



# EFICIENCIA DE UN BIOL ELABORADO A PARTIR DE RESIDUOS DE COSECHA EN LA PRODUCCIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), CLON TSH 565 EN UNA PLANTACIÓN ORGÁNICA AGROFORESTAL

Diana LUCANO-LOPEZ<sup>1\*</sup>, Julio ALEGRE-ORIHUELA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Escuela profesional de Ingeniería Agroforestal. Panamericana Sur Km. 19, Villa, Lima, Perú

<sup>2</sup> Universidad Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Departamento de suelos. Av. La Molina S/N, La Molina, Lima, Perú.

\* Correo electrónico: 180000095@cientifica.edu.pe

## RESUMEN

Se evaluó la calidad y eficiencia de un biol elaborado a partir de residuos de cosecha de cacao sobre un clon de cacao fino de aroma (TSH-565) en una parcela con arreglo agroforestal, ubicada en el distrito de Campo Verde, región Ucayali. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos aplicados a nivel de copa de árbol. El tratamiento control consistió en una única aplicación de la fertilización que realiza el productor de 1 kg de gallinaza, 250 g roca fosfórica y 250 g de dolomita, el T1 en la aplicación de biol diluido en agua a una concentración de 10%, T2 al 15%, T3 al 20% y para el T4 se combinó biol al 15% adicionando la fertilización del productor. El biol elaborado posee un alto contenido nutricional de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), salinidad y huminas. El contenido de N y K en el suelo no evidenció una variación considerable entre tratamientos, a excepción del P donde si se observó incrementos. En temporada de sequía solo variables de peso, diámetro (T1 y T2) y cantidad de mazorcas (T4 y T2) fueron significativamente superiores ( $P < 0,05$ ). Con el inicio de lluvias no se evidenció efectos residuales significativos. Los rendimientos más altos para grano seco fueron obtenidos en T1 ( $366 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y T2 ( $380 \text{ kg ha}^{-1}$ ), siendo el más bajo el control con  $185 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente.

PALABRAS CLAVE: agroforestería, fertilización orgánica, residuos de cacao, rendimiento, sequía

## EFFICIENCY OF A BIOL MADE FROM HARVEST RESIDUES IN THE PRODUCTION OF COCOA (*Theobroma cacao* L.), CLONE TSH 565 IN AN ORGANIC AGROFORESTRY PLANTATION

### ABSTRACT

The quality and efficiency of a biol made from cocoa harvest residues on a fine aroma cocoa clone (TSH-565) was evaluated in an agroforestry plot located in the district of Campo Verde, Ucayali region. A randomized complete block design was used with three replications and five treatments applied at the canopy level. The control treatment consisted of a unique application of the fertilization made by the producer of 1 kg of poultry manure, 250 g of phosphate rock and 250 g of dolomite, T1 in the application of biol diluted in water at a concentration of 10%, T2 at 15%, T3 at 20% and for T4, biol at 15% was combined with the addition of the fertilization made by the producer. The biol prepared has a high nutritional content of macro and micronutrients (N, P, K, Ca, Mg), salinity and humins. The N and K content in the soil did not evidence considerable variation between treatments, except for P, where increases were observed. During the dry season, only weight, diameter (T1 and T2) and number of cocoa pods (T4 and T2) were significantly higher ( $P < 0.05$ ). With the onset of rains, no significant residual effects were observed. The highest yields for dry grain were obtained in T1 ( $366 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and T2 ( $380 \text{ kg ha}^{-1}$ ), the lowest being the control with  $185 \text{ kg ha}^{-1}$  respectively.

KEY WORDS: agroforestry, organic fertilization, cocoa waste, yield, drought

## INTRODUCCIÓN

El grano de cacao es un importante producto agrícola para varios países de América del Sur, especialmente para el Perú debido a que su cultivo es estratégico en la erradicación de la coca en la Amazonia peruana (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020). El cacao se produce generalmente en fincas familiares, mediante el sistema de agricultura convencional u orgánico, también como sistema agroforestal (Niether *et al.*, 2019); con un rendimiento promedio nacional y regional para el año 2022 de 980 kg ha<sup>-1</sup> y 860 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023).

