



Biofertilización para la producción de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) injerto CCN51, para la elaboración de chocolate

Chevez Villanueva, Maria Sol¹; Zambrano Barcos, Leontes Leonidas¹; Chevez Villanueva, José Luis² y Inga Bueno, Julio Bolívar³

¹Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Guayas, Ecuador

²Colegio Técnico Industrial "Febres Cordero", Guayaquil, Guayas, Ecuador

³Asesor Técnico, Prefectura del Cañar, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0004-6831-5049> solchevezv@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2774-5635> lzambrano@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-3703-241X> josel.chevez@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0003-2687-1728> julio12-87@hotmail.com

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.12787083>

Recibido: 06-12-2023

Aceptado: 13-06-2024

RESUMEN

Los planes de fertilización actuales en cultivos de cacao se basan en el uso de fertilizantes inorgánicos, los cuales aumentan los costos, riesgos de contaminación de suelos y agua por metales pesados, es por ello que se deben considerar otras opciones como: abonos orgánicos, y biofertilizantes, que aseguren el crecimiento vegetal de las plantas, que reduzcan los costos, riesgos de contaminación y garanticen la obtención de un chocolate inocuo, es por ello que el objetivo de esta investigación fue seleccionar la dosis y tipo de biofertilizantes o bioestimulante comercial adecuada en la propagación de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51. La investigación se llevó a cabo un vivero comercial, ubicado en la vía La Troncal – Conchancay del Cantón La Troncal, provincia el Cañar, aplicando biofertilizantes y bioestimulantes (Biol y Humus de lombriz) en la producción de plántulas cacao injerto CCN51, en dosis de 0, 100, 150 y 250 cc por cada 10 litros de agua de riego. Se evaluó su efecto sobre la altura del injerto, grosor del tallo, número de hojas. Los resultados muestran que los mejores resultados se obtuvieron luego de aplicar una dosis de biofertilizantes de 150 cc a los 30, 60 y 90 días después del injerto (DDT), por lo que se concluye que esta dosis es la óptima para obtener más plántulas a nivel de vivero, de mayor vigor y que al final ser verán reflejado en un chocolate orgánico, libre de contaminantes y de un mejor precio en el mercado internacional, además de reducir los riesgos de contaminación ambiental y los costos por el uso de fertilizantes.

Palabras Clave: chocolate, fertilización, inocuidad, orgánico, sostenibilidad.



Biofertilization for the production of cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.) CCN51 graftfor the production of organic chocolate

ABSTRACT

Current fertilization plans in cocoa crops are based on the use of inorganic fertilizers, which increase costs, risks of soil and water contamination by heavy metals, which is why other options should be considered such as: organic fertilizers, and biofertilizers, which ensure plant growth of plants, reduce costs, risks of contamination and guarantee the production of safe chocolate, which is why the objective of this research was to select the dose and type of biofertilizers or adequate commercial biostimulant in the propagation of grafted plants of cocoa (*Theobroma cacao* L.) CCN51. The research was carried out in a commercial nursery, located on the La Troncal - Conchancay road, Canton La Troncal, El Cañal province, applying biofertilizers and biostimulants (Biol and worm humus) in the production of CCN51 grafted cocoa seedlings, in doses of 0, 100, 150, and 250 cc per 10 liters of irrigation water. Its effect on graft height, stem thickness and number of leaves was evaluated. The results show that the best results were obtained after applying a dose of biofertilizers of 150 cc at 30, 60 and 90 days after grafting (DDT), so it is concluded that this dose is the optimum to obtain more seedlings at nursery level, of greater vigor and that in the end will be reflected in an organic chocolate, free of contaminants and of a better price in the international market, in addition to a better price in the international market.

Keywords: chocolate, fertilization, safety, organic, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Los viveros de cacao se enfrentan a limitaciones de tecnología que se muestran en bajo rendimiento y calidad; los nuevos mercados exigen atributos morfológicos en base al grano como es tamaño, color de la semilla de igual manera exigen atributos organolépticos como el sabor, aromas especiales que podrían encontrarse en plantaciones nativas e híbridas, por lo que se necesita rescatar el material que cumple con estos requisitos de calidad (Teye et al. 2020).

