

## CAMBIOS EN INDICADORES DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CON APLICACIÓN DE GUANO DE ISLA EN EL CENTRO POBLADO DE CASHAPAMPA, DISTRITO DE MONZÓN, REGIÓN HUÁNUCO, PERÚ

### Changes in soil indicators and cocoa (*Theobroma cacao* L.) yield with application of island guano in the Cashapampa town center, Monzón district, Huánuco region, Peru

Evelyn Gabriela Prado Cuenca<sup>1</sup>, Nelino Florida Rofner<sup>2</sup>, Alex Rengifo Rojas<sup>3</sup>

#### RESUMEN

Los suelos agrícolas de cacao con baja fertilidad son comúnmente enmendados con compost, cuya efectividad para promover el desarrollo vegetal y conservar el agroecosistema suele ser limitada. Como alternativa, se propone el uso de guano de islas, un fertilizante de alto valor nutritivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del guano de islas sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de *T. cacao* clon CCN-51. Se establecieron 16 unidades experimentales para el análisis fisicoquímico del suelo y se evaluaron 32 plantas para medir la producción. Se realizaron dos evaluaciones: La primera a los 60 días de la primera aplicación y la segunda a los 60 días de la tercera aplicación. Los tratamientos consistieron en dosis de 0.0 (T1 testigo), 0.45 (T2), 0.90 (T3) y 1.80 (T4) kg de guano planta<sup>-1</sup>. Los datos se analizaron mediante un ANOVA de un factor bajo un diseño de bloques completamente al azar. Los resultados demostraron que el tratamiento T4 (1.80 kg planta<sup>-1</sup>) produjo los mejores resultados. En la segunda evaluación, T4 incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la MO (3.90%  $\pm$  0.09%), el N (0.19%  $\pm$  0.01%) y el K (136.85  $\pm$  11.77 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>), así como ( $p < 0.01$ ) el P (7.55  $\pm$  0.74 ppm), Ca (5.19  $\pm$  0.72 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>), Mg (0.74  $\pm$  0.09 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>) y la CIC (6.54  $\pm$  0.68 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>). Simultáneamente, se registró un menor contenido de Arena (30.50%  $\pm$  3.79%,  $p < 0.05$ ) y un mayor rendimiento (720.78  $\pm$  146.10 kg ha<sup>-1</sup>,  $p < 0.01$ ), evidenciando la eficacia del guano de islas para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad del cacao.

**Palabras clave:** acidez cambiante, abono orgánico, enmiendas del suelo, fertilidad del suelo, *T. Cacao*

#### ABSTRACT

Agricultural cocoa soils with low fertility are commonly amended with compost, which is often of limited effectiveness in promoting plant development and conserving the agroecosystem. As an alternative, the use of island guano, a highly nutritious fertilizer, is proposed. The objective of this study was to evaluate the effect of island guano on soil properties and yield of *T. cacao* clone CCN-51. Sixteen experimental units were established for soil physicochemical analysis, and 32 plants were evaluated to measure production. Two evaluations were conducted: the first 60 days after the first application and the second 60 days after the third application. Treatments consisted of doses of 0.0 (T1 control), 0.45 (T2), 0.90 (T3), and 1.80 (T4) kg of guano plant<sup>-1</sup>. Data was analyzed using a one-way ANOVA under a completely randomized block design. The results showed that treatment T4 (1.80 kg plant<sup>-1</sup>) produced the best results. In the second evaluation, T4 significantly increased ( $p < 0.05$ ) OM (3.90%  $\pm$  0.09%), N (0.19%  $\pm$  0.01%) and K (136.85  $\pm$  11.77 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>), as well as ( $p < 0.01$ ) P (7.55  $\pm$  0.74 ppm), Ca (5.19  $\pm$  0.72 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>), Mg (0.74  $\pm$  0.09 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>) and CEC (6.54  $\pm$  0.68 Cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>). At the same time, a lower sand content (30.50%  $\pm$  3.79%,  $p < 0.05$ ) and higher yield (720.78  $\pm$  146.10 kg ha<sup>-1</sup>,  $p < 0.01$ ) were recorded, demonstrating the effectiveness of island guano in improving soil fertility and cacao productivity.

**Keywords:** exchangeable acidity, organic fertilizer, soil amendments, soil fertility, *T. Cacao*.

<sup>1</sup> Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. [evelyn.prado@unas.edu.pe](mailto:evelyn.prado@unas.edu.pe)

<sup>2</sup> Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8751-4367>. [nelinof@hotmail.com](mailto:nelinof@hotmail.com)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. [alex.rengifo@unas.edu.pe](mailto:alex.rengifo@unas.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

En Perú, el Ministerio de la Producción-PRODUCE (2024), reportan que la producción mundial cacao en grano campaña 2023/2024 alcanzó 4 449 mil toneladas, siendo Costa de Marfil el principal productor (40.50 % de la producción global), seguida por Ghana (13.00 %), Ecuador (9.70 %), Camerún (6.70 %), y Perú, con 160 mil toneladas ocupa el octavo lugar entre los países productores de cacao. Además, Señala que es el 6° cultivo más importante en términos de productores y superficie cosechada (5.20 % de la superficie del país), destacando regiones como San Martín (27.40 %), Amazonas (11.40 %), Cusco (10.40 %), Huánuco (10.00 %) y Junín (7.50 %).

El cacao en grano en este país viene incrementándose desde hace diez años y crece a una tasa de 12,6% en promedio anual, que alcanzó al 2020 cifra récord de 151,6 mil toneladas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI, 2021). Perú figura como tercer exportador mundial de cacao orgánico solo detrás de México e Indonesia, y cuarto mayor exportador de la región después de Brasil, Colombia y Ecuador (MIDAGRI, 2023). Sin embargo, existe una problemática asociada a los rendimientos variados alcanzados en cada región del territorio nacional, siendo la media nacional 827 kg/ha (MINAGRI, 2019), este rendimiento es aún deficiente en comparación a los países con mayor rendimiento en el mundo como Guatemala (2.60 t ha<sup>-1</sup>) y Tailandia (3.00 t ha<sup>-1</sup>) (Florida, 2021), atribuidos a diferentes factores, destacando, el manejo aplicado, deficientes planes de fertilización, la variedad cultivada, el financiamiento, etc. (Florida et al., 2022; Ferrer et al., 2023).

A pesar de los bajos rendimientos, es necesario resaltar que el cacao es el cultivo con mayor extensión en el distrito de Monzón, importante productor de la región Huánuco, con una diversidad aun no descrita de formas de manejo del cultivo, que terminan afectando los indicadores de producción (Florida et al., 2022). Además, las prácticas agrícolas convencionales que incluyen el monocultivo y uso de agroquímicos degradan el suelo y reducen su potencial productivo (Navarro et al., 2019, Florida & Acuña, 2020). En cambio, el manejo

conservacionista mejora integralmente el suelo y puede lograr rendimientos similares a los convencionales (García et al., 2018; Florida et al., 2020), promoviendo la sostenibilidad y contribuyendo a la prevención de erosión, reciclaje de nutrientes, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mantener el equilibrio de los agroecosistemas (Sánchez, 2016; Zavala et al., 2018; van-Vliet et al., 2017).