En el ámbito mundial, el Perú ocupa el segundo lugar en la producción de cacao orgánico, sin embargo, a pesar del incremento de la demanda sostenida de cacao, la producción no crece de la misma manera, principalmente debido al bajo rendimiento (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023).

Una de las principales limitaciones en la producción orgánica de cacao es la fertilización, especialmente por su eficacia, es por ello que surge la necesidad de fertilizantes de bajo costo, de fácil preparación, y que permita la reutilización de los residuos de la cosecha (Vásquez *et al.*, 2019).

En la producción de cacao se generan diversos residuos derivados de la mazorca; cáscara, pulpa y cubierta de la semilla (Djali *et al.*, 2018); siendo la "cáscara" el principal residuo generado representando en promedio entre el 67 y 76 % del fruto (Campos-Vega *et al.*, 2018).

Estos residuos orgánicos contienen nutrientes y compuestos bioactivos en cantidades importantes; la cáscara de cacao, por ejemplo, contiene altos niveles de potasio (Djali *et al.*, 2018; Picchioni *et al.*, 2020). El tratamiento de estos residuos mediante digestión anaeróbica constituye un método eficaz para la elaboración

de abonos orgánicos debido a que el mucílago de cacao es bueno para el desarrollo microbiano, contiene una rica composición de azúcares y minerales. (Vásquez *et al.*, 2019; Acosta *et al.*, 2021).

El biol es un líquido obtenido mediante la fermentación anaeróbica de estiércol de animales y residuos vegetales en biodigestores, su elaboración es artesanal y su composición nutricional varía en función de los insumos utilizados; contribuye a optimizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, debido a que es una fuente de fitohormonas que en dosis pequeñas pueden estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas a nivel radicular y foliar, mejorando así la floración y el vigor; aumentando significativamente las cosechas (Bacca *et al.*, 2020; Urra *et al.*, 2020; Gil *et al.*, 2022). Puede ser una práctica muy viable para los productores y una de las alternativas para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, optimizando las variables edáficas y la absorción de nutrientes (Scheid *et al.*, 2020; Ren *et al.*, 2020; Gil *et al.*, 2022).

Como el estudio de bioles y su aplicación en los trópicos es escaso, el objeto de la investigación es evaluar la calidad en sus características fisicoquímicas y el efecto sobre el rendimiento de un biol elaborado a partir de residuos de cosecha de cacao sobre un clon de cacao fino de aroma (TSH-565) en una parcela con arreglo agroforestal en Campo Verde, Ucayali.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una parcela orgánica agroforestal con cacao que pertenece al fundo privado Lufe I (8° 25' 52,00" S y 74° 41' 33,00" O) a 159 m. s. n. m., de siete años de instalación, establecido en el Caserío la Victoria, distrito de Campo Verde en Ucayali. La precipitación y temperatura promedio anual en la re-

gión es de 2000 mm y 25,7 °C.

El área experimental tenía 1,2 ha, de relieve moderadamente ondulado, y de caracterización de suelo a una profundidad de 0-20 cm de textura franco con buen drenaje, pH (4) altamente ácido, bajo contenido de materia orgánica (1,30%), nitrógeno (0,07%), fósforo (3,5 ppm) y potasio (22 ppm), así como una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC: 5,44 cmol kg<sup>-1</sup>).

La producción promedio histórica en los últimos tres años ha oscilado entre 150-200 kg ha<sup>-1</sup> de grano seco con escasa labor cultural y fertilización del productor.

#### ELABORACIÓN DEL BIOL

Se utilizaron materiales e insumos propios de la finca, provenientes de los residuos de la cosecha del cacao y estiércol de animales (Tabla 1). En un tanque hermético de plástico con capacidad de 200 litros se incorporaron los insumos hasta obtener una mezcla homogénea, se cerró herméticamente por 60 días a temperatura ambiente. El biol obtenido se dosificó y se aplicó a 1 litro (l) por planta cada 15 días al suelo; y a nivel de copa de árbol solo durante tres meses consecutivos en la temporada de sequía (Figura 1).

