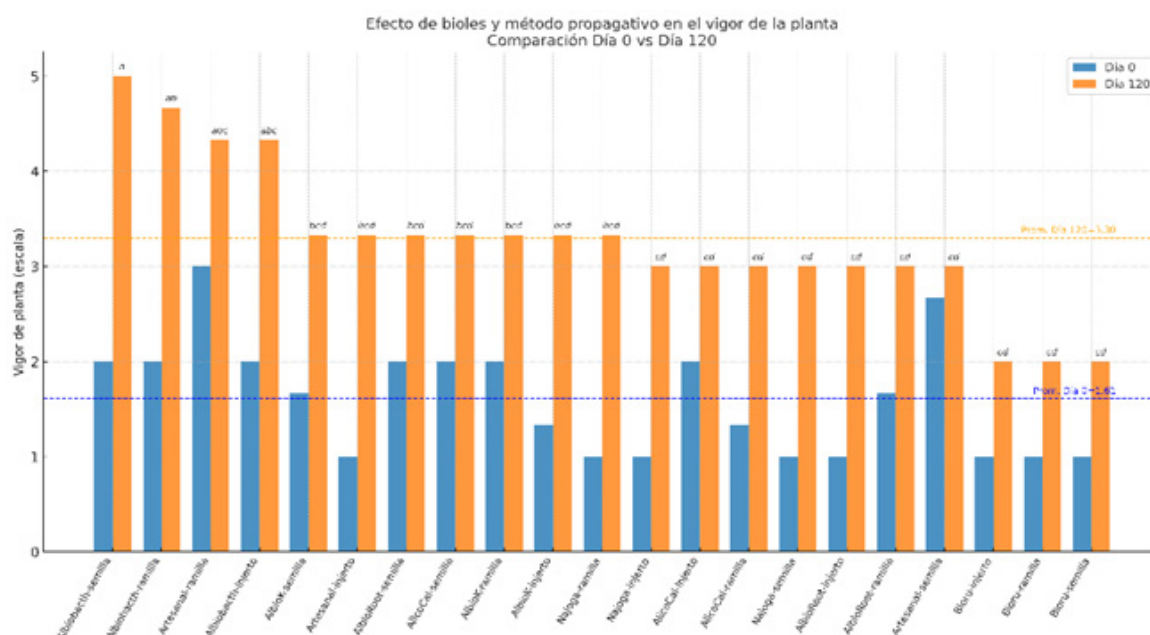


Figura 6. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variable fenológica vigor de la planta de cacao en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

La figura 6 presenta los valores de vigor de planta medidos al inicio del ensayo (día 0) y a los 120 días después de la aplicación de los bioles. En la evaluación inicial no se registraron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), con un promedio general de 1,61 en la escala empleada.

A los 120 días se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,05$). El mayor valor correspondió al tratamiento T15 (Albiobacth aplicado en plantas propagadas por semilla), con un promedio de 5,0 en la escala de evaluación. En contraste, los valores más bajos se presentaron en los tratamientos T19, T20 y T21, con promedios finales cercanos a 2,0. El promedio general en este periodo fue de 3,30, lo que representó un incremento respecto al valor inicial. El coeficiente de variación fue de 13,58 %, reflejando homogeneidad en la respuesta de los tratamientos.

Color de hoja

En la figura 7 se presentan los resultados de la variable color de hoja antes de la aplicación de bioles (día 0) y a los 120 días posteriores. En la evaluación inicial no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \geq 0,05$), con una media general de 2,11 en la escala utilizada.

Al finalizar el periodo experimental, se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), con un promedio general de 2,75 y un coeficiente de variación de 11,55 %, lo que indica una respuesta relativamente uniforme entre tratamientos. El valor más alto correspondió al tratamiento T15 (Albiobacth aplicado en plantas propagadas por semilla), con un promedio de 3,67 en la escala de color. En contraste, los tratamientos T1, T2 y T18 registraron los valores más bajos, con promedios cercanos a 2,00.