El suelo depende del manejo aplicado, este, puede alterar negativamente sus propiedades a través de la aplicación de técnicas convencionales. La mayoría de los productores de la zona instalan el cacao en áreas que previamente se instalaron otros cultivos (Florida & Acuña, 2020, Puri et al., 2023) y las condiciones de suelos ácidos y pobres en nutrientes generan bajos rendimientos del cacao (Florida et al., 2022), frente a ello, los abonos orgánicos, usando el poder enzimático de los microorganismos del suelo, se transforma en un producto muy útil para mejorar tanto la calidad del suelo como la producción de los cultivos (Castañeda, 2014), una de las enmiendas es el guano de islas, que se han registrados efectos favorables sobre el rendimiento del cacao (Parco-Quispe et al., 2022) y otros cultivos (Ríos-Campos et al., 2017; Cosme et al., 2020; Vásquez y Jacobo, 2020).

En este contexto, es necesario conocer los efectos del guano de isla en la calidad del suelo y el rendimiento del cacao fundamenta las condiciones de suelos ácidos y pobres en nutrientes que generan bajos rendimientos del cacao en nuestra región (Florida-Rofner et al. 2020; Florida et al. 2022), y los potenciales aportes de los abonos orgánicos para mejorar tanto la calidad del suelo y la producción de los cultivos (Castañeda, 2014). Además, los resultados de trabajos previos atribuyen al guano de islas efectos favorables sobre el rendimiento del cacao (Parco-Quispe et al. 2022) y otros cultivos (Ríos et al., 2015; Cosme et al., 2020; Vásquez y Jacobo, 2020). Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del guano de isla en las propiedades del suelo y el rendimiento del cacao (clon CCN-51) en el centro poblado de Cashapampa, distrito de Monzón, región Huánuco-Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en la casa hacienda Radium, ubicada en el ámbito del centro poblado Cashapampa, en la que se encuentran las parcelas: cacao de 5 años ubicada en latitud 9°13'27" y longitud 76°19'4", con una extensión de 4 hectáreas bajo monocultivo de cacao. Políticamente el centro poblado pertenece al distrito de Monzón, en la provincia de Huamalés, en la región de Huánuco-Perú.

### Características del área

La estación meteorológica Abelardo Quiñonez, ubicada en Tingo María, registra una temperatura media anual de 24.10 °C y una precipitación media anual de 3 100 mm. Se trata de la estación meteorológica más cercana, de hecho, el clima local presenta temperaturas relativamente más bajas y con mayor precipitación. Según Meza y Díaz (2010), el clima es subtropical muy húmedo, correspondiente a selva alta. Dadas las diferencias altitudinales, se presentan variantes climáticas de acuerdo con las condiciones térmicas, y se observa permanentemente presencia de nubosidad y alta saturación de humedad. La época de lluvias se acentúa entre los meses de diciembre y marzo, lo que permite el desarrollo agrícola. Según Pulgar (2014), el área de estudio se encuentra dentro de la ecorregión de las yungas peruanas, zona con gran biodiversidad para la conservación y poco apropiada para el desarrollo agrícola.

### Diseño de la investigación

Se implementó un diseño experimental puro con ajuste estadístico de bloques completamente al azar (DBCA), que consta de cuatro tratamientos (guano de isla aplicado en dosis de 0.50 t ha<sup>-1</sup>, 1.00 t ha<sup>-1</sup> y 2.00 t ha<sup>-1</sup> y cuatro repeticiones por tratamiento, lo que hace un total de 16 unidades experimentales (9.00 x 6.00 m que incluyen 6 plantas). Para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos, se utilizó el análisis de varianza (ANVA) a un nivel de significancia del 5.00 %, y para las comparaciones múltiples de las muestras,

los datos se sometieron a la prueba de Duncan y Tukey con un nivel de significancia del 5.00 %, con el fin de comparar los tratamientos en estudio con el testigo y determinar cuál es el mejor tratamiento.

### Aplicación de los abonos

El criterio técnico aplicado para el cálculo de la dosificación se basa en dos aspectos: los resultados del análisis de suelos iniciales y la caracterización del guano de islas; y los resultados de investigaciones sobre dosificaciones medias de compost con buen resultado aplicadas en el ámbito local, entre las que se encuentran las de Florida et al. (2022) en el "Fundo Alborada" se obtuvieron resultados excelentes con la aplicación de 1.00 kg de compost por planta. Florida-Rofner et al. (2020) en el "Fundo Cárdenas", en Padre Abad, mostraron un mayor efecto de la aplicación de compost de plumas de 2.00 a 3.00 t ha<sup>-1</sup> en plantaciones de 3.00 x 3.00 m de distanciamiento. Por ello, la dosificación y aplicación del guano de isla se fijó entre 0.50 y 2.00 t ha<sup>-1</sup>, teniendo en cuenta que el guano de isla tiene una concentración nutricional mayor (Tabla 1) que la de los compost de diferentes orígenes.

### Determinación de propiedades fisicoquímicas del suelo

El muestreo de los suelos se realizó en cada unidad experimental siguiendo los lineamientos recomendados por la guía para el muestreo de suelos (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2014). De cada unidad y tratamiento se tomó 6 submuestras para obtener una muestra compuesta que fueron debidamente rotuladas e identificadas para ser enviadas al laboratorio de "Análisis de suelo, agua y ecotoxicología" de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) donde se realizó el proceso de preparación de muestras (secado, triturado, tamizado y rotulado) para su tratamiento y análisis.

Los parámetros analizados incluyen: textura por el método de Hidrómetro de Bouyoucos, el pH medido electrométricamente con una relación de suelo-agua

de 1/2.5; Cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ) se extrajeron con acetato de amonio a pH 7 y se determinó mediante absorción atómica; el  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  se extrajeron con KCl y se determinó por titulación con NaOH 0.05 mol/L; el fósforo (P) disponible se midió con el método modificado de Olsen y se determinó por colorimetría; la Materia orgánica (MO), se determinó mediante el método de Walkley y Black, y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se midió a través de la saturación con acetato de amonio a pH 7. Todos los procedimientos reactivos e instrumentales están descritos en Bazán (2017).

### Determinación de la producción del cacao

Se evaluó el número de mazorcas o vainas y el rendimiento realizando la colecta manual en 2 árboles de cacao por unidad y repetición, teniendo en total 16 unidades experimentales y 32 plantas evaluadas, siguiendo el procedimiento desde la cosecha hasta el peso seco de cada unidad experimental. La colecta se realizó de manera mensual y se proyectó según la densidad del cultivo, se midió en kilogramos por planta para luego ser expresado en kilogramos por hectárea, teniendo 1 111 plantas (plantación de 3.00 x 3.00 m de distanciamiento).

### Análisis estadístico

Las diferencias se determinaron a través del análisis de varianza de un solo factor, siendo, el factor la dosificación de guano (A). Razón por la cual, cada observación  $Y_{ij}$  corresponde a la variable dependiente que representa el comportamiento de los niveles de

nutrientes del suelo y producción del cacao; Por ello, el modelo se encuentra especificado en la ecuación (1):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde:

- $Y_{ij}$  = Observación
- $\mu$  = Media general
- $T_i$  = Efecto del gradiente altitudinal
- $\beta_j$  = Efecto de bloques
- $\epsilon_{ij}$  = Error experimental

**Correlaciones:** Se determinó las correlaciones bivariados mediante la correlación de Pearson (Hernández et al., 2014). La relación que existe entre los indicadores físicos, químicos y producción del cacao entre los diferentes tratamientos evaluados se determinó a través del coeficiente de correlación de Pearson, donde el factor principal es el coeficiente de determinación ( $r^2$ ):

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Indicadores físicos del suelo

El trabajo evaluó la textura del suelo como indicador físico, a través de las diferentes fracciones minerales (arena, arcilla y limo). La Tabla 1, muestra los valores medios según los tratamientos aplicados, así como, la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre las medias.