**Tabla 1.** Componentes usados para la elaboración del biol.

Insumos	Cantidad
Estiércol vacuno	30 kg
Agua	100 l
Levadura	250 g
Azúcar rubia	4 kg
Residuos de cosecha de cacao (60% mazorcas y 40% mucílago)	32 kg
Gallinaza	5 kg
Roca fosfórica	5 kg
Dolomita	5 kg

#### VARIABLES EVALUADAS PARA RENDIMIENTO DE CACAO

El rendimiento se calculó mediante el peso de mazorca, peso de semillas por mazorca, diámetro y longitud de mazorcas, número de granos por mazorca y número de mazorcas cosechadas. Estos valores fueron obtenidos en cada cosecha durante la temporada de sequía y al inicio de la temporada de lluvias.

En grano seco se calculó el índice de grano (IG), índice de mazorca (IM) y rendimiento de cacao, según la metodología usada por Puentes-Paramo *et al.*, (2014) y Estivarez & Maldonado (2019).

#### TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Las evaluaciones se realizaron durante un periodo de cinco meses en el año 2020 en un total de 120 plantas de cacao del clon TSH 565.

Durante la temporada de sequía, se aplicaron los tratamientos de biol quincenalmente durante tres meses, además de un tratamiento de control que consistió en una sola aplicación de la fertilización habitual del productor.

Al inicio de la temporada de lluvias, se suspendió la aplicación de biol y se evaluaron exclusivamente los efectos residuales de todos los tratamientos.

El tratamiento control consistió en una única aplicación de la fertilización del productor de 1 kg de gallinaza, 250 g roca fosfórica y 250 g de dolomita, el T1 en la dilución de 2 litros (l) de biol con 20 l de agua, para el T2 3 l de biol con 20 l de agua, T3 con 4 l de biol con 20 l de agua y para el T4 se combinó la aplicación de 3 l de biol con 20 l de agua y la fertilización del productor.

Se empleó un diseño de bloques completos al azar bajo un criterio observado en el campo de tres niveles de pendiente 6%, 8% y 10% en la distribución de plantas del clon TSH 565 en el

área experimental. Se realizaron tres repeticiones y cinco tratamientos, haciendo un total de 15 unidades experimentales y cada uno constituido por ocho árboles de cacao. Los datos obtenidos se sometieron a prueba de normalidad de Lilliefors y de homogeneidad de varianza de Cochran (en número de mazorcas cosechadas

en inicio de lluvias se realizó una transformación de datos aplicando raíz cuadrada). Posteriormente los datos se analizaron en el programa SISVAR versión 5.8 mediante un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey.



**Figura 1.** Proceso de elaboración, cosecha y aplicación de biol en el caserío la Victoria en Campo Verde, Ucayali. A. Incorporación de residuos de la cosecha del cacao y otros insumos (mazorcas, jugos de cacao y estiércol vacuno, etc.). B. Mezcla de insumos y estrujado de las mazorcas hasta trozos más pequeños. C. Cosecha de biol luego de 60 días en condiciones anaeróbicas. D. Aplicación de biol dosificado al cacao a nivel de copa de árbol.

## RESULTADOS

### SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Al final del experimento el análisis de macronutrientes en el suelo tras el abonamiento con bioles, combinado (T4) y fertilización del productor realizado a una profundidad de 0- 20 cm indica valores muy bajos de K con contenidos que fluctuaron de 15 (T2, T4) a 17 ppm (T1, T3, Control). El P en los tratamientos con solo bioles fueron bajos T1 (7,5 ppm), T2 (7,0 ppm), T3 (6,3 ppm) pero el combinado (T4) (15,6 ppm) y Control (15,3 ppm) presentaron un gran incremento con respecto a los tratamientos con biol debido a la aplicación de fuentes fosforadas de baja solubilidad como la roca y dolomita.

En %N total todos los tratamientos presentaron igual contenido (0,10 ppm), siendo un valor inestable ya que puede tener diferentes composiciones de fuentes solubles disponibles como nitratos o amonio, con diferentes tasas de mineralización que no se determinaron en este estudio, además, de la influencia de factores ambientales.

### SOBRE LA CALIDAD DEL BIOL

Del preparado de 200 L se obtuvo 60 kg de residuo sólido y un extracto líquido de 120 l altamente ácido (pH = 4,4) y salinidad elevada, un alto contenido nutricional de macro y micronutrientes como materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Na, huminas y bajo contenido de Cd (Tabla 2).