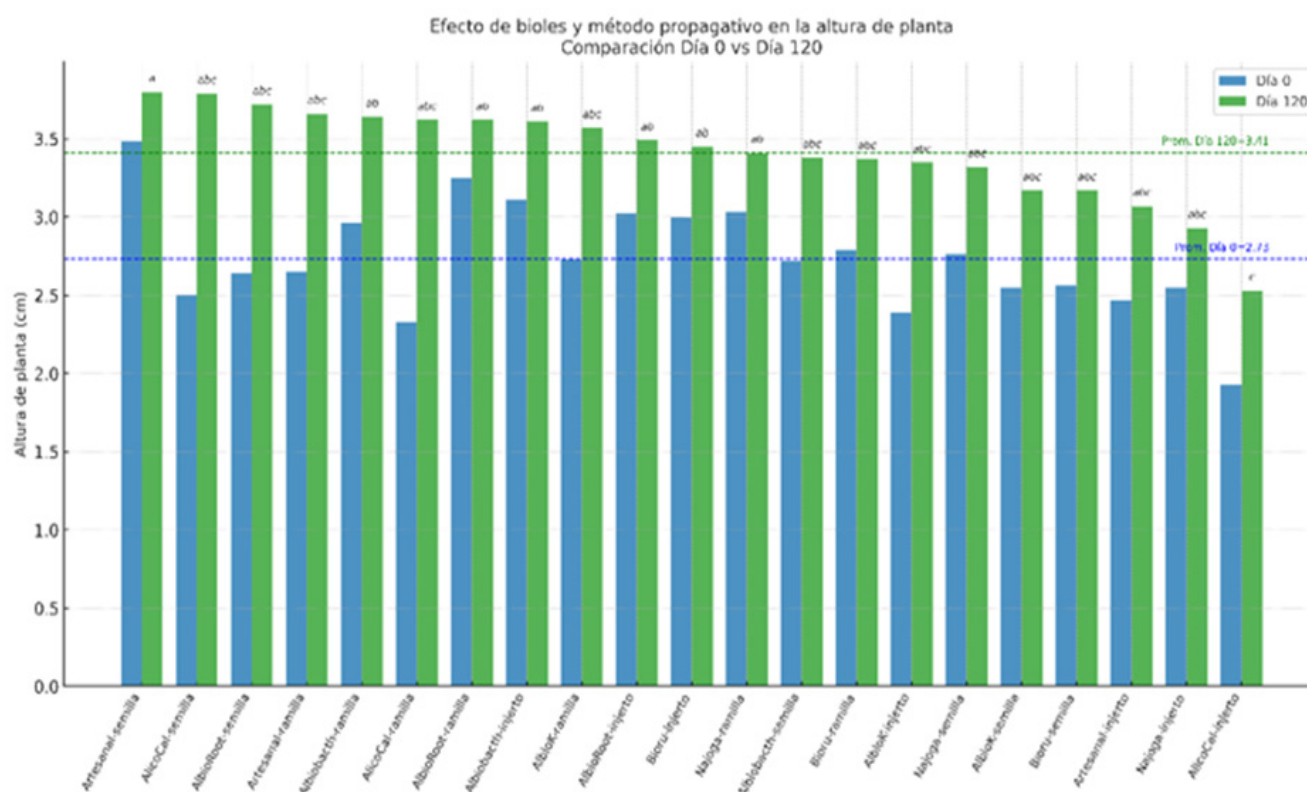


Figura 7. Análisis del efecto de los bioles sobre los métodos propagativos en la variable fenológica color y hoja en el día 0 sin aplicación y día 120 con aplicación

Variable Sanitaria

Incidencia de escoba de bruja

En la figura 8 se muestran los resultados de la incidencia de escoba de bruja durante los cuatro meses de evaluación. El análisis de varianza realizado al día 120 no reveló diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \geq 0,05$).

El valor promedio general para esta variable fue de 1,76, con un coeficiente de variación de 43,49 %. El mayor valor se registró en el tratamiento T21 (biol Bioru con minerales), con 2,67, mientras que el menor se observó en el tratamiento T12 (biol Albio-Potasio aplicado en plantas propagadas por semilla), con un promedio de 1,00.

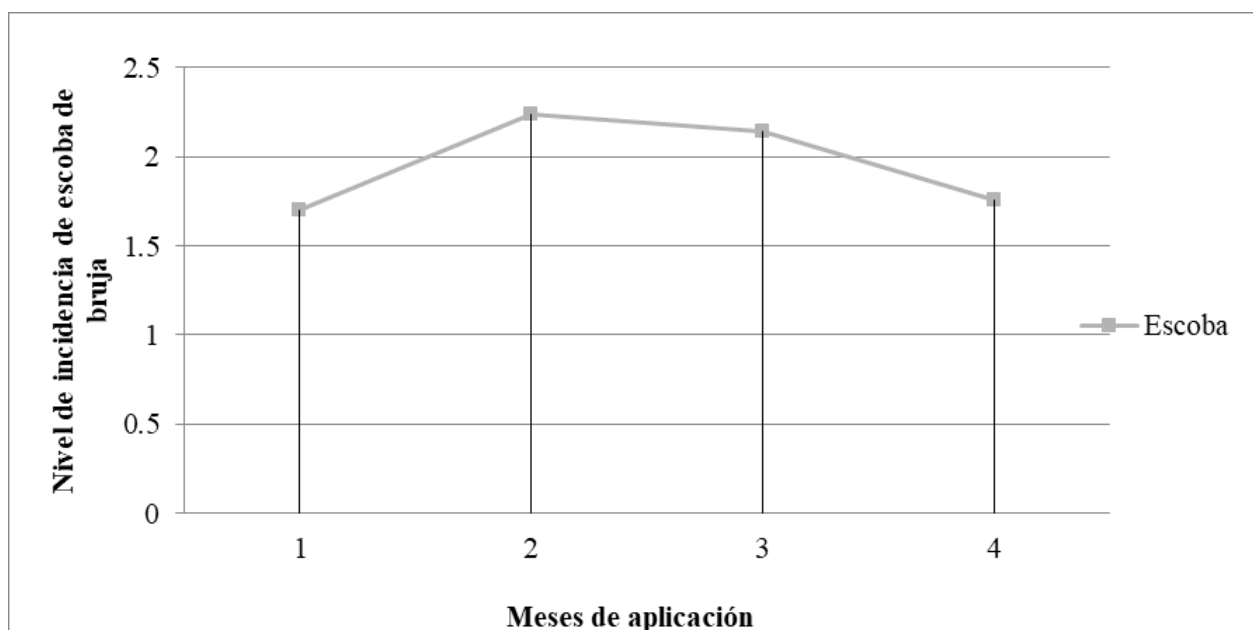


Figura 8. Nivel de incidencia de escoba de bruja en cacao durante los cuatro meses de aplicación del biol de potasio