Los valores medios de las diferentes fracciones evaluadas (Tabla 1) clasifican a los suelos para los diferentes tratamientos como franco arcilloso (FAO, 2009). Además, la fracción arena es la única que muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los

**Tabla 1**

*Comportamiento de las fracciones minerales del suelo*

Indicador	Tratamientos				Estadísticos		
	T1	T2	T3	T4	$\bar{X}$	cv	p-valor
Arena (%)	38.00±2.58b	33.50±1.91ab	33.50±4.43ab	30.50±3.79a	33.88±4.06	11.98	0.05*
Arcilla (%)	33.00±5.03	36.00±1.63	34.50±4.12	35.50±3.42	34.75±3.57	10.27	0.69 ns
Limo (%)	29.00±5.42	30.50±1.91	32.00±2.58	34.00±1.15	31.38±3.44	10.96	0.20 ns
Clase	Fr. Arcilloso	Fr. Arcilloso	Fr. Arcilloso	Fr. Arcilloso	--	--	--

**Nota.** T1 testigo, T2 aplicación de 0,45 kg guano/planta, T3 aplicación de 0,90 kg guano/planta, T4 aplicación de 1,80 kg guano/planta, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, letras diferentes en la misma fila expresan diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ), ± desviación estándar

tratamientos evaluados, este último, puede no ser relevante ya que los suelos con dominio de esta fracción son químicamente inertes que no favorecen a la estructuración, aireación, permeabilidad, y retención hídrica (SAGARPA, 2012). Sin embargo, en condiciones equilibradas como los suelos encontrados en este trabajo (franco arcilloso) son favorables y hacen sostenible el agroecosistema (Lacasta et al. 2006).

La textura del suelo es vital para su conservación (Ferro et al., 2011; García et al., 2012; Camacho-Tamayo et al., 2017), por su influencia en el flujo hídrico, crecimiento de raíces, disposición de partículas, porosidad, compactación y degradación, que pueden regular el crecimiento de los vegetales (Demuner et al. 2013; Navarro et al. 2019). Los suelos francos arcillosos encontrados presentarían buena estructuración, aireación y permeabilidad, y ligera retención hídrica (Camacho-Tamayo et al., 2017; FAO, 2020). Además, los suelos de textura franco favorecen la descomposición microbiana de la MO, e incrementa la biomasa vegetal (Lacasta et al. 2006), en general, la fracción arcilla es muy activa químicamente, retienen iones y moléculas, son ricos en nutrientes, y bien estructurados, por lo que, la textura franca arcillosa encontrada en el área experimental tiene condiciones equilibradas (FAO, 2009; SAGARPA, 2012).

Físicamente el cultivo de cacao se desarrolla bien en suelos con proporciones de limo + arcilla entre 57.00 hasta 64.00 % (Barrezueta, 2019), correspondientes a suelos franco-arenosos hasta arcillosos (MINAGRI, 2011), que confiere al suelo una proporción adecuada de partículas finas capaz de retener suficiente humedad para en desarrollo vegetativo (van-Vliet et al. 2015). Condiciones que se pueden observar en los resultados encontrados.

### Indicadores químicos del suelo Potencial de hidrogeno

La Tabla 2 presenta los valores medios del pH del suelo, la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los

resultados corresponden a dos evaluaciones, una a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y la segunda a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

**Tabla 2.**

*Comportamiento del pH del suelo con aplicación de guano de isla*

Tratamiento	Primera evaluación	Segunda evaluación
	pH1	pH2
T1	5.13 ± 0.25a	5.13 ± 0.10a
T2	5.14 ± 0.22a	5.27 ± 0.29a
T3	5.21 ± 0.21a	5.45 ± 0.21a
T4	5.15 ± 0.22a	5.45 ± 0.10a
$\bar{X}$	5.16 ± 0.21	5.32 ± 0.22
C.V (%)	4.07	4.14
p-valor	0.965 ns	0.095 ns

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo ( $p < 0,05$ ),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos.

Los resultados de pH presentan un coeficiente de variación baja y no se observa significancia estadística ( $p < 0.05$ ), que indica homogeneidad de los datos y similitud de los valores medios entre tratamientos. Además, las medias en la primera evaluación no muestran ninguna tendencia, sin embargo, en la segunda evaluación se evidencia ligero incremento a medida que se incrementa la dosis de guano de islas aplicadas, aunque, estadísticamente no son significativas para este parámetro del suelo.

De acuerdo con Bazán (2017) los valores medios de pH corresponden a suelos ácidos ( $< 5.16$ ) o moderadamente ácido (5.16 a 5.90), estos son niveles frecuentemente encontrados, promedio  $pH < 5.5$  en esta región del país, propios de suelos tropicales (Florida et al., 2023), ácidos con deficiencias  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Bohn et al., 1993), resultados de los más de 3000 mm anuales de precipitación en la zona y las texturas francas encontradas, que generan pérdidas del  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Havlin et al., 1999; Bohn et al. 1993), lo que explica estos niveles de pH en el área experimental.

En la primera evaluación los valores medios del pH presentan coeficiente de variación baja, esto se debe a la dependencia del pH a procesos pedogenéticos e historial de manejo, por ello, no presenta diferencias estadísticas y bajo coeficiente de variación, aspecto evidenciado por Inocencio et al. (2022) y China y Rodríguez (2021). Además, similar comportamiento se encontró en la segunda evaluación, sin embargo, se observa ligera tendencia de incremento a medida que se incrementa la dosis de guano, esto puede explicarse teniendo en cuenta la composición del guano aplicado que en promedio contiene aproximadamente 10.0 % de calcio, 0.80 % de magnesio y 1.00 % a 2.00 % de potasio (AGRO RURAL, 2019).

Por lo que, los resultados del ligero incremento al final del experimento son coherentes con las referencias y a la cantidad aplicada, si bien no subió el nivel de pH, este efecto favorece la disponibilidad de nutrientes como K<sup>+</sup> y Mg<sup>+2</sup> (Rosas-Patiño et al., 2017; Rivera et al., 2018). Sin duda el pH es un parámetro muy determinante, si bien las referencias contemplan rangos relativamente amplios entre 4.5 a 7.5 (Paredes, 2003; MINAGRI, 2011), sin embargo, investigaciones más profundas encontraron rangos óptimos más estrechos, al respecto Francisco-Santiago et al. (2023) encuentran rangos entre pH 6.00 a 7.00 y óptimo de 6.50, también Barrezueta (2019) encontró desarrollo adecuado en rango de 6.00 a 6.50 de pH. Independientemente de la zona donde se desarrollaron los trabajos coinciden en el valor medio óptimo de 6.50 que corresponde a pH ligeramente ácido (Paredes, 2003; MINAGRI, 2011; Barrezueta, 2019; Francisco-Santiago et al., 2023). En este sentido, los resultados (5.13 a 5.45) son ligeramente menor a la media ideal (6.50), pero, están dentro del rango mínimo que es 4.50 a 6.50 de pH, condición apropiada para el cultivo, tomando algunas medidas correctivas.