Los injertos son propagaciones asexuales donde las plantas requieren de cuidados especiales para ser injertadas en los patrones los cuales deben presentar buen vigor y tener una edad de cuatro a cinco meses ahí estaría listo para la enjertación. Es importante para combatir este problema se recurra a técnicas de renovación como es el uso de injertos con lo que se busca rescatar la producción de cacao obteniendo plantas con alta confiabilidad en la autenticación de las características genéticas que se desea multiplicar (Tovar et al. 2022; N'zi et al. 2023).

Las zonas donde se producen viveros de cacao injerto en su mayoría utilizan fertilizantes a base de urea, fósforo y potasio, pero no buscan nuevas alternativas más económicas y amigables al medio ambiente como es el uso de biofertilizantes y bioestimulantes en el manejo agronómico de los viveros, que conllevaría, ahorro de costos, menores riegos de contaminación de suelos y aguas y una mayor inocuidad del cacao, que estaría libre de contaminantes (Wigunanda et al. 2023; dos Santos et al. 2024) .

Los biofertilizantes están basados en microorganismos que promueven y benefician la nutrición y el crecimiento de las plantas. se trata de microorganismos del suelo generalmente hongos y bacterias que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas de una forma más o menos íntima. Los microorganismos promotores del crecimiento y nutrición vegetal facilitando de manera directa la disponibilidad de determinados nutrientes en las plantas, tales como nitrógeno(N), fósforo(P) y potasio(K), aunque también los hay que producen sustancias (Fitohormonas) promotoras

del crecimiento vegetal (Avilés et al. 2022).

Desde el punto de vista de una agricultura sostenible, el uso de biofertilizante representa una importante alternativa para limitar el uso de abonos químicos, reduciendo su impacto ambiental y económico, además de mejorar la productividad del cultivo (Macik et al. 2020). Otra ventaja de los biofertilizantes, respecto a los fertilizantes tradicionales, es su capacidad para sustituir hasta el 50% del nitrógeno de origen industrial y el aprovechamiento del suelo para que la planta asimile mejor los nutrientes, se prevé que su costo es 90% menor a los químicos (Roy, 2021)

En el ámbito económico la aplicación de biofertilizante ha resultado satisfactoriamente positiva, en el caso de cacao, en este sentido Situmorang, et al. (2023), realizaron un trabajo experimental en donde demostraron que con el uso de micorrizas, hay un mayor rendimiento en este cultivo, así como un mayor vigor de las mismas, las cuales en el momento de la extracción del vivero hacia el campo presentaban un color

uniforme en su sistema radicular, características de plantas sanas, vigorosas y con alto valor ecológico, además de mazorca libre de contaminantes como el Cd, que limita la exportación del cacao, en ese mismo orden de ideas Nurmayulis et al. (2023), lograron el aislamiento de microorganismos en el cacao a nivel de la rizosfera, los cuales tienen la capacidad de producir fitohormonas, que favorecen el crecimiento vegetal.

Debido a que en viveros no se realiza una fertilización a base de biofertilizantes y bioestimulantes, con el propósito de que el agricultor tenga una nueva alternativa para el desarrollo de las plántulas con nuevos nutrientes que aporta en el desarrollo del injerto., el objetivo de esta investigación fue seleccionar la dosis y tipo de biofertilizantes o bioestimulante comercial da mayor eficacia en la propagación de plantas injertadas de cacao CCN51 para reducir los costos de producción, garantizar la obtención de un chocolate libre de contaminantes de mejor precio en el mercado internacional, además de reducir los riesgos de contaminación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y caracterización del sitio de estudio

El ensayo se realizó en el vivero comercial “Israel”, ubicado en la vía La Troncal – Conchancay del Cantón La Troncal, provincia el Cañal, Ecuador.

Diseño de experimento y tratamientos evaluados

El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con 7 tratamientos, 5 repeticiones y 20 platas por tratamiento. Los factores estudiados fueron las dosis de biofertilizantes y bioestimulantes en el injerto de cacao (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos estudiados.

Tratamiento	Descripción	Dosis
T1	Bioestimulantes	100cc/10litros de agua
T2	Biofertilizantes	100cc/10litros de agua
T3	Bioestimulantes	150cc/10litros de agua
T4	Biofertilizantes	150cc/10litros de agua
T5	Bioestimulantes	250cc/10litros de agua
T6	Biofertilizante	250cc/10litros de agua
T7	Testigo absoluto	10litros de agua

El biofertilizantes y bioestimulante usando fueron un biol comercial y humus de lombriz, cuya caracterizas se describen a continuación:

El biol fue obtenido Sustrato de estiércol vacuno y pasto fermentados, contiene 8,5 % de materia orgánica, 2,6 % de nitrógeno (N); 1,5 % de fosforo (P) 1,0 % de Potasio (K) pH 7,9.