Cherelles wilt

En la tabla 3 se presentan los resultados de la incidencia de cherelle wilt en plantas de cacao durante los 120 días de evaluación. El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \geq 0,05$). El valor promedio general obtenido al día 120 fue de 1,10, inferior al registrado en la evaluación inicial (1,17 al día 30). El coeficiente de variación en este periodo fue de 23,95 %, lo que indica una dispersión moderada de los datos.

Entre los tratamientos, el mayor valor se observó en T1 (biol artesanal aplicado en plantas injertadas) con 1,67, mientras que la mayoría de los demás tratamientos se mantuvieron en valores de 1,00, lo que coincide con la ausencia o mínima incidencia reportada en las distintas fechas de evaluación.

Tabla 3. Incidencia de cherelle wilt (Chw) en plantas de cacao a los 30, 60, 90 y 120 días posteriores a la aplicación de bioles

Cherelle Wilt (Chw)			Días			
N°	Código	Descripción de los tratamientos	30	60	90	120
1	b0 a0	Biol artesanal testigo con ramilla	2,33 a	2,00 a	1,00 b	1,67 a
2	b0 a1	Biol artesanal testigo con injerto	2,00 a b	1,00 b	1,00 b	1,00 a
3	b0 a2	Biol artesanal testigo con semilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,67 a
4	b1 a0	Biol albio root con ramilla	1,33 b c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
5	b1 a1	Biol albio root con injerto	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
6	b1 a2	Biol albio root con semilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
7	b2a0	Biol Alico- cal Sc con ramilla	1,00 c	1,00 b	1,33 a b	1,00 a
8	b2 a1	Biol Alico- cal Sc con injerto	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
9	b2 a2	Biol Alico- cal Sc con semilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
10	b3 a0	Biol Albio- potasio con ramilla	1,00 c	2,00 a	1,67 a b	1,33 a
11	b3a1	Biol Albio - potasio con injerto	1,00 c	2,00 a	1,33 a b	1,33 a
12	b3 a2	Biol Albio -potasio con semilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
13	b4 a0	Biol Albiobachth con ramilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
14	b4a1	Biol Albiobachth con injerto	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
15	b4 a2	Biol Albiobachth con semilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
16	b5a0	Biol najoga plus con ramilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
17	b5 a1	Biol najoga plus con injerto	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
18	b5a2	Biol najoga plus con semilla	1,00 c	1,00 b	1,33 a b	1,00 a
19	b6a0	Biol bioru de minerales con ramilla	1,00 c	1,00 b	1,00 b	1,00 a

20	b6a1	Biol bioru de minerales con injerto	1,33 b c	1,00 b	1,00 b	1,00 a
21	b6a2	Biol bioru de minerales con semilla	1,67 a b	1,00 b	2,00 a	1,00 a
Promedio			1,17	1,14	1,13	1,10
C.V (%)			+21,89	19,09	23,27	23,95

Número de mazorcas enfermas

La tabla 4 muestra la evolución del número de mazorcas enfermas en los cuatro momentos de evaluación (30, 60, 90 y 120 días). El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al día 120 ($p \leq 0,05$). El valor promedio general en esta última evaluación fue de 0,43, inferior al promedio inicial registrado a los 30 días (0,79). El tratamiento que registró el mayor valor al día 120 fue T10 (biol Albio-Potasio en plantas propagadas por ramilla), con un promedio de 1,33 mazorcas afectadas. En contraste, la mayoría de los tratamientos registraron valores iguales o inferiores a 1,00 en este mismo período. El coeficiente de variación fue de 79,61 %, lo que evidencia una alta dispersión de los datos entre tratamientos. La tendencia general muestra una reducción progresiva del número de mazorcas afectadas en la mayoría de tratamientos conforme avanzó el ciclo experimental.

Tabla 4. Variable sanitaria número de mazorcas enfermas (NME) en el día 30, 60,90 y 120 días después de la aplicación de lo bioles