### Materia orgánica y nitrógeno del suelo

La Tabla 3 presenta los valores medios del contenido de materia orgánica (MO) y nitrógeno (N), la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados

corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

**Tabla 3.**

*Comportamiento de la MO del suelo con aplicación de guano de isla*

Variable MO (%)		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	MO1	MO2
T1	3.36 ± 0.73a	2.86 ± 0.56a
T2	3.29 ± 0.72a	3.52 ± 0.49ab
T3	3.40 ± 0.55a	3.62 ± 0.29ab
T4	3.39 ± 0.37a	3.90 ± 0.09b
$\bar{X}$	3.36 ± 0.55	3.48 ± 0.54
C.V (%)	16.37	15.52
p-valor	0.994 ns	0.02*
Variable N (%)		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	N1	N2
T1	0.17 ± 0.04a	0.14 ± 0.03a
T2	0.17 ± 0.04a	0.18 ± 0.03ab
T3	0.17 ± 0.03a	0.18 ± 0.02ab
T4	0.17 ± 0.02a	0.19 ± 0.01b
$\bar{X}$	0.17 ± 0.03	0.17 ± 0.03
C.V (%)	16.37	15.52
p-valor	0.996 ns	0.029*

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo (p<0,05),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos

Los resultados de MO y N en la primera evaluación presentan un bajo coeficiente de variación y no se observa una significancia estadística (p < 0.05), lo que indica la homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación ambos parámetros presentan diferencias significativas (p < 0.05). Además, las medias de la primera evaluación no muestran ninguna tendencia, pero en la segunda evaluación se evidencia un incremento a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada.

De acuerdo con Bazán (2017), los valores medios de MO y N corresponden a suelos con un contenido

medio de MO (entre el 2.00 y el 4.00 %) y de N (entre el 0.10 y el 0.20 %), niveles que se encuentran frecuentemente en plantaciones adultas de cacao (Arévalo, 2014; Florida et al., 2022) y son propios de suelos tropicales desarrollados en el flanco oriental, entre las regiones de Huánuco, Ucayali, y San Martín. Además, los resultados se encuentran dentro de las concentraciones de MO recomendadas por diferentes investigaciones, como las de Paredes (2003), quien sugiere valores mayores al 3.00 % para una adecuada nutrición del cultivo del cacao; Moreno et al. (2016), quienes señalan que los suelos cacaoteros deben tener valores medios y altos de materia orgánica entre el 2.00 y el 4.00 %; y Francisco-Santiago et al. (2023) quienes sugieren suelos de origen aluvial, profundos y ricos en materia orgánica. Estas sugerencias obedecen a la composición de la MO y a su aporte de macro y micronutrientes, y a otros beneficios para la microflora y la estructura del suelo.

La MO y el N presentaron diferencias significativas en la segunda evaluación y fluctuaron entre 2.86 a 0.14 (T1) y 3.9 a 0.19 (T4), según Bazán (2017), indica que son suelos con un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno. Estos resultados son muy importantes, ya que la MO se considera la base de la fertilidad al influir en los parámetros físicos y químicos, especialmente en la formación de agregados y la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio (Demuner et al., 2013) y, en menor medida, sobre el  $K^+$ , el  $Ca^{2+}$ , el  $Mg^{2+}$  y la CIC. Además, la resistencia mecánica del suelo disminuye con el aumento del contenido de MO, lo que favorece el desarrollo de las raíces (MINAGRI, 2011) y, por tanto, un adecuado desarrollo vegetativo (van Vliet et al., 2015).

Finalmente, los niveles de nitrógeno encontrados son coherentes con la concentración de nitrógeno presente en el guano, que tiene aproximadamente un 12.00 % de nitrógeno (AGRO RURAL, 2009), por lo que se espera un incremento a medida que se aumenta la dosis aplicada. Estas concentraciones

medias encontradas pueden compensar lo señalado por Barrezueta (2019), que la rápida mineralización de los suelos tropicales dificulta la acumulación de ion amonio y nitratos, que son las formas asimilables de nitrógeno (N) en el suelo y fundamentales para la nutrición del cultivo.

**Fosforo del suelo.** La Tabla 4 presenta los valores medios del contenido de fosforo (P), la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

**Tabla 4.**

*Comportamiento del P del suelo con aplicación de guano de isla*

	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	P1(ppm)	P2 (ppm)
T1	5.04 ± 1.08a	5.10 ± 0.80a
T2	5.09 ± 1.30a	6.14 ± 0.80ab
T3	5.18 ± 1.36a	6.92 ± 0.85b
T4	5.12 ± 1.33a	7.55 ± 0.74b
$\bar{X}$	5.11 ± 1.14	6.43 ± 1.18
C.V (%)	22.31	18.35
p-valor	0.99ns	0.005**

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo ( $p < 0.05$ ),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos.

Los resultados de P en la primera evaluación presentan un bajo coeficiente de variación ( $< 25.00$  %) y no se observa una significancia estadística ( $p < 0.05$ ), lo que indica la homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, como en el caso del pH y la MO, en la segunda evaluación se observan diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), con clara tendencia de incremento de los niveles de P a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada.

De acuerdo con Bazán (2017), los valores medios de P corresponden a suelos con un contenido bajo

(< 5.50 ppm) para la primera evaluación y medio (5.50 a 11.00 ppm) para la segunda evaluación, niveles que se encuentran frecuentemente en suelos tropicales con alta pluviometría y texturas francas a francas arcillosas, en donde los niveles de pH son bajos, altos niveles de aluminio y se produce una fuerte retención del P (Bohn et al., 1993; Havlin et al., 1999). Los resultados muestran diferencias altamente significativas para la segunda evaluación y se observa que la concentración, excepto el testigo, paso de nivel bajo a nivel medio, aunque, se mantiene cerca al límite del nivel bajo. Comportamiento también registrado por Florida et al. (2020) al aplicar compost y NPK en plantaciones de cacao CCN-51 en Padre Abad, condiciones de suelo muy parecidas y plantaciones con el mismo genotipo. Estos niveles de P son condiciones poco favorables para el cultivo de cacao y coinciden con los reportes de Celis-Tarazona et al. (2020) y Navarro et al. (2018) encontraron diferencias para este indicador en diferentes sistemas de manejo en el que se incluye el cacao.

### Potasio, calcio y magnesio del suelo

La Tabla 5, presenta los valores medios del contenido de potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>+2</sup>) y magnesio (Mg<sup>+2</sup>), la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

Los resultados de K<sup>+</sup> en ambas evaluaciones presentan un bajo coeficiente de variación (< 25.00 %), y no se observa una significancia estadística (p < 0.05) para la primera evaluación, lo que indica homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación se observan diferencias significativas (p < 0.05), con clara tendencia de incremento de los niveles de K a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada, de modo que, paso del nivel bajo (< 120.00 ppm) en T1 y T2 al nivel medio (120.00 a 240.00 ppm) en los tratamientos con mayor dosis de guano aplicado (T3 y T4).