### SOBRE EL RENDIMIENTO

Después de la aplicación de la única fertilización del productor (Control), combinado (T4) y aplicaciones continuas de biol durante tres meses en la temporada de sequía se evidencia dife-

rencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,05$ ) pero no se evidenció el efecto de bloques, la pendiente resulto no tener influencia que haya generado variabilidad sobre las variables de rendimiento.

**Tabla 2.** Parámetros fisicoquímicos del biol producido.

Indicadores	Valor
pH	4,40
C.E (dS/m)	11,80
Sólidos totales (g/l)	20,45
M.O (%)	1,082
N (%)	0,2184
P (ppm)	249,61
K (ppm)	1578,00
Ca (ppm)	592,00
Mg (ppm)	338,00
Na (ppm)	300,00
Ácido húmico (%/v)	0,04
Ácido fúlvico (%/v)	0,29
Huminas (%/v)	0,53
Cd (ppm)	0,03

Se obtuvo una mejor respuesta para peso y diámetro de mazorca en el tratamiento T2 seguido por los tratamientos T1, control y T3, obteniendo con el tratamiento combinado (T4) los valores más bajos. En el acumulado de mazorcas cosechadas se muestra una notable diferencia ( $P < 0,05$ ), siendo el combinado (T4) el de mejor respuesta seguido por T2, T3, T1 y el tratamiento control. Otras variables evaluadas no presentaron diferencias (Tabla 3).

Después de la finalización de las aplicaciones con biol y con el inicio de la temporada de lluvias, no se evidenció efectos residuales significativos entre tratamientos, ni la influencia de bloques, no obstante, la prueba de comparación

de medias de Tukey muestra que los tratamientos T2 y combinado (T4) presentaron una ligera mejora en todas las variables estudiadas, seguidos por los tratamientos T1, T3 y control (Tabla 4).

Con relación al rendimiento de grano seco, este fue mayor en el tratamiento T2 con 380 kg ha<sup>-1</sup> seguido por el tratamiento T1 (366 kg ha<sup>-1</sup>) y combinado (T4) (271 kg ha<sup>-1</sup>) los menores rendimientos se obtuvieron con los tratamien-

tos control y T3 con 185 kg ha<sup>-1</sup> y 249 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Asimismo, en las características físicas del grano seco, el mayor índice de grano (IG) lo obtuvo el tratamiento T2 (1,20) seguido por el tratamiento T1 (1,06), T3 (1,07), T4 (1,03) y Control (1,02). Con respecto al índice de mazorca (IM), T2 presentó un valor de 21, seguido de T1, T3 y control (24), el mayor valor se presentó en T4 (26) para producir 1 kg de grano seco.

**Tabla 3.** Variables asociadas al rendimiento después de la aplicación de la fertilización del productor, combinado (T4) y aplicaciones continuas de biol durante la temporada de sequía. Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

Tratamientos	Peso mazorca (g)	Peso semillas (g)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Nº semillas	Nº mazorcas cosechadas
Control	447.82 <sup>ab</sup>	103.66 <sup>a</sup>	7.84 <sup>b</sup>	17.82 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>
T1	492.49 <sup>a</sup>	108.65 <sup>a</sup>	7.94 <sup>ab</sup>	18.06 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	9 <sup>ab</sup>
T2	535.98 <sup>a</sup>	120.31 <sup>a</sup>	8.23 <sup>a</sup>	18.57 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>
T3	453.71 <sup>ab</sup>	105.28 <sup>a</sup>	7.72 <sup>bc</sup>	17.53 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	9 <sup>ab</sup>
T4	397.21 <sup>b</sup>	88.35 <sup>a</sup>	7.45 <sup>c</sup>	16.77 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>
C.V. (%)	7.06	11.32	1.67	5.78	10.31	15.56

**Tabla 4.** Variables asociadas al rendimiento tras el cese de las aplicaciones con biol y con el inicio de la temporada de lluvias. Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