Número de mazorcas enfermas (NME)			Días			
N°	Código	Descripción de los tratamientos	30	60	90	120
1	b0 a0	Biol artesanal testigo con ramilla	1,00 a b	1,33 a	1,00 b	0,67 a b
2	b0 a1	Biol artesanal testigo con injerto	1,00 a b	1,00 a b	1,00 b	0,33 a b
3	b0 a2	Biol artesanal testigo con semilla	1,00 a b	1,00 a b	1,00 b	0,00 b
4	b1 a0	Biol albio root con ramilla	1,00 a b	1,00 a b	1,00 b	0,00 b
5	b1 a1	Biol albio root con injerto	1,00 a b	0,33 b	0,67 b	0,00 b
6	b1 a2	Biol albio root con semilla	1,00 a b	0,00 c	0,67 b	0,00 b
7	b2a0	Biol Alico- cal Sc con ramilla	1,00 a b	0,00 c	1,00 b	0,33 a
8	b2 a1	Biol Alico- cal Sc con injerto	0,67 a b	0,00 c	1,00 b	0,33 a b
9	b2 a2	Biol Alico- cal Sc con semilla	0,67 a b	0,00 c	1,00 b	1,00 a b
10	b3 a0	Biol Albio- potasio con ramilla	0,67 a b	0,00 c	0,00 c	1,33 a
11	b3a1	Biol Albio - potasio con injerto	0,00 b	0,00 c	0,00 c	1,00 a b
12	b3 a2	Biol Albio -potasio con semilla	1,00 b	0,00 c	0,00 c	1,00 a b
13	b4 a0	Biol Albiobachth con ramilla	1,00 a b	0,33 b	0,00 c	0,00 b
14	b4a1	Biol Albiobachth con injerto	1,00 a b	1,00 a b	0,00 c	0,00 b
15	b4 a2	Biol Albiobachth con semilla	0,67 a b	0,00 c	0,00 c	0,00 b
16	b5a0	Biol najoga plus con ramilla	0,67 a b	0,00 c	0,00 c	1,00 a b
17	b5 a1	Biol najoga plus con injerto	0,67 a b	0,00 c	0,00 c	1,00 a b
18	b5a2	Biol najoga plus con semilla	1,67 a	0,00 c	0,00 c	0,33 a b
19	b6a0	Biol bioru de minerales con ramilla	0,67 a b	0,00 c	0,00 c	1,00 a b
20	b6a1	Biol bioru de minerales con injerto	0,33 b	0,00 c	2,00 a	0,00 b
21	b6a2	Biol bioru de minerales con semilla	0,00 b	0,00 c	1,000 b	0,00 b
Promedio			0,79	0,29	0,54	0,43
C.V (%)			64,16	78,47	33,01	79,61

Variable productiva

Número de mazorcas sanas

En la figura 9 se presentan los promedios obtenidos para el número de mazorcas sanas por tratamiento durante los cuatro meses de evaluación. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), con un promedio general de 13,75 frutos por planta y un coeficiente de variación de 24,89 %.

El valor más alto correspondió al tratamiento T14 (Albiobachth aplicado en plantas injertadas), con un promedio de 30,17 frutos sanos. El segundo valor más alto se registró en T2 (biol artesanal con injerto), con 22,33 frutos por planta.

Los valores más bajos se observaron en T19 (biol Bioru de minerales con ramilla), con 11 00 frutos, mientras

que los tratamientos T6, T12, T13, T17 y T21 registraron valores de 11,33 frutos.

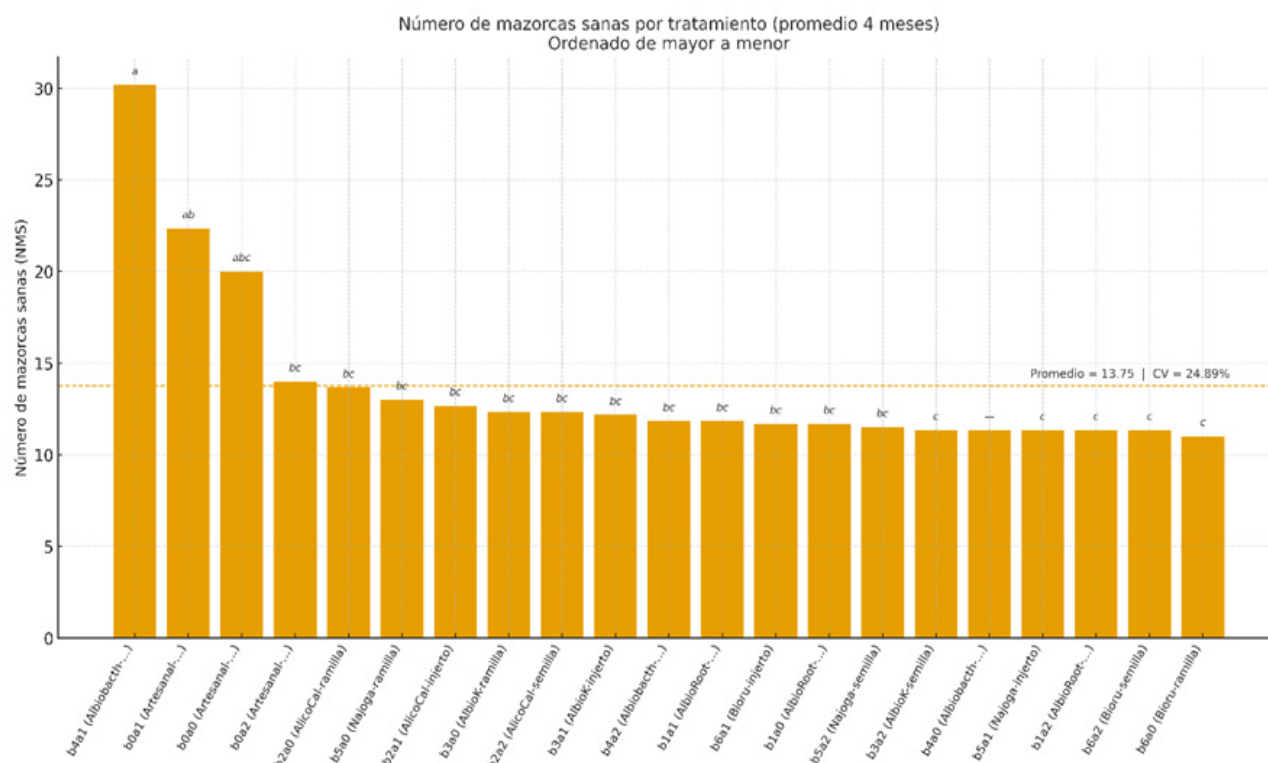


Figura 9. Variable productiva número de mazorcas sanas (NMS), promedio obtenido durante los cuatro meses de estudio