**Tabla 5.**

*Comportamiento del K, Ca y Mg del suelo*

Variable K <sup>+</sup>		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	K (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	K (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
T1	109.21 ± 16.17a	108.15 ± 11.32a
T2	108.95 ± 18.85a	119.30 ± 14.88ab
T3	112.71 ± 13.34a	121.63 ± 10.95ab
T4	115.33 ± 15.98a	136.85 ± 11.77b
$\bar{X}$	111.55 ± 14.75	121.44 ± 15.30
C.V (%)	13.22	12.60
p-valor	0.933 ns	0.043*
Variable Ca <sup>2+</sup>		
Tratamiento	Ca(Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	Ca (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
T1	2.86 ± 0.23a	2.90 ± 0.47a
T2	2.82 ± 0.24a	4.63 ± 0.17b
T3	2.77 ± 0.25a	4.52 ± 0.52b
T4	2.79 ± 0.23a	5.19 ± 0.72b
$\bar{X}$	2.81 ± 0.21	4.31 ± 0.99
C.V (%)	7.47	22.97
p-valor	0.956 ns	0.00**
Variable Mg <sup>2+</sup>		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	Mg (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	Mg (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
T1	0.44 ± 0.09a	0.45 ± 0.14a
T2	0.42 ± 0.08a	0.49 ± 0.07a
T3	0.42 ± 0.07a	0.55 ± 0.07ab
T4	0.47 ± 0.06a	0.74 ± 0.09b
$\bar{X}$	0.44 ± 0.07	0.56 ± 0.14
C.V (%)	15.91	25.00
p-valor	0.81 ns	0.005**

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo (p<0,05),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos

Los resultados de Ca (Tabla 5) en la primera evaluación presentan un muy bajo coeficiente de variación (< 25.00 %) y no se observa una significancia estadística (p < 0.05), lo que indica alta homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación se observan diferencias altamente significativas (p < 0.01), con clara tendencia de incremento de los niveles de Ca a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada. También

se observa que, pese al incremento del  $\text{Ca}^{2+}$ , no logro cambiar de nivel, permaneciendo en todos los casos en el nivel bajo ( $2.00$  a  $5.00 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ).

Los resultados de  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabla 5) en la primera evaluación presentan un bajo coeficiente de variación ( $< 25.00 \%$ ) y no se observa diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), lo que indica la homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación se observan diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), con clara tendencia de incremento de los niveles de  $\text{Mg}^{2+}$  a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada. También se observa que, T1 y T2 permanecieron en el nivel muy bajo en  $\text{Mg}^{2+}$  ( $< 0.50 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ) y los tratamientos T3 y T4 pasaron al nivel bajo en  $\text{Mg}^{2+}$  ( $0.50$  a  $1.30 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ), incrementándose también el coeficiente de variación al  $25 \%$ , demostrando efecto del guano sobre este parámetro del suelo a medida que se incrementa la dosis aplicada.

En general, los resultados muestran niveles bajos en  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  hasta la primera evaluación (Tabla 5) mostrando mejorías a medida que aumento la dosis de guano aplicado en la segunda evaluación. Esta respuesta es coherente con la composición del guano quien contiene de  $2.00$  a  $3.00 \%$  de  $\text{K}^+$ ,  $10.00 \%$  de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $0.80 \%$  de  $\text{Mg}^{2+}$ , en particular en  $\text{Ca}^{2+}$ , que subió de  $2.90$  (T1) a  $5.19$  (T4); este aporte en  $\text{Ca}^{2+}$  explica el incremento del nivel de pH que paso de  $5.13$  (T1) a  $5.45$  (T4) por neutralización de la acidez cambiante (Bohn et al., 1993; Havlin et al., 1999;), efecto que favorece la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Rivera et al., 2018; Rosas-Patiño et al., 2017).

Estos macronutrientes son importantes en la fisiología vegetal, por su reacción básica y formar parte de los tejidos (Ca), y por sus funciones como parte no constitutiva de las estructuras básicas esenciales (K y Mg) (Navarro & Navarro, 2003). Los valores son propios de estos tipos de suelo tropicales con CIC baja (Navarro & Navarro, 2003) y pH ácido (Havlin et al. 1999) que en estudios realizados en el ámbito mostraron valores similares entre ellos Acuña y Florida (2020) en la comunidad nativa de Chambira en San

Martin, también, Celis-Tarazona et al. (2020) y Florida-Rofner et al. (2020) en Padre Abad Ucayali y Florida et al. (2022) en Castillo Grande, Huánuco.

## Aluminio y CIC del suelo

La Tabla 6 presenta los valores medios del contenido de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y CIC, la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

**Tabla 6**

*Comportamiento de Al y CIC del suelo con aplicación de guano*

Variable Al		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	Al ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ )	Al ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ )
T1	$0.58 \pm 0.21$	$0.30 \pm 0.18$
T2	$0.38 \pm 0.09$	$0.22 \pm 0.11$
T3	$0.58 \pm 0.23$	$0.26 \pm 0.13$
T4	$0.55 \pm 0.22$	$0.21 \pm 0.08$
$\bar{X}$	$0.52 \pm 0.20$	$0.25 \pm 0.12$
C.V (%)	38.46	48
p-valor	0.434 ns	0.759 ns
Variable CIC		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	CIC ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ )	CIC ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ )
T1	$4.30 \pm 0.37a$	$4.05 \pm 0.51a$
T2	$4.11 \pm 0.34a$	$5.75 \pm 0.30b$
T3	$4.41 \pm 0.39a$	$5.72 \pm 0.60b$
T4	$4.32 \pm 0.39a$	$6.54 \pm 0.68b$
$\bar{X}$	$4.28 \pm 0.35$	$5.51 \pm 1.06$
C.V (%)	8.18	19.24
p-valor	0.718 ns	0.00**

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo ( $p < 0,05$ ),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos.

Los resultados de  $\text{Al}^{3+}$  (Tabla 6) en la primera evaluación presentan un coeficiente de variación medio ( $25.00$  a  $50.00 \%$ ) y no se observa diferencias estadísticas (p

< 0.05), lo que indica heterogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Además, en la segunda evaluación se mantiene tales condiciones y tampoco se observa diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con ligera tendencia de reducción de los niveles de Al a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada.

El aluminio no presentó diferencias, pero los niveles encontrados se consideran medianamente tóxicos ( $> 0.10 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ) para muchas especies de plantas (Carreño y Chaparro, 2013; Lisboa et al., 2021), incluida el cacao (Florida et al., 2022). Los niveles de aluminio encontrados presentan una ligera tendencia a la disminución, lo que es muy probable que esté relacionado con el tipo de suelo (Cepeda, 2012), que es medianamente ácido (pH de 5.00 a 6.50), y con los niveles medios de MO, factores que determinan la retención o solubilidad del aluminio (Bohn et al., 1993; Havlin et al., 1999; Navarro y Navarro, 2003).

Estos niveles encontrados se explican por las altas precipitaciones que ocurren en la zona de estudio, las cuales originan procesos intensos de alteración química y lavado de bases que favorecen su solubilidad del  $\text{Al}^{3+}$  (May, 2015). Además, bajo condiciones de suelos ácidos (pH < 5.00), la concentración de  $\text{Al}^{3+}$  en la solución es alta y es fuertemente retenida en la superficie de los coloides minerales, disminuyendo la CIC del suelo (Bohn et al. 1993). Estas condiciones son coherentes con los bajos niveles de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y P (Rivera et al., 2018) encontrados, aunque la reducción no podemos atribuir al guano aplicado, sin embargo, el aporte de bases y el incremento del pH generado por el guano terminaron reduciendo los niveles de Al en el suelo.