Tratamientos	Peso mazorca (g)	Peso semillas (g)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Nº semillas	Raíz cuadrada del Nº mazorcas cosechadas
Control	436.84 <sup>a</sup>	100.29 <sup>a</sup>	7.50 <sup>a</sup>	16.86 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	2.52 <sup>a</sup>
T1	427.93 <sup>a</sup>	104.44 <sup>a</sup>	7.49 <sup>a</sup>	17.46 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	3.27 <sup>a</sup>
T2	473.92 <sup>a</sup>	110.34 <sup>a</sup>	7.57 <sup>a</sup>	18.15 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	3.54 <sup>a</sup>
T3	417.04 <sup>a</sup>	106.08 <sup>a</sup>	7.36 <sup>a</sup>	17.56 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>
T4	469.40 <sup>a</sup>	113.26 <sup>a</sup>	7.63 <sup>a</sup>	17.62 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	2.85 <sup>a</sup>
C.V. (%)	13.67	14.76	3.47	5.53	8.01	42.43

## DISCUSIÓN

Los niveles de K y N del suelo fueron constantes, sin embargo, los niveles de P si variaron, siendo mayores en el Control y tratamiento combinado (T4) y esto se puede deber a factores climáticos que influyen la disminución en la tasa mineralización de N y P, causando inmovilización y pérdidas por volatilización (Hunter *et al.*, 2021). Asimismo, estos suelos ácidos tropicales tienen alto porcentaje de saturación de aluminio que también limita la absorción del P contenido en la enmienda de roca a pesar de su incremento en el suelo ya que se mueve por difusión (Rafael *et al.*, 2018).

Los cambios de humedad del suelo causan también pérdidas del nitrógeno por procesos de lixiviación y presentan variaciones en el nitrógeno asimilable en forma de nitratos o amonio, causando que la planta no tenga las mismas reservas entre los tratamientos y genere respuestas no claras.

Esta respuesta a la fertilización en la sequía se relaciona con variables de rendimiento para el tratamiento control que presentó los valores más bajos; condicionado a la disponibilidad de agua en el suelo para una mejor solubilidad de los nutrientes y absorción para la planta (Hunter *et al.*, 2021).

Además, se sabe que en condiciones de baja humedad las poblaciones microbianas del suelo relacionados a la mineralización de N y P disminuyen. En ese sentido Ren *et al.*, (2020) reportan una mayor abundancia de un gran número de genes microbiales funcionales claves que están implicados en los ciclos de C, N y P. Esta amplia diversidad de comunidades microbianas del suelo está asociadas a la aplicación de abonos líquidos producto de la digestión anaeróbica que genera una relación directa con la dosis óptima de aplicación (Urrea *et al.*, 2020).

Esto se relaciona con la cantidad de mazor-

cas cosechadas en los tratamientos Combinado (T4) y T2, siendo estos los más significativos. El biol combinado con la enmienda sólida muestra ser más eficaz en solubilizar la roca fosfórica para liberar P disponible, presumiblemente al contenido de ácidos orgánicos en el biol y a un mejoramiento en las condiciones del pH del suelo. Sobre esta respuesta Mwangi *et al.*, (2020) explicaron que el 44 % de la solubilización de rocas fue causado por el pH y presencia de ácidos orgánicos, además el biol contiene un 50% de N en formas amoniacales y un 60% de P en forma inorgánica que después de su aplicación al suelo es rápidamente asimilado por la planta. Esta mayor transferencia de macro y micronutrientes por el biol en comparación con abonos a base de rocas fue explicada por Lourenzi *et al.*, (2021), además de su contribución a mejorar las cosechas (Bacca *et al.*, 2020).

Otro beneficio del biol es generar una mayor resistencia y eficiencia de las plantas de cacao al déficit hídrico durante la sequía. Esto se refuerza con las diferencias significativas de los tratamientos con solo biol sobre algunas características del fruto de cacao como peso de la mazorca y diámetro que están influenciados ambientalmente y esto ocurre, por el predominio genético propio del Clon TSH 565 (Kunikullaya *et al.*, 2018).