Rendimiento (kg/ha/año)

La tabla 5 presenta los valores de rendimiento estimado a partir del peso fresco de mazorcas sanas. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), con un promedio general de 1173,00 kg/ha/año y un coeficiente de variación de 56,12 %.

El valor más alto se registró en el tratamiento T14 (Albiobacth aplicado en plantas injertadas), con 2790,67 kg/ha/año. El valor más bajo correspondió al tratamiento T21 (Bioru aplicado en plantas provenientes de semilla), con 580,67 kg/ha/año.

Otros tratamientos con rendimientos superiores al promedio general fueron T2 (1867,67 kg/ha/año), T13 (1768,67 kg/ha/año) y T7 (1713,00 kg/ha/año). La mayoría de los tratamientos restantes se ubicaron en un rango entre 800 y 1300 kg/ha/año.

N°	Código	Descripción de los tratamientos	Rendimiento(kg/ha/año)
1	b0 a0	Biol artesanal testigo con ramilla	1168,33 b
2	b0 a1	Biol artesanal testigo con injerto	1867,67 a b
3	b0 a2	Biol artesanal testigo con semilla	968,33 b
4	b1 a0	Biol albion root con ramilla	878,67 b
5	b1 a1	Biol albion root con injerto	1056,00 b
6	b1 a2	Biol albion root con semilla	828,00 b
7	b2a0	Biol Allico- cal Sc con ramilla	1713,00 a b
8	b2a1	Biol Allico- cal Sc con injerto	1328,00 b
9	b2a2	Biol Allico- cal Sc con semilla	1523,00 b
10	b3a0	Biol Albion- potasio con ramilla	964,67 b
11	b3a1	Biol Albion - potasio con injerto	984,33 b
12	b3a2	Biol Albion -potasio con semilla	947,00b
13	b4 a0	Biol Albiobacth con ramilla	1768,67 a b
14	b4a1	Biol Albiobacth con injerto	2790,67 a
15	b4a2	Biol Albiobacth con semilla	982,33 b

16	b5a0	Biol najoga plus con ramilla	1199,00 b
17	b5 a1	Biol najoga plus con injerto	676,00 b
18	b5a2	Biol najoga plus con semilla	805,67 b
19	b6a0	Biol bioru de minerales con ramilla	875,67 b
20	b6a1	Biol bioru de minerales con injerto	728,67 b
21	b6a2	Biol bioru de minerales con semilla	580,67 b
Promedio			1173,00
C.V (%)			56,12

Análisis de nutrientes esenciales y metales pesados en el suelo

Nutrientes en el suelo antes y después de la aplicación de 18 bioles

En la tabla 6 se presentan los resultados del análisis de suelo realizado antes del inicio del ensayo y al finalizar los 120 días de aplicación de los bioles. El valor de pH aumentó ligeramente de 5,5 a 5,6.

Entre los macronutrientes primarios, el fósforo pasó de 21 ppm a 38 ppm, mientras que el potasio aumentó de 0,36 a 0,61 meq/100 mL. El nitrógeno amoniacal se mantuvo con valores similares (29 ppm al inicio y 28 ppm al final).

En los nutrientes secundarios, el calcio se incrementó de 6 a 10 meq/100 mL, el magnesio pasó de 0,7 a 3,5 meq/100 mL y el azufre aumentó de 12 a 17 ppm.

Respecto a los micronutrientes, el zinc aumentó de 3,5 a 5,8 ppm, el cobre pasó de 6,5 a 13,4 ppm, el hierro se incrementó de 279 a 571 ppm y el manganeso aumentó de 4,8 a 11,4 ppm. El boro fue el único elemento que registró una disminución, pasando de 0,41 a 0,18 ppm.

Tabla 6. Análisis de suelo de macro y micronutrientes esenciales al inicio y al final de las aplicaciones de 19 ioles en una huerta de cacao en la finca experimental "La Represa"

Análisis de suelos	pH	ppm			meq/100ml				ppm				
		NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
Inicial	5,5 Ac	29 M	21 A	0,36 M	6 M	0,7 B	12 M	3,5M	6,5 A	279 A	4,8 B	0,41 B	
Final	5,6MeAc	28 M	38 A	0,61 M	10A	3,5A	17 M	5,8 M	13,4 A	571 A	11,4 M	0,18 B	

Análisis de la materia orgánica y la interacción de las bases antes y después de la aplicación de los bioles.