Los resultados de CIC (Tabla 6) en la primera evaluación presentan un coeficiente de variación baja (< 25,00 %) y no se observa diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), lo que indica homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación se observa diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), con ligera tendencia de incremento de los niveles de CIC a medida que se

incrementa la dosis de guano aplicada.

La capacidad de intercambio se genera por las cargas negativas presentes en la superficie de partículas coloidales, como la arcilla, y en la materia orgánica del suelo, que es capaz de retener diversos cationes esenciales para las plantas (Havlin et al., 1999). El nivel de CIC determina la capacidad del suelo para retener estos cationes; un suelo con baja CIC indica una pobre capacidad de retención de nutrientes (suelos arenosos o con baja MO). Por tanto, las partículas de arcilla como las moléculas orgánicas atraen a los cationes (Navarro y Navarro, 2003; Cepeda, 2012; Rivera et al. 2018).

### **Bases y acidez cambiabile del suelo**

La Tabla 7 presenta los valores medios de las bases cambiabiles (BC) y la acidez cambiabile (AC), la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

Los resultados del % de BC (Tabla 7), en la primera y segunda evaluación presentan un coeficiente de variación baja (< 25.00 %) y no se observa diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), lo que indica homogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Sin embargo, en la segunda evaluación se observa medias mayores a la primera evaluación, con ligera tendencia de incremento de los niveles de BC a medida que se incrementa la dosis de guano aplicada.

Respecto a la acidez cambiabile (AC) (Tabla 7), en la primera evaluación presentan un coeficiente de variación media (25.00 a 50.00 %) y no se observa diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), lo que indica heterogeneidad de los datos y la similitud de los valores medios entre tratamientos. Además, en la segunda evaluación se observa incremento del C.V (> 50.00 %), lo que indica alta heterogeneidad entre los datos y disminución de los valores medios de AC entre los tratamientos, sin mostrar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con ligera tendencia de reducción de los niveles de AC a medida que se

incrementa la dosis de guano aplicada.

**Tabla 7.**

*Bases cambiables (BC) y acidez cambiante (AC) del suelo con aplicación de guano de isla*

Variable BC		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	BC (%)	BC (%)
T1	83.25 ± 5.50	89.64 ± 6.58
T2	86.00 ± 2.45	93.90 ± 3.22
T3	79.00 ± 5.71	93.83 ± 3.43
T4	82.50 ± 4.43	94.97 ± 2.23
$\bar{X}$	82.69 ± 4.94	93.09 ± 4.30
C.V (%)	5.97	4.62
p-valor	0.264 ns	0.331 ns
Variable AC		
	Primera evaluación	Segunda evaluación
Tratamiento	AC 1 (%)	AC 2 (%)
T1	16.75 ± 5.50a	10.36 ± 6.58a
T2	14.00 ± 2.45a	6.10 ± 3.22a
T3	21.00 ± 5.71a	6.17 ± 3.43a
T4	17.50 ± 4.43a	5.03 ± 2.23a
$\bar{X}$	17.31 ± 4.94	6.91 ± 4.30
C.V (%)	28.54	62.22
p-valor	0.264 ns	0.331 ns

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo ( $p < 0,05$ ),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos

El comportamiento de los resultados puede explicarse teniendo en cuenta que la BC es el resultado de la sumatoria de las bases  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , y la AC es el resultado de la sumatoria de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Bohn et al. 1993), por lo que la predominancia de uno de los grupos supone la reducción de otro y viceversa (Havlin et al., 1999; Navarro y Navarro, 2003). Estos parámetros (BC y AC) son muy importantes en la reacción del suelo. De acuerdo con Cruz-Macías et al. (2020), el calcio y el magnesio neutralizan los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ . También señalan que los materiales orgánicos, debido a su capacidad para mejorar la capacidad de intercambio catiónico, pueden disminuir la capacidad de retención de fósforo. Por otra parte, el calcio desplaza al hidrógeno y al aluminio de los sitios de intercambio, con

lo cual se logra aportar y liberar nutrientes retenidos en el suelo (Rosas-Patiño et al., 2017), lo que ocurre conforme se incrementan los niveles de MO ( $> 2.00\%$ ), es decir, que el  $\text{H}^+$  intercambiable disminuye exponencialmente y con él la acidez.

Un aspecto importante por resaltar es que los valores de AC son bajos, no superan el 21.00 % (T3) en la primera evaluación y los 10.36 % (T1) en la segunda evaluación. Esto se explica por los niveles de pH del suelo, en la segunda evaluación varía entre 5.13 y 5.45, de acuerdo con Alvarado y Fallas (2004), la forma de  $\text{Al}^{3+}$  no ocurre a valores de pH superiores a 5.50, por lo que, estando las medias cercanas a este valor los contenidos de  $\text{Al}^{3+}$  son bajos y reduce la AC, sin embargo, si el pH desciende a valores menores se incrementa el  $\text{Al}^{3+}$  y con él la acidez aumenta exponencialmente.

Estos cambios no necesariamente son producto del manejo del suelo, ya que también pueden tener origen natural por las condiciones locales o regionales. Por ello, en las regiones tropicales lluviosas se pierden los elementos base ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ), se incrementa la acidez y aumenta el aluminio cambiante, lo que afecta al desarrollo normal de las raíces en condiciones de pH que limitan la asimilación de nutrientes (Hernández-Jiménez et al., 2020). Finalmente, el guano aplicado mejoró los valores medios de BC y redujo la AC, lo cual puede atribuirse a su composición, ya que contiene 10.00 y 0.80 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivamente, lo que evidentemente mejoró las BC y redujo la AC. No obstante, esto no convierte al guano en un material encalante.

### Indicadores de producción del *T. cacao*

La Tabla 8 presenta los valores medios de los indicadores de producción (mazorcas y rendimiento), la desviación estándar y los estadísticos básicos para determinar diferencias entre los tratamientos. Los resultados corresponden a dos evaluaciones, a los 60 días después de la aplicación de los tratamientos, y a 60 días de la tercera y última aplicación de los tratamientos.

Respecto a al número de mazorcas por planta y

**Tabla 8.**

*Número de mazorcas y rendimiento del cacao*

Indicador	Tratamientos				Estadísticos		
	T1	T2	T3	T4	$\bar{X}$	C.V	p-valor
Mazorcas (Unidad planta <sup>-1</sup> )	8.5	7.5	10.5	12.25	9.69	30.03	0.078 ns
	±2.38	±1.29	±3.32	±2.50	±2.91		
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	436.7	357.5	457.88	720.78	493.21	35.68	0.005**
	±155.5	±78.6	±66.86	±143.10	±175.97		

**Nota.** T1..T4 tratamientos, C.V coeficiente de variación, Sig. Significancia, ns no significativo ( $p < 0,05$ ),  $\bar{X}$  media general, letras iguales en la misma columna no expresan diferencias entre tratamientos

rendimiento, estos fueron evaluados periódicamente según tratamiento y repetición. No se encontró diferencias, sin embargo, puede observarse una tendencia de incremento, tanto del número como del rendimiento, a medida que se incrementa la dosis de guano aplicado, sobresaliendo el T4. Además, se observa un coeficiente de variación media (25.00 a 50.00 %) en ambos casos, expresan heterogeneidad de las medias entre los tratamientos.