Con el inicio de la temporada de lluvias no se reporta algún efecto residual significativo sobre ninguna variable de rendimiento, posiblemente porque el biol solo se aplicó solo durante tres meses consecutivos durante la estación seca, esto sugiere que la eficiencia del biol está condicionado a su aplicación continua y prolongada. En otros estudios han reportado incrementos importantes sobre el rendimiento y el suelo tras la aplicación de abonos líquidos solo durante largos periodos de tiempo (Antoneli *et al.*, 2019). Además, es posible que el abonamiento a base de rocas no sea eficiente en condiciones de



bajas precipitaciones o de poca intensidad.

Por otra parte, los rendimientos en grano seco fueron superiores en tratamientos con solo bioles, concentraciones de 10% y 15% tuvieron una mayor respuesta y efecto. Esto concuerda con lo reportado por Cotrina *et al.*, (2020) en donde se señala un efecto positivo de biol a dosis del 10%.

Los rendimientos obtenidos en esta investigación están muy bajos comparado con otros estudios sobre fertilización del clon TSH 565 en la que se reportan rendimientos entre 900 a 2000 kg/ha (Rosas-Patiño *et al.*, 2019).

El suelo utilizado en este experimento era fuertemente ácido. Esta condición, junto con la baja concentración de nutrientes, CIC y la producción promedio histórica de los últimos tres años, respalda un rendimiento del cultivo muy bajo. El rendimiento final de la cosecha probablemente dependa de un amplio rango de factores específicos del sitio (manejo, clima, etc.) y autoincompatibilidad del clon TSH 565 (Rosas-Patiño *et al.*, 2019; Lopez *et al.*, 2021).

Los índices evaluados mostraron diferentes respuestas, el mayor índice de grano (IG) lo obtuvo el tratamiento T2 con 1,20 con un mejor indicador de calidad física del grano, ya que 1 g es el mínimo valor para la industria del chocolate (Ruales *et al.*, 2011), sin embargo, García-Jerez *et al.*, (2022) y Osorio *et al.*, (2023) reportan índices superiores a los valores reportados en este estudio. Con respecto al IM todos los tratamientos a excepción del T2 presentaron valores por encima de lo reportado por Ruales *et al.*, (2011) y Puentes-Paramo *et al.*, (2014) lo que significa un mayor número de mazorcas para producir 1 kg de grano seco.

#### CALIDAD DEL BIOL

El biol elaborado a partir de residuos de cosecha de cacao es de mayor contenido de macro

y micronutrientes y bajo contenido de Cd comparado con otros abonos orgánicos líquidos comerciales y artesanales desarrollados (Stürmer *et al.*, 2020). Esto se relaciona con los valores de macro y micronutrientes reportados por Coaguila *et al.*, (2019) de un biol elaborado en un biodigestor de geomembrana. En otros reportes Garavito & Gomero (2020) encontraron menores niveles a los de esta investigación en el contenido de huminas y K que fue preparado en un biol a base de residuos de trucha. También se presentó una buena solubilidad del P en el contenido del biol con altos contenidos de P, CE, Ca, Mg ya que se originan de fuentes fosfatadas como la roca fosfórica, dolomita y la dieta de sales del ganado vacuno (Kongor *et al.*, 2019). En este sentido Dionisi *et al.*, (2020) reportó valores similares de CE a los de este estudio de un biol elaborado con residuos porcinos que estuvieron en función de la dieta alimenticia.

#### AGRADECIMIENTOS

Al programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) que apoya el talento de miles de jóvenes del país en situación de pobreza y a la Universidad Científica del Sur por el financiamiento de esta investigación a través del Concurso de Fondos de Tesis 2019.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, N.; Duh Kang, I.; Rabaey, K.; De Vrieze, J. 2021. Cow manure stabilizes anaerobic digestion of cocoa waste. *Waste Management*, 126: 508–516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.010>
- Antoneli, V.; Mosele, A. C.; Bednarz, J.A.; Pulido-Fernández, M.; Lozano-Parra, J.; Keesstra, S.D.; Rodrigo-Comino, J. 2019. Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean

- crops (Paraná, Brazil). *Sustainability*, 11(14): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143898>
- Bacca, A.; Ceretta, C. A.; Kulmann, M.S.S.; Souza, R.O.S.; Ferreira, P.A.A.; Rodrigues, L.A.T.; Marchezan, C.; Garlet, L.P.; Brunetto, G. 2020. Residual and immediate effect after 16 applications of organic sources on yield and nitrogen use efficiency in black oat and corn. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 44: 1-15. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20190013>
- Campos-Vega, R.; Nieto-Figueroa, K.H.; Oomah, B.D. 2018. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science and Technology*, 81:172-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>
- Coaguila, P.; Bardales, R.; Zeballos, O. 2019. Digestatos procedentes de la obtención de biogás a partir de purines vacunos en la producción de cebolla en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*, 10: 119-124. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.13>
- Cotrina, G.G.; Masgo, L.N.; Tumbay, Y.Y.; Alejos, I.W.; Córdova, P.; Patiño, A.R.; 2020. Efectos del biol y súper biol en la producción agroecológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) variedad seda en el centro poblado de Chinchopampa -Chaglla - Pachitea - Huánuco. *Journal of the Academy*, 3: 17-31. DOI: <https://doi.org/10.47058/joa3.2>
- Dionisi, C.P.; Mignone, R.A.; Rubenacker, A.I.; Pfaffen, V.; Bachmeier, O.; Campitelli, P.A.; Yudi, L.M.; Juarez, A.V. 2020. Monitoring of physicochemical parameters of soils after applying pig slurry. Analysis of its application in short and long periods in the province of Córdoba, Argentina. *Microchemical Journal*, 159: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105545>
- Djali, M.; Siti, I.; Sumondang, T. 2018. Chemical characteristics, phytochemicals and cacao shell toxicity changes during the processing of cocoa beans. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 6: 103-114.
- Estivarez, M.E.; Maldonado, C. 2019. Criterios de selección para cacao nacional boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6: 29-36.
- Garavito, O.; Gomero, L. 2020. Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno. *South Sustainability*, 1: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.21142/ss-0101-2020-008>
- García-Jerez, A.; Quintana-Fuentes, L.F.; Moreno-Martínez, E. 2022. Determinación del índice de grano y del porcentaje cascarilla de los genotipos de cacao regionales FSV41, FEAR5 y FLE2 y genotipo universal CCN 51. *Ingeniería y competitividad*, 24(2): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11420>
- Gil, L.A.; Leiva, F.A.; Cabos, J.D.; Jara, E.L.; Bardales, C.B.; León, C.A. 2022. Influencia de las concentraciones del “biol” en el crecimiento y desarrollo de *Medicago sativa* (Fabaceae) “alfalfa”. *Arnaldoa*, 29(1): 149-162. DOI: <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29109>
- Hunter, M.C.; Kemanian, A.R.; Mortensen, D.A. 2021. Cover crop effects on maize drought stress and yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 311: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107294>
- Kongor, J. E.; Boeckx, P.; Vermeir, P.; Van de Walle, D.; Baert, G.; Afoakwa, E.O.; Dewettinck, K. 2019. Assessment of soil fertility and quality for improved cocoa production in six cocoa growing regions in Ghana. *Agroforestry Systems*, 93:1455-1467. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-018->

0253-3

- Kunikullaya, G.A.; Suresh, J.; Balakrishnan, S.; Kumar, M.; Jeyakumar, P.; Kumaravadivel, N.; Jegadeeswari, V. 2018. Estimation of variability parameters for certain quantitative traits in cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9:1538–1544. DOI: <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00190.4>
- Lopez, M.E.; Ramírez, O.A.; Dubón, A.; Ribeiro, T.H.C.; Diaz, F.J.; Chalfun-Junior, A. 2021. Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. *Scientia Horticulturae*, 287: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110276>
- Lourenzi, C.R.; Ceretta, C.A.; Ciancio, N.H.R.; Tiecher, T.L.; Da Silva, L.O.S.; De Conti, L.; Giroto, E.; Ferreira, P.A.A.; Vidal, R.F.; Scopel, G.; Marchezan, C.; Lopez, M.E.; Ramírez, O.A.; Dubón, A.; Ribeiro, T.H.C.; Diaz, F.J.; Chalfun-Junior, A. 2021. Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. *Scientia Horticulturae*, 287: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110276>
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2020. *Observatorio de Commodities*. (<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1488602/Commodities%20Cacao%3A%20abr-jun%202020.pdf>). Acceso: 22/09/2023.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Perfil Productivo y Competitivo de los Principales Cultivos del Sector. (<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzEzNTU2MmUtY2EzZC00YjQ2LTg5YzUtYzJjODRhZjg5NGY5IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZi9>). Acceso: 24/09/2023.
- Mwangi, E.; Ngamau, C.; Wesonga, J.; Karanja, E.; Musyoka, M.; Matheri, F.; Fiaboe, K.; Bautze, D.; Adamtey, N. 2020. Managing phosphate rock to improve nutrient uptake, phosphorus use efficiency, and carrot yields. *Journal of Soil and Science and Plant Nutrition*, 20:1350–1365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00217-x>
- Niether, W.; Schneidewind, U.; Fuchs, M.; Schneider, M.; Armengot, L. 2019. Below- and aboveground production in cocoa monocultures and agroforestry systems. *Science of the Total Environment*, 657:558–567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.050>
- Osorio, M.A.; Rodríguez, L.; Sierra, R.; Terán, W.; (2023). Curvas de respuesta fotosintética a la luz: elucidando la capacidad fotosintética de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) aclimatadas a luz solar plena en Cundinamarca, Colombia. *Botanical Sciences*, 101(2): 435-448. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.3118>
- Picchioni, F.; Warren, G.P.; Lambert, S.; Balcombe, K.; Robinson, J.S.; Srinivasan, C.; Gomez, L.D.; Faas, L.; Westwood, N.J.; Chatzifragkou, A.; Charalampopoulos, D.; Shaw, L.J. 2020. Valorisation of natural resources and the need for economic and sustainability assessment: The case of cocoa pod husk in Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 12:1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12218962>
- Puentes-Páramo, Y.J.; Menjivar-Flores, J.C.; Gómez-Carabali, A.; Aranzazu-Hernández, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2):145–152. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041>
- Rafael, R.B.A.; Fernández-Marcos, M.L.; Cocco, S.; Ruello, M.L.; Weindorf, D.C.; Cardelli, V.; Corti, G. 2018. Assessment of Potential Nutrient Release from Phosphate Rock and Dolostone for Application in Acid Soils. *Pedosphere*,

- 28(1): 44–58. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60437-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60437-5)
- Ren, T.; Yu, X.; Liao, J.; Du, Y.; Zhu, Y.; Jin, L.; Wang, B.; Xu, H.; Xiao, W.; Chen, H.Y.H.; Jin, F.; Ruan, H. 2020. Application of biogas slurry rather than biochar increases soil microbial functional gene signal intensity and diversity in a poplar plantation. *Soil Biology and Biochemistry*, 146: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107825>
- Rosas-Patiño, G.; Puentes-Páramo, Y.J.; Menjivar-Flores, J.C. 2019. Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 20: 5–16. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num1\\_art1247](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art1247)
- Ruales, J.L.; Burbano, H.; Ballesteros, W. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28: 81–94.
- Scheid, D.L.; Da Silva, R.F.; Da Silva, V.R.; Da Ros, C.O.; C.; Pinto, M.A.B.; Gabriel, M.; Cherubin, M.R. 2020. Changes in soil chemical and physical properties in pasture fertilised with liquid swine manure. *Scientia Agricola*, 77(5): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0017>
- Stürmer, B.; Pfundtner, E.; Kirchmeyr, F.; Uschnig, S. 2020. Legal requirements for digestate as fertilizer in Austria and the European Union compared to actual technical parameters. *Journal of Environmental Management*, 253: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109756>
- Urra, J.; Mijangos, I.; Epelde, L.; Alkorta, I.; Garbisu, C. 2020. Impact of the application of commercial and farm-made fermented liquid organic amendments on corn yield and soil quality. *Applied Soil Ecology*, 153: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103643>
- Vásquez, Z.S.; De Carvalho Neto, D.P.; Pereira, G.V.M.; Vandenberg, L.P.S.; De Oliveira, P.Z.; Tiburcio, P.B.; Rogez, H.L.G.; Goetz Neto, A.; Soccol, C.R. 2019. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90: 72–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>

**Recibido:** 20 de mayo de 2023 **Aceptado para publicación:** 20 de junio de 2023