En la tabla 7 se presentan los resultados del contenido de materia orgánica y las relaciones de bases antes y después de la aplicación de los bioles. El porcentaje de materia orgánica disminuyó de 4,4 % a 3,1 %, manteniéndose dentro del rango medio de interpretación.

En cuanto al intercambio de bases, se registraron aumentos en los valores de Ca/Mg, Mg/K y la relación Ca+Mg/K. La suma de bases pasó de 7,06 meq/100 mL en la medición inicial a 14,11 meq/100 mL al finalizar el ensayo.

Tabla 7. Se muestra el resultado del análisis de materia orgánica e intercambio de la suma de las bases al inicio al final de las aplicaciones en una huerta de cacao en la finca experimental "La Represa"

Análisis de suelo	M.O %	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	meq/100ml/Σ Bases
Inicial	4,4 M	8,5	1,94	18,61	7,06
Final	3,1 M	2,8	5,74	22,13	14,11

Análisis de metales pesados cadmio y plomo.

El análisis de metales pesados en el suelo evidenció en la tabla 8 que las parcelas sin aplicación de bioles presentaron concentraciones más elevadas en comparación con aquellas que recibieron el tratamiento. En particular, el cadmio (Cd) mostró una reducción del 23,08 %, al pasar de 0,16 mg/kg en el suelo sin aplicación a 0,13 mg/kg con aplicación. De manera más marcada, el plomo (Pb) presentó una disminución del 98,02 %, reduciéndose de 20,00 mg/kg a 10,10 mg/kg tras la incorporación de bioles.

Tabla 8. Se muestra el resultado del análisis de metales pesados al inicio al final de las aplicaciones en una huerta de cacao en la finca experimental "La Represa"

Análisis de suelo	Cadmio mg /Kg	Plomo mg /Kg
Sin aplicación	0,16	20,00
Con aplicación	0,13	10,10

DISCUSIÓN

La aplicación de bioles, en particular el tratamiento T14 (Albiobacth con injerto), mostró los mejores desempeños en variables fisiológicas, productivas y químicas del suelo, lo cual concuerda con lo señalado en la literatura sobre el rol de los microorganismos rizosféricos en la estimulación del crecimiento y la productividad en cacao. Akimien⁽¹³⁾ señalan que los consorcios microbianos presentes en biofertilizantes líquidos intervienen en la mineralización de nutrientes, la síntesis de compuestos bioactivos y la reducción de enfermedades. Vásquez⁽¹⁴⁾ indica que en el cultivo de cacao los microorganismos producen aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares y metabolitos bioactivos que promueven el crecimiento y suprimen patógenos, lo que coincide con la tendencia observada en el presente estudio.

En los tratamientos con Albiobacth y semilla (T15) se registraron los mayores valores de vigor y diámetro del tallo, lo cual puede explicarse por la presencia de *Azospirillum*, microorganismo reportado por Vera⁽²⁾ como productor de auxinas y otras fitohormonas responsables de la inducción floral y la estimulación del crecimiento vegetativo. Muñoz⁽¹⁵⁾ describe que la dinámica floral del cacao depende de señales hormonales y disponibilidad de carbohidratos, lo que podría estar relacionado con la respuesta observada en los tratamientos más efectivos. Por su parte, Lozano⁽¹⁶⁾ resalta que prácticas biotecnológicas como el uso de biorreguladores y microbiota mejoran el anclaje radicular, la absorción de nutrientes y el cuajado de frutos, efectos que se reflejaron en el mayor número de flores y frutos registrados.

En las variables sanitarias, la reducción de la incidencia de *Moniliophthora perniciosa* y del número de mazorcas enfermas en los tratamientos con bioles concuerda con lo señalado por Vera⁽¹⁷⁾, quien documentó que microorganismos antagonistas como *Trichoderma* disminuyen la infección de *M. roreri*. Asimismo, Anzules⁽¹⁹⁾ observó que la fertilización adecuada reduce la susceptibilidad al cherrille wilt, lo que respalda la menor incidencia reportada en la mayoría de los tratamientos de este estudio. Aunque no todas las variables sanitarias mostraron diferencias significativas, la tendencia general apunta a un efecto indirecto de los bioles en la sanidad del cultivo.

Respecto a la productividad, los valores más altos de frutos sanos y rendimiento se alcanzaron en T14 (Albiobacth + injerto) y T2 (biol artesanal + injerto). Estos resultados son consistentes con los de Rohaman 2019⁽¹⁹⁾ en Indonesia, quien observó un incremento en el número de mazorcas con biofertilizantes, y con Campos⁽²⁰⁾, quien documentó mayor disponibilidad de fósforo en suelos tratados con biofertilizantes enriquecidos. El rendimiento obtenido en T14 superó los valores promedio reportados en sistemas tradicionales, lo que evidencia que la combinación de injerto con bioles puede potenciar la eficiencia metabólica y el llenado de frutos.