El bioestimulante fue obtenido de humus de lombriz y contiene 30% de materia orgánica; ácidos húmicos 6%; ácidos fúlvicos, y: 1% de microelementos.

Manejo del experimento

Selección de las plantas: Se realizó la selección de los patrones y las varetas para la injertación de 700 plantas de cacao, (20 plántulas por tratamiento).

Riego: Se regó las plántulas de acuerdo a las necesidades del cultivo o a las programaciones (2 riego semanal)

Control de malezas: Se controló las malezas de forma manual según su presencia para evitar que compitan con las plántulas por nutrientes, luz y agua se efectuó de forma manual.

Fertilización: Se aplicó los biofertilizantes y bioestimulantes diluidos en 10 litros de agua,

según las dosis establecidas en el experimento.

VARIABLES EVALUADAS

Cantidad de injertos prendidos: Se observó cada 30 días los injertos que ya estuvieron prendidos y formado callo hasta los 90 días que están listo para el trasplante.

Cantidad de hojas: Se observó cada 30 días durante tres meses el número de hojas nuevas emitidas en 10 plántulas injertadas hasta que este el callo formado.

Altura del injerto: Se procedió a medir la altura del brote en 20 plántulas cada 30 días por un lapso de 3 meses la misma se expresó en cm.

Diámetro del tallo: Se procedió a medir el diámetro del tallo del injerto con la ayuda de un calibrador en diez plántulas cada 30 días por un lapso de tres meses, a una altura de 3 centímetros del callo del injerto cuando estaba listo para el trasplante la cual se expresó en cm.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las comparaciones de las medias de los tratamientos en estudio se los realizaron mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% de probabilidad.

Cuadro 2. Prendimiento de injerto (%) a los 30, 60, 90 días donde se aplicó biofertilizante y bioestimulante en diferentes dosis, injerto de cacao (*Theobroma cacao* L) CCN51 en la etapa de vivero.

Tratamiento	Dosis	30 días	60 días	90 días
T1	Biofertilizante 100 cc	2,40 ab	4,20 c	5,20 a
T2	Bioestimulante 100 cc	2,40 ab	3,80 bc	5,80 ab
T3	Biofertilizante 150 cc	3,20 b	3,60 bc	7,60 c
T4	Bioestimulante 150 cc	3,40 b	5,20 d	7,20 bc
T5	Biofertilizante 250 cc	2,40 ab	3,20 bc	5,20 a
T6	Bioestimulante 250 cc	2,40 ab	2,80 ab	5,60 a
T7	Testigo 0	1,40 a	1,60 a	4,40 a
C.V. (%)		22,72	17,09	12,19

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de la variable prendimiento de injerto a los 30 días en el Cuadro 2, se puede observar que existieron diferencias significativas para esta variable, encontrándose los mayores promedios en los tratamientos T4, con 3,40% y T3 con 3,20%, donde se utilizó Biofertilizante y bioestimulantes en dosis de 150cc, el menor promedio lo alcanzo el tratamiento T7 con 1,40% mientras que a los 60 días el porcentaje más alto los alcanzo el tratamiento T4 con un promedio de 5,20%, encontrando los valores más bajo en el tratamiento T7, con 1,40%, finalmente los 90 días el mayor porcentaje de injertos prendidos lo alcanzo el tratamiento T3 con 7,60% y el menore promedio los alcanzo el tratamientos T7, con 4,40%.

Con respecto a la variable cantidad de hojas a los 30 días (Cuadro 3), se observa que existen diferencias significativas, encontrándose el mayor promedio lo presentó el tratamiento T4, con un valor de 2,20 hojas, donde se utilizó bioestimulantes en dosis de 150cc y el menor promedio se presentó el tratamiento T2 con 0,80 hojas. A los 60 días el mayor número de hojas los alcanzaron los tratamientos T4 con 3,40 y T3, con 3,20 hojas, donde se aplicó biofertilizante y bioestimulantes en dosis de 150cc, mientras que los promedios más

bajos se observan en el tratamiento T7, con 1,4 hojas. Finalmente, a los 90 días es cuando el mayor número de hojas presentaron los tratamientos T4 con 6,60, y el menor promedio lo alcanzaron los tratamientos T7 y T2 con 4,40% hojas.