Los indicadores de producción revelan que el guano mejora la disponibilidad de nutrientes y reduce la acidez del suelo, lo que beneficia la nutrición de las plantas. Por ello, se observa una notable mejoría de los indicadores de producción y de los indicadores del suelo evaluados. Estos resultados coinciden con Florida et al. (2022), que aplicando la tecnología MOM en cacao bajo el sistema agroforestal, encontraron mejoras en la calidad del suelo y alcanzaron rendimientos del CCN-51 de 1 000 kg ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, los mismos autores no recomiendan el CCN-51 por su bajo rendimiento frente a los 3 500 kg ha<sup>-1</sup> alcanzados por el clon CMP-15. En ambos genotipos, los rendimientos superan ampliamente los resultados de este trabajo (720.78 kg ha<sup>-1</sup>). Ballesteros et al. (2022) informan de que el clon CCN51 produce 56.60 mazorcas por árbol al aplicar una mezcla de fertilizantes químicos y orgánicos, valores muy superiores a los resultados obtenidos. Sin embargo, Vega et al. (2021) encontraron una media de 13.30 mazorcas por planta al aplicar la poda y la fertilización orgánica. Este resultado es muy similar al de Florida-Rofner et al. (2020), que encontraron medias de rendimiento de 1 125.00 kg ha<sup>-1</sup> al aplicar compost y NPK. Las referencias presentan muchas

variaciones y la mayoría lo atribuyen a características genéticas (Florida et al., 2022) o a factores locales ecológicos y ambientales (Vega et al., 2021).

## CONCLUSIONES

En base a estos resultados, podemos establecer claramente que la aplicación de guano de isla tiene efectos positivos, ya que mejoró los niveles de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y elevó ligeramente los niveles de pH. Como resultado, aumentó la BC y se redujo la AC. Por lo tanto, es evidente que el guano de isla es un producto que, aplicado en una dosis de 2000 kg/ha en tres aplicaciones parciales durante la campaña de cosecha del cacao, ha tenido efectos significativos sobre los niveles de MO, N, P, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, excepto el pH, CIC, BC, AC y sobre el número de mazorcas y el rendimiento, aunque, estadísticamente estos últimos no son significativos. Finalmente, los valores medios de los diferentes indicadores tienden a mejorar a medida que se incrementa la dosis de guano de isla aplicada, mostrando al guano como un biofertilizante con gran potencial para mejorar el suelo y la producción de cacao.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO RURAL. (2009). Información técnica del guano de islas. Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego en Perú. <http://repositorio.midagri.gob.pe/jspuil/handle/20.500.13036/277>
- AGRO RURAL. (2019). Guano de las islas. Ministerio de Agricultura y Riego. Programa de Desarrollo Productivo

- Agrario Rural. <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/DIPTICO.pdf>
- Alvarado, A; Fallas, JL. (2004). La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.F.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28(1): 81-87. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43628108>
- Arévalo, G. (2014). Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. [Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú]. *Repositorio UNALM*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1758>
- Ballesteros, W; Escobar, E; Navia, JF. (2022). Organic and chemical fertilization of cacao (*Theobroma cacao* L.) clones in an agroforestry system. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2544. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num2\\_art:2544](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2544)
- Barreuzeta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>
- Bazán, R. (2017). Manual of procedures for soil and water analysis for irrigation purposes. *National Institute for Agrarian Innovation – INIA*. Lima -Perú.
- Bohn, HL; McNeal, BL; O'Connor, GA. (1993). *Química del suelo*. Editorial Limusa. 1º Edición. México. 363 p.
- Camacho-Tamayo, JH; Forero-Cabrera, NM; Ramírez-López, L; Yolanda, R. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colomb. for.* 20(1): 5-18. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>.
- Carreño, A; Chaparro, GA. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum* 18(3):283–310. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC18-3.taeV>
- Castañeda, C. (2014). Efecto del guano de ovino y la fertilización NPK en el rendimiento de *Solanum tuberosum* L. var huevo de indio en Caypanda, Santiago de Chuco-La Libertad. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. *Repositorio UNITRU*. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9251/BENITES%20CASTA%c3%91EDA%2c%20Carlos%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Celis-Tarazona, R; Florida-Rofner, N; Rengifo-Rojas, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *Revista Ciencia UNEMI*. 13(33): 01 – 09. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss33.2020pp1-9p>
- Cepeda, J. (2012). Química de suelos. 1ra. Edición. *Editorial Trillas*, S.A., México, pp. 155.
- China-Horta, A; Rodríguez-Izquierdo, L. (2021). Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar. *Revista Ingeniería Agrícola*. 11(1):3-8. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368001/html/>
- Cosme, RC; Reynoso, AF; Sanabria, S. (2020). Efecto del guano de isla en el rendimiento de dos variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en suelo degradado. *Agroind. sci.* 10(2): 191 – 198. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.10>
- Cruz-Macías, WO; Rodríguez-Larramendi, LA; Salas-Marina, M Á; Hernández-García, V; Campos-Saldaña, RA; Chávez-Hernández, MH; Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Demuner, G; Cadena, M; Campos, SG. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(5):68–71. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci>
- FAO (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Físicas del Suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2002). Guía: Los fertilizantes y su uso. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/x4781s/X4781S>.

[pdf](#)

- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos 4ª edición. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Ferrer, RS; Florida, N; Vargas, F; Ancobar, D; Alvarado, Y; Maldonado, A. (2023). Efecto del financiamiento en la producción semi ecológica y comercialización del cacao (*Theobroma cacao*) en Leoncio Prado-Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 96-104. <https://doi.org/10.53287/bkqd4570hw56p>
- Ferro, F; de Sousa, FL; Sadayuki, E; Rocha, M; Pereira, MA. (2011). Efeito de diferentes sistemas de pastejo em atributos físicos do solo. *Pubvet* 5(22):1142. <http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v5n22.1142>
- Florida, N. (2021). Cadmio en suelos y granos de cacao de origen peruano y sudamericano. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 74(2): 9499-9515. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91107>
- Florida, N; Abad, RM; Rengifo, A; Nazar, J. (2023). Efecto a largo plazo del pastoreo rotacional en *Urochloa brizantha* cv. Marandú sobre indicadores de calidad del suelo. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales*, 11(2):131-144. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(11\)131-144](https://doi.org/10.17138/TGFT(11)131-144)
- Florida, N; Acuña, G. (2020). Soil quality with traditional management in the Chambira native community. *Plant, Soil and Environment* 66: 375-380. <https://doi.org/10.17221/144/2020-PSE>
- Florida, N; Levano, JD; Jacobo, SS; Ferrer, R. (2020). Indicadores físico-químicos del suelo y rendimiento del cacao con manejo orgánico y convencional. *Agroind. sci.* 10(2): 175 - 180. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.08>
- Florida, N; Paredes, M; Paredes, RM; Navarro, L; Rengifo, A. (2022). An organic management alternative that improves soil quality in cocoa plantations under agroforestry systems. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 335-342. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.030>
- Florida-Rofner, N; Levano-Crisóstomo, JD; Jacobo-Salinas, S. (2020). Effect of feather compost on soil chemical indicators in CCN-51 cocoa plantation (*Theobroma cacao* L.). *Producción+Limpia*, 15(1): 25-34. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a2>
- Francisco-Santiago, S P; Palma-López, DJ; Sánchez-Hernández, R; Obrador-Olán, JJ; García-Alamilla, P. (2023). Fertilidad edáfica y nutrición en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres suelos de Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 41, e1116. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1116>
- García, D; Cárdenas, J; Silva, A. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Rev.Cienc. Agr* 35(1): 16-25. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.79>
- García, Y; Ramírez, W; Sánchez, S; (2012). Soil quality indicators: A new way of assessing this resource. *Pastos y Forrajes* 35(2): 125-138.
- Havlin, JL; Beaton JD; Tisdale, SL; Nelson, WL. (1999). Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6ta ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. USA. 499 p.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. *Mc Graw Hill*.
- Hernández-Jiménez, A; Llanes-Hernández, V; Terry-Alfonso, E; Carnero-Lazo, G. (2020). Cambios de ph en suelos pardos de cuba cuando se erosionan. *Cultivos Tropicales*, 41(2),e04,2020. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362020000200004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200004&lng=es&tlng=es)
- Lacasta, C; Benítez, M; Maire, N; Meco, R. (2006). Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. VII Congreso SEAE: *Agricultura y Alimentación Ecológica* (2006): Trabajo 110. Toledo, España. <https://core.ac.uk/reader/36027780>
- Lisboa, LAM; Días, GHO; Sacco, HAA; Padovan, JVR; Rodrigues, GB; Ribeiro, KB; Silva, GG; Cardoso, AS; Pereira, LB; Figueiredo, AM. (2021). Cambios en el crecimiento y en las ultraestructuras de tejidos radiculares y foliares de *Urochloa brizantha* cultivado en suelo con niveles tóxicos de aluminio. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales* 9(1):23-33. <https://doi.org/10.17138/>