En cuanto a las propiedades del suelo, se observó un incremento en nutrientes primarios y secundarios tras la aplicación de bioles, en concordancia con lo señalado por Campos⁽²⁰⁾ respecto a la disponibilidad de fósforo y micronutrientes en suelos tratados con biofertilizantes. Además, la disminución de Cd y Pb en los suelos con aplicación de bioles coincide con lo reportado por autores que atribuyen este efecto a procesos de inmovilización microbiana y cambios en la estructura coloidal del suelo.⁽²¹⁾

Debe destacarse que el estudio presenta limitaciones. La duración del ensayo fue relativamente corta, lo que restringe la evaluación de efectos de largo plazo. En algunas variables se registraron coeficientes de variación elevados, reflejando heterogeneidad en la respuesta del cultivo. Tampoco se cuantificó directamente la microbiota del suelo, por lo que los mecanismos biológicos detrás de los cambios observados se infieren a partir de literatura previa y no de evidencias experimentales propias. Finalmente, las condiciones edafoclimáticas específicas del sitio experimental limitan la extrapolación de los resultados a otras zonas productoras.

En síntesis, los hallazgos obtenidos demuestran que la integración de bioles en los sistemas de producción de cacao, especialmente en combinación con injertos, puede representar una alternativa sostenible y eficiente para mejorar el crecimiento, la productividad y la sanidad del cultivo, en concordancia con la literatura previa. No obstante, se recomienda realizar investigaciones de mayor duración que incluyan la caracterización de la microbiota edáfica y la validación en diferentes condiciones agroecológicas para consolidar la evidencia de su eficacia.

CONCLUSIONES

La aplicación de bioles en cacao (*Theobroma cacao* L.) propagado sexual y asexualmente demostró efectos consistentes y cuantificables en el desempeño del cultivo y en la calidad del suelo. El tratamiento T14 (Albiobacth + injerto) alcanzó el mayor rendimiento con 2790,67 kg/ha/año y 30,17 frutos sanos por planta, superando ampliamente al promedio general de 1173,00 kg/ha/año. De igual manera, el tratamiento T15 (Albiobacth + semilla) registró el mayor diámetro de tallo (12,05 mm) y vigor (5,0 en la escala de evaluación), confirmando la acción positiva de los consorcios microbianos en el crecimiento vegetativo.

En términos sanitarios, el biol Albio-Potasio redujo la incidencia de escoba de bruja en un 62,5 % respecto al testigo, mientras que la aplicación de bioles en general disminuyó el número de mazorcas enfermas de 0,79 a 0,43 en promedio al finalizar el ensayo, lo que demuestra un efecto indirecto en la supresión de patógenos.

En el suelo, los bioles incrementaron el fósforo de 21 a 38 ppm, el potasio de 0,36 a 0,61 meq/100 mL y

el magnesio de 0,7 a 3,5 meq/100 mL, además de duplicar el calcio. También se evidenció una reducción del 23,08 % en cadmio (de 0,16 a 0,13 mg/kg) y del 49,5 % en plomo (de 20,00 a 10,10 mg/kg), lo que subraya su potencial en la mitigación de metales pesados en sistemas cacaoteros.

Estos resultados confirman que la integración de bioles, especialmente en combinación con injertos, constituye una estrategia agroecológica eficaz para mejorar la productividad, la sanidad y la sostenibilidad del cacao en Ecuador. Sin embargo, se recomienda ampliar la duración de los estudios y evaluar la microbiota edáfica de forma directa para fortalecer la comprensión de los mecanismos biológicos involucrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gil L, Leiva F, Lezama M, Bardales C. Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Rev Investig en Ciencias Agronómicas y Vet.* 2023;7(20):336-45. Available from: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-09022023000200336

2. Vera R, Vera J, Vásquez L, Cobos F, Rodríguez S, Pazmiño Á, et al. Efecto del mucilago de cacao adicionando con tres niveles de vinagre y melaza como herbicida en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev Soc Científica del Paraguay.* 2025;30(1):1-13. Available from: <https://sociedadcientifica.org.py/ojs/index.php/rscpy/article/view/425>

3. Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. Agricultural uses of plant biostimulants. *Marschiner Rev.* 2014;383:3-41.

4. Zarrillo S, Gaikwad N, Lanaud C, Powis T, Viot C, Lesur I, et al. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nat Ecol Evol.* 2018;2:1879-88.

5. Vásquez L, Montoya E, Cadena L, Plua J, Camacho C, Cobos F, et al. Evaluación físico química y sensoriales del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 fermentado con *Saccharomyces cerevisiae* y extracto de fruta (Mango manila) en diferentes grados de madurez. *Nutr Clínica y Dietética Hosp.* 2025;45(3):117-28. Available from: <https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/1030>

6. Vásquez L, Rodríguez S, Villamarín J, Vera J. Pigmentos de (*Justicia Spicigera*) en chocolate con dos variedades de *Theobroma bicolor*: *Theobroma bicolor* y *Theobroma cacao* de la variedad Trinitario. *Rev Científica Multidiscip InvestiGo.* 2025;5(9):12-31. Available from: <https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/159>

7. Intriago F, Cedeño J, Parraga C, Alvarado K, Vásquez L, Revilla K, et al. Induction of effective microorganisms (EM) in the fermenting mass of cacao (*Theobroma cacao* L.) and their impact on physicochemical and antioxidant characteristics. *Biotechnia.* 2024;26(2422):1-8. Available from: <https://biotechnia.unison.mx/index.php/biotechnia/article/view/2422>

8. Lehtonen MJ, Ahvenniemi P, Wilson PS, Valkonen JPT. Biological diversity of *Rhizoctonia solani* (AG-3) in a northern potato-cultivation environment in Finland. *Plant Pathology.* 2008;57:141-51.