Cuadro 3. Número de hojas a los 30, 60 y 90 días donde se aplicó biofertilizante y bioestimulante en diferentes dosis, en injerto de cacao CCN51, en la etapa de vivero.

Tratamiento	Dosis	30 días	60 días	90 días
T1	Biofertilizante 100 cc	1,20 ab	2,40 ab	5,00 a
T2	Bioestimulante 100 cc	0,80 a	2,40 ab	4,40 a
T3	Biofertilizante 150 cc	1,80 ab	3,20 b	5,40 ab
T4	Bioestimulante 150 cc	2,20 b	3,40 b	6,60 b
T5	Biofertilizante 250 cc	1,60 ab	2,40 ab	5,20 a
T6	Bioestimulante 250 cc	1,40 ab	2,40 ab	4,80 a
T7	Testigo 0	1,20 ab	1,40 a	4,40 a
C.V. (%)		34,31	22,72	12,07

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Con respecto a la variable altura de injerto a los 30 días en el Cuadro 4 se observan las que se presentaron diferencias significativas, encontrándose el mayor promedio en el tratamiento T5 con 9,72 cm donde se utilizó Biofertilizante y bioestimulantes en dosis de 150 cc, el menor promedio se presenta en el tratamiento T7 con 5,98 cm, a los 60 días el porcentaje más alto los alcanzo el

tratamiento T4 con 11,12 cm, donde se aplicó biofertilizante y bioestimulantes en dosis de 150cc, y el promedio más bajo se presenta en el tratamiento T7 con 6,70 cm, finalmente, a los 90 días el tratamientos que presento mayor altura fue T4 con 16,20 cm, y el menor promedio se observó en el tratamiento T7, con 10,82 cm.

Cuadro 4. Altura del injerto (cm) a los 30, 60 y 90 días donde se aplicó biofertilizante y bioestimulante en diferentes dosis, en injerto de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la etapa de vivero.

Tratamiento	Dosis	30 días	60 días	90 días
T1	Biofertilizante 100 cc	6,82 a	8,62 bc	12,62 ab
T2	Bioestimulante 100 cc	7,82 bc	9,02 bc	12,62 ab
T3	Biofertilizante 150 cc	9,12 bc	10,12 cd	12,88 ab
T4	Bioestimulante 150 cc	9,72 c	11,12 d	16,20 c
T5	Biofertilizante 250 cc	7,34 ab	8,50 b	12,28 ab
T6	Bioestimulante 250 cc	7,60 ab	8,80 bc	13,04 b
T7	Testigo 0	5,98 a	6,70 a	10,82 a
C.V. (%)		12,21	22,72	12,07

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En relación al diámetro de tallo (Cuadro 5), a los 30 días el tratamiento T4 presentó el promedio más alto con 0,88 cm, en cuanto que el menor promedio se observa en el tratamiento T1 con 0,66 cm. A los 60 días el tratamiento T4 (bioestimulante con dosis de 150 cc) presentó el promedio más alto con 1,20 cm, y el promedio más bajo se observó

en el tratamiento T1 con 0,78 cm, mientras que a los 90 días el tratamiento T4 bioestimulante con dosis de 150 cc presentó el promedio más alto con 1,29 cm, los menores promedios los presentaron los tratamientos T5, T6, T2 y T7 con valores que oscilaron entre 1,00 y 0,96 cm.

Cuadro 5. Diámetro del injerto a los 30, 60 y 90 días donde se aplicó biofertilizante y bioestimulante en diferentes dosis, en injerto de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la etapa de vivero.

Tratamiento	Dosis	30 días	60 días	90 días
T1	Biofertilizante 100 cc	0,66 a	0,78 a	1,05 ab
T2	Bioestimulante 100 cc	0,62 a	0,80 a	0,98 a
T3	Biofertilizante 150 cc	0,84 bc	0,99 ab	1,08 ab
T4	Bioestimulante 150 cc	0,88 c	1,20 b	1,29 b
T5	Biofertilizante 250 cc	0,84 bc	0,93 ab	1,00 a
T6	Bioestimulante 250 cc	0,79 abc	0,93 ab	1,00 a
T7	Testigo 0	0,70 ab	0,86 ab	0,96 a
C.V. (%)		11,49	18,52	12,88

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados reportados para las variables porcentaje de prendimiento, número de hojas, altura de injerto y diámetro de tallo, presentados en las tablas anteriores, coinciden con investigaciones similares que demuestran la importancia del uso de abonos orgánicos y bioestimulantes, para lograr un crecimiento óptimo de plántulas de cacao.

Unda y Morales (2021) en una investigación en una finca cultivada con el clon de cacao CCN51, encontraron que el uso de biochar + gallinaza causa efectos en la altura y peso de las almendras, mostrando el mejor resultado con dosis del T2 y T1 respectivamente (150 y 75 g de biochar y gallinaza). Estos resultados determinaron que su empleo es conveniente para su desarrollo vegetal, pero que se deben ajustar mejor la dosis, para lograr con los restos de las cosechas de cacao un manejo sostenible de la fertilidad de las cacaoteras.

De acuerdo a Vera et al. (2021) el mayor rendimiento kg/ha/año se obtiene cuando se combina el método propagativo injerto y aplicación de bioles a base de microorganismos, lo cual es similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, dado que los bioles en general ayudaron a mejorar las condiciones en el suelo, aumentando macro y micronutrientes, además la aplicación de bioles aumentó el pH y el intercambio de las bases, también ayudaron a la reducción del Cadmio (Cd) y plomo (Pb) significativamente.

El uso de enmiendas líquidas no solo tiene un impacto desde el punto de vista productivo, sino para mitigar el impacto ambiental, dado que las mismas

ayudan la reducción de cadmio en suelo, hojas y almendras de cacao, en este orden de ideas Zavala et al. (2022), determinaron que el contenido de cadmio total en el suelo al aplicar 50 L ha⁻¹ de biol (0,13 ppm de cadmio) y a diferencia de cuando aplicaron 4 L ha⁻¹ de carbón líquido (0,12 ppm de cadmio); mientras que, sin la aplicación de enmiendas líquidas orgánicas el valor promedio fue 0,36 ppm de cadmio.

La aplicación de enmiendas orgánicas también favorece la acción de los microorganismos, cuyo uso es promisorio como se observa con la inoculación del microinjerto de cacao con las cepas de HMA *Rhizoglyphus irregularis* o *Glomus cubense* es efectiva en sustratos de cáscara de cacao o humus de lombriz, presentando mejores indicadores en tamaño y área foliar de las posturas y disminución del 44 % de las cantidades de abonos orgánicos, en relación con la recomendación del Instructivo (Aranda et al., 2023).

Los resultados de esta investigación abren un campo para la producción sostenible de cacao, dado que se garantiza la reducción del uso de fertilizantes, lo cual trae consigo la reducción de costos, el reciclaje de residuos que se producen en la unidad de producción, lo que mitiga el riesgo de contaminación de suelos y aguas, mantiene el crecimiento vegetativo, vigor y calidad de la producción de cacao, además de que genera un valor agregado en la cadena agroindustrial al producir un cacao de origen orgánico y libre de contaminante, el cual es más apreciado en los mercados internacionales.

CONCLUSIONES

Los resultados reportados para las variables porcentaje de prendimiento, número de hojas, altura de injerto y diámetro de tallo, demuestra la importancia del uso de abonos orgánicos y bioestimulantes, para lograr un crecimiento óptimo de plántulas de cacao, disminuyendo los costos por el uso de fertilizantes químicos y aprovechando el uso de los residuos derivados en las plantaciones de cacao para la producción de bioles.

El uso de biofertilizantes y bioestimulantes, promueve un mayor crecimiento vegetativo, dado la presencia de sustancias promotoras de crecimiento, lo cual se traduce en un óptimo desarrollo de las plántulas, además de lograr producto de la reducción de abonos inorgánicos, minimizar las concentraciones de metales pesados, particularmente el Cd, el cual es un metal pesado que reduce la calidad del chocolate e impide su comercialización en los mercados internacionales.

La promoción de buenas prácticas agrícolas de biofertilización, apunta hacia la obtención de un chocolate de mayor calidad y precio, lo que favorece la cadena agroindustrial, debido a dos cualidades ampliamente apreciadas en el mercado internacional, como son la elaboración de productos y subproductos de cacao libre de contaminantes y a una mayor calidad nutricional del mismo al obtener productos exclusivamente orgánicos, los cuales tienen un mayor precio en el mercado internacional.

REFERENCIAS

- Vera Raza, B. B., Mero Intriago, R. A., Burgos Briones, G. A., & Cevallos Cedeño, R. E. (2022). Lignocellulosic waste and activated carbon production method. *Minerva, 1*(Special), 122-130. <https://doi.org/10.47460/minerva.v1iSpecial.87>
- Avilés, C. F. A., Acosta, C. B. C., de los Santos Villalobos, S., Santoyo, G., & Cota, F. I. P. (2022). Caracterización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) nativas y su efecto en el desarrollo del maíz (*Zea mays* L.). *Biotecnia, 24*(1), 15-22. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1353>
- Aranda Azaharez, R., Pérez Díaz, A., Bustamante González, C., & Rivera Espinosa, R. (2023). Benefits of local sources of nutrients and mycorrhizal inoculants in micrografts of *Theobroma cacao* L. *Cultivos Tropicales, 44*(4), <https://cu-id.com/2050/v44n4e03>.
- Dos Santos, Z. C., Gross, E., de Souza Júnior, J. O., Martins, M. J., Mendes, D. S., Figueiredo, J. C., ... & Ramos, A. (2024). Use of biofertilizers in cocoa (*Theobroma cacao*): a review. *Contribuciones a las ciencias sociales, 17*(2), e5171-e5171. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-132>
- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in agronomy, 162*, 31-87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Nurmayulis, N., Sodik, A. H., Eris, F. R., Hastuti, D., Denny, Y. R., & Susilowati, D. N.

- (2023). Molecular Identification of Microbes from the Soil Rhizosphere of Cocoa as A Potential Biofertilizer. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 45(1), 124-130. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v45i1.3840>
- N'zi, J. C., Koné, I., M'bo, K. A. A., Koné, S., & Kouamé, C. (2023). Successful grafting elite cocoa clones (*Theobroma cacao* L.) as a function of the age of rootstock. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18732>
- Roy, A. (2021). Biofertilizers for agricultural sustainability: current status and future challenges. *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*, 525-553. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6949-4_21
- Situmorang, N. O., Rai, I. N., & Wiraatmaja, I. W. (2023). Growth and yield responses of cocoa (*Theobroma cacao* L.) to fungi arbuscular mycorrhizal biofertilizer prototypes with Different Spore Carrier Media and pruning. *Magna Scientia Advanced Biology and Pharmacy*, 8(2), 042-048. <https://doi.org/10.30574/msabp.2023.8.2.0029>
- Teye, E., Anyidoho, E., Agbemafle, R., Sam-Amoah, L. K., & Elliott, C. (2020). Cocoa bean and cocoa bean products quality evaluation by NIR spectroscopy and chemometrics: A review. *Infrared Physics & Technology*, 104, 103127. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.103127>
- Tovar, M. D. L., Guzman, J. A., Ramirez, L. E., & Garcia, J. (2022). Architecture of cocoa genotypes in Colombia as affected by bud type, grafting technique, and pruning. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 38(1), 29-42. DOI: 10.22302/iccricri.jur.pelitaperkebunan.v38i1.491
- Unda, S. B., & Morales, P. S. (2021). Efectos de biochar en el desarrollo vegetativo de *Theobroma cacao* L. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 86-91. <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/473>
- Vera Chang, J., Moreno Cano, C. J., & Salazar Pacheco, M. B. (2021). Effect of pruning intensities on national and trinity cocoa established with three propagative methods. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.23850/24220582.363>
- Wigunanda, I. W. S. A., Rai, I. N., & Wiraatmaja, I. W. (2023). Growth and yield response of organic cocoa (*Theobroma cacao* L.) to mycorrhizal biofertilizer prototype and pruning. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(2), 158-165. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0048>
- Zavala-Solorzano, J. W., Repoma-Rodriguez, D. N., Lao-Olivares, C. P., & Aguilar-Guizado, J. K. (2022). Enmiendas líquidas orgánicas en la reducción de cadmio en suelo, hojas y almendras de cacao. *Agroindustrial Science*, 12(2), 199-205. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.02.10>