[tgft\(9\)23-33](#)

- May, T. (2015). pH, aluminio y factores ambientales en suelos bajo bosques de la Cordillera Central, República Dominicana. *Revista Geográfica Venezolana* 56(1):59–71. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347738680004>
- Meza, C; Diaz, A. (2010). Percepción ambiental de los paisajes y sus potencialidades: provincia de Huamálies. *Revista de investigaciones sociales*, 52 (2). [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/invsociales/N25\\_2010/pdf/a03.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/invsociales/N25_2010/pdf/a03.pdf)
- MIDAGRI. (2021). COMMODITIES Observatory: Cacao. Bulletin de publication trimestral enero-marzo N° 01. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego- Dirección General De Políticas Agrarias. P 1-20. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2009611/Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202021.pdf>
- MIDAGRI. (2023). Observatorio COMMODITIES cacao. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Boletín trimestral, enero-marzo N° 01 2023. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5264502/%20Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202023.pdf?v=1697059698>
- MINAGRI. (2011). Condiciones agroclimáticas del cultivo del cacao. Cartilla n° 13. [http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/condiciones\\_agroclimaticas\\_cacao.pdf](http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/condiciones_agroclimaticas_cacao.pdf)
- MINAGRI. (2016a). Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo; un análisis de la producción y el comercio. Ministerio de agricultura. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-cacao-Peru-y-Mundo.pdf>
- MINAGRI. (2016b). Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2016?download=10169:estudio-del-cacao-en-el-peru-y-en-el-mundo>.
- MINAGRI. (2018). Guano de las islas. Gobierno de Chile. <https://biblioteca.sag.gob.cl/DataFiles/322-2.pdf>
- MINAM. (2014). Guía para el Muestreo de Suelos. Dirección General de Calidad Ambiental. Ministerio del Ambiente. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12104/07\\_guia-para-el-muestreo-de-suelos-final.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12104/07_guia-para-el-muestreo-de-suelos-final.pdf)
- Moreno, J; Sevillano, G; Valverde, O; Loayza, V; Haro, R; Zambrano, J. (2016). Soil from the Coastal Plane. In Espinosa, J.; Moreno, J; Bernal, G. (Eds.), *The Soils of Ecuador* (pp. 1-195). Cham, Switzerland: Springer International Publishing
- Navarro, S; Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da ed. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Navarro, V; Rofner, NF; Vasquez, LN. (2019). Physical attributes and organic matter of oxisols in sugar cane production systems. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21: 89–99. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- Parco-Quispe, M; Camacho-Villalobos, AA; Parco-Quinchori, JA; Dionisio-Saldaña, FE. (2022). Efecto de niveles de aplicación de guano de islas en incremento de frutos de cacao. *Tecnología en Marcha*. 35(2), 105-114. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5595>
- Paredes, M. (2003). Manual de cultivo del cacao. Ministerio de Agricultura. Programa para el Desarrollo de la Amazonia (PROAMAZONIA). <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- PRODUCE. (2024). Estudio de investigación sectorial 2023: sector cacao y derivados. Ministerio de la Producción. 1ª edición. [https://www.produccempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/09/89-Estudio-de-Investigacion-Sectorial-de-Cacao-y-sus-derivados-2023\\_02.09.2024-2.pdf](https://www.produccempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/09/89-Estudio-de-Investigacion-Sectorial-de-Cacao-y-sus-derivados-2023_02.09.2024-2.pdf)
- Pulgar, VJ. (2014). The eight natural regions of Peru. *Terra Brasilis (Nova Série)* 3: 1-20. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Puri, EE; Rofner, NF; Vásquez, LN. (2023). Impact of erythroxylum coca cultivation on soil quality in the Aguaytia valley. *Soil Environ.* 42(1): 65-76. <https://doi.org/10.25252/SE/2023/243041>
- Ríos, NH; Luján, AP; Benitez, CA; Río, CP. (2015). Efecto de tres dosis de guano de las islas en el rendimiento de

- Solanum tuberosum L. Var. huayro en el Zuro, Santiago de Chuco. SCIENDO, 17(1), 81-88. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/1028>
- Ríos-Campos, N; Luján-Salvatierra, Á; Benites-Castañeda, C; Ríos-Núñez, C. (2017). Efecto de tres niveles de guano de las islas en el rendimiento de Solanum tuberosum L.var. huevo de indio SCIENDO 18(1), 52-61. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/1329>
- Rivera, E; Sánchez, M; Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de Iniciación Científica 4(Esp 2):101–105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Rosas-Patiño, G; Puentes-Páramo, YJ; Menjivar-Flores, JC. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 18(3),529-41. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193264539004/html/>
- SAGARPA. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo - Metodología de Cálculo. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 58p. FAO y SAGARPA México
- Sánchez, Y. (2016). Caracterización química del guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola [Tesis de grado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Ensenada, Baja California, México. Repositorio Institucional CICESE. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1319/1/245271.pdf>
- van-Vliet, J., Slingerland, M., & Giller, K. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa. Wageningen, Netherlands: Wageningen University and Research Centre.7-30 Pp.
- Vásquez, NW; Jacobo, SS. (2020). El guano de isla y su efecto en el rendimiento de la col (*Brassica oleracea* L) variedad lombarda (*Capitata* f. rubra) en Colicocha Huánuco. Revista Investigación Agraria. 2(1), 33-38. <https://doi.org/10.47840/RelnA20204>
- Vega, CA; Torres-Bazurto, J; Barrientos-Fuentes, JC; Magnitskiy, S; Balaguera-López, HE. (2021). Effect of organic fertilization and pruning on cacao yield in Cundinamarca, Colombia. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 24(2): e1818. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>
- Zavala, W, Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. Scientia Agropecuaria, 9(4), 493-501. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.04>

Artículo recibido en: 11 de agosto de 2025

Aceptado en: 30 de marzo del 2026