9. Breeding C, Sinkangam B, Stamp P, Srinives P, Jompuk P, Mongkol W, et al. Integration of quality protein in waxy maize by means of simple sequence repeat markers. *Crop Sci América.* 2011;51(6):1-14.

10. Vásquez L, Cevallos C, Uvidia M, Segobia S, Plua M. Evaluación de métodos fermentativos de cacao Nacional y CCN51 induciendo microorganismos en yute y cajas Rohan para mejora organoléptico. *Luna Azul.* 2025;60(60):1-31.

11. Erazo C, Vera J, Tuarez D, Vásquez L, Alvarado K, Zambrano C, et al. Caracterización fenotípica en flores de cacao (*theobroma cacao* L.) en 40 híbridos experimentales en la finca experimental La Represa. *Rev Bionatura.* 2023;8(3):1-9.

12. Grosso C, Lemos A, Melo P. Conjugate Addition of Pyrazoles to Halogenated Nitroso- and Azoalkenes : A New Entry to Novel Bis (pyrazol-1-yl) methanes Authors Key words. *Synlett.* 2014;25(20):2868-72.

13. Akhimien O, Omonigho S. Comparative analysis of compost manure and inorganic fertilizer on the bacterial population density of cocoa seedling rhizosphere. *J Sci Tecnology Res.* 2019;1(2):69-76. Available from: <https://journals.nipes.org/index.php/njstr/article/view/48>

14. Vásquez L, Vera J, Erazo C, Intriago F. Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (Theobroma Cacao L .) as a strategy for the decrease of cadmium. Int J od Heal Sci. 2022;6(3):11354-71. Available from: <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672Induction>
15. Muñoz C, Panduro N, Velazco E, Iturraran E. Evaluación de la fenología reproductiva y dinámica de producción del cacao (Theobroma cacao L .) clon CCN - 51. Big Bang Faustiniiano. 2017;6(1):38-42.
16. Lozano R. Efecto de la aplicación de bio reguladores para el control de M oniliophthora roreri y Phytophthora palmivora en cacao CCN-51 (Theobroma cacao). Rev Kill Técnica. 2020;4(2):13-20.
17. Vera J, Vásquez L, Alvarado K, Intriago F, Raju M, Radice M. Physical and Organoleptic Evaluation of 12 Cocoa Clones (Theobroma Cacao L.) of National Type, in Cocoa Liquor—a Study from Ecuador. Syst Smart Technol Innov Soc. 2024;870:199-211.
18. Anzules V, Borjas R, Alvarado L, Castro V, Julca A. Control cultural, biológico y químico de Moniliophthora rorei y Phytophthora spp en Theobroma cacao CCN-51. Sci Agropecu. 2019;10(4):511-20.
19. Rohaman F, Wachjar A, Santosa E, Abdoellah S. Humic acid and biofertilizer applications enhanced pod and cocoa bean production during the dry season at kaliwining plantation, jember, east java, Indonesia. J Trop Crop Sci. 2019;6(3):1-11.
20. Campos C, Mello R, Castellanos L, Abreu M, Rosatto L. Fuentes de fosfato asociadas a la cachaza y el biofertilizante sobre los microorganismos solubilizadores de fósforo y su contenido en el suelo. Cultiv Trop. 2016;37(1):22-7. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362016000100003
21. Vásquez L, Alvarado K, Intriago F, Raju N, Prasad R. Banana and apple extracts with efficient microorganisms and their effect on cadmium reduction in cocoa beans (Theobroma cacao L.). Discov Food. 2024;4(163):1-13. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-024-00205-5#citeas>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Luis Humberto Vásquez Cortez, Martha Betania Salazar Pacheco.

Curación de datos: Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos, Jose Luis Moncayo Paz, Guillermo Enrique García Vásquez.

Análisis formal: Juan Andrés Villamarín Barreiro, Benítez Velasco Danny Vidor, Guillermo Enrique García Vásquez.

Investigación: Martha Betania Salazar Pacheco, Jose Luis Moncayo Paz.

Metodología: Luis Humberto Vásquez Cortez, Ramírez Castro Adolfo Emilio.

Recursos: Ramírez Castro Adolfo Emilio, Jose Luis Moncayo Paz, Guillermo Enrique García Vásquez.

Software: Juan Andrés Villamarín Barreiro, Benítez Velasco Danny Vidor.

Supervisión: Luis Humberto Vásquez Cortez, Martha Betania Salazar Pacheco

Validación: Martha Betania Salazar Pacheco, Ramírez Castro Adolfo Emilio, Guillermo Enrique García Vásquez.

Visualización: Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos, Juan Andrés Villamarín Barreiro.

Redacción - borrador original: Martha Betania Salazar Pacheco, Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos, Luis Humberto Vásquez Cortez.

Redacción - revisión y edición: Luis Humberto Vásquez Cortez, Martha Betania Salazar Pacheco, Juan Andrés Villamarín Barreiro, Benítez Velasco Danny Vidor, Jose Luis Moncayo Paz, Ramírez Castro Adolfo Emilio, Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos.