

DINÁMICA DE NUTRIMENTOS EN EL CULTIVO DE CACAO BAJO UN SISTEMA ORGÁNICO¹

*Jhon Alexander Villalaz-Pérez²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Adolfo Santo-Pineda⁴; Abiel Gutiérrez-Lezcano⁵*

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar dosis de fertilización, utilizando abono orgánico en el cultivo de cacao. El estudio se realizó en el 2017-2018, utilizando una plantación del clon CCN-51 de cacao, con tres años de edad, ubicada en Nuevo Paraíso, distrito de Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá; con coordenadas de 9°16'49,524" de latitud norte y 82°24'51,250" de longitud oeste. La precipitación promedio es de 3,300 mm·año⁻¹. La investigación consistió en la aplicación de cinco tratamientos de abono orgánico, previamente caracterizados (0, 5, 10, 15 y 20 Mg·ha⁻¹) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El área total seleccionada para ubicar los tratamientos fue de 400 m²; cada parcela consistió de 18 m², seis árboles por tratamiento por repetición. Muestras de suelo a una profundidad de 0,30 m y tejido foliar fueron tomadas antes de aplicar los tratamientos y un año después de aplicados. Se realizaron regresiones para determinar el tratamiento adecuado. Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos para las variables del suelo como pH, CO, N, P, K excepto las variables Ca y Mg. En la absorción de nutrientes se encontraron diferencias significativas para las variables de N, K y Mg; excepto para las variables de P y Ca. La mejor dosis de abono orgánico resultó estar entre 15 Mg·ha⁻¹ a 20 Mg·ha⁻¹.

Palabras clave: Fertilización orgánica, absorción, disponibilidad, suelos dísticos.

¹ Recepción: 11 de marzo de 2021. Aceptación: 20 de mayo de 2021. Este trabajo formó parte del proyecto denominado "Investigación e Innovación del manejo integrado del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en zonas de pobreza rural e indígena del trópico húmedo en Bocas del Toro, República de Panamá." Financiado por el Instituto de Innovación Agropecuario de Panamá (IDIAP), Panamá.

² Instituto de Innovación Agropecuario de Panamá (IDIAP). Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIAD). M.Sc. Manejo de suelo y agua. e-mail: jjvillalaz14@gmail.com

³ IDIAP. CIAD. Ph.D. en Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com

⁴ IDIAP. CIAD. M.Sc. Manejo de suelo y agua. e-mail: asantospineda@gmail.com

⁵ IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria de Bocas del Toro (CIABT). Ing. Fitotecnia. e-mail: abiel.gutierrez@yahoo.es



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

NUTRIENT DYNAMICS IN COCOA CROP UNDER AN ORGANIC SYSTEM

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate fertilization doses, using organic fertilizer in cocoa crop. It was carried out in 2017-2018, in a cocoa plantation of the clone CCN-51 with three years old, located in Nuevo Paraíso, Almirante district, Bocas del Toro, Republic of Panama; with coordinates of 9°16'49,524" of north latitude and 82°24'51,250" of west longitude. The average rainfall is 3300 mm.year⁻¹. The investigation consisted of the application of five treatments of organic fertilizer, previously characterized (0, 5, 10, 15 and 20 Mg·ha⁻¹) in a complete randomized block design with three repetitions. The total selected area to place the treatments was 400 m²; each plot consisted of an area of 18 m² containing six trees per treatment per repetition. Soil samples at 0,30 m depth and leaf tissue were taken before applying the treatments and after one year of application. Regressions were performed to determine the appropriate treatment. Significant differences (P<0,05) were observed among treatments for soil variables such as pH, CO, N, P, K except for Ca and Mg variables. Significant differences were observed for N, K and Mg variables in the absorption of nutrients; except for P and Ca variables. The best dose of organic fertilizer resulted between 15 Mg·ha⁻¹ to 20 Mg·ha⁻¹.

Key words: Organic fertilization, absorption, availability, dystric soils.

INTRODUCCIÓN

El cacao se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de esos países son de América y en ellos se produce cacao con fines comerciales, lo que convierte el cacao en un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y, particularmente, cultural para los territorios en donde se produce (Arvelo et al., 2017).

Los productores del área del distrito de Almirante, República de Panamá y alrededores cultivan este rubro, aplican solo desechos de hojarasca y capullo o mazorca del cacao, sin caracterizar el contenido nutricional del suelo. Este rubro es establecido en su gran mayoría bajo un sistema agroforestal, con los árboles forestales como sombra y de protección al suelo, este a su vez con el aporte de la biomasa, reduce las pérdidas de suelo y mantiene una descomposición natural de la hojarasca aportada por especies asociadas; el ciclaje de nutrimentos favorece las condiciones físicas y químicas (Navia et al., 2003).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los sistemas agroforestales en asociación con cacao son considerados como fuentes de recursos potenciales para el secuestro de carbono orgánico, reducción de estrés hídrico, evaporación y aumento de la biodiversidad (Tschardt et al., 2011).

En la provincia de Bocas del Toro, República de Panamá; cultivan alrededor de 0,11 Mg·ha⁻¹ a 0,13 Mg·ha⁻¹ o 2 millones y medio de plantas de cacao, y cosechan solo 248 kg de semilla seca (Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá [INEC], 2011). La actividad de cacao en la provincia de Bocas del Toro se desarrolla con mayor énfasis en los corregimientos de Almirante, Changuinola y Valle de Risco; considerando el Cacao como una especie primordial en el sistema agroforestal campesino en estas y otras zonas (Gutiérrez, 2020).

Las investigaciones realizadas en fertilización y nutrición del cultivo de cacao recomiendan evaluar cada material de cacao de cada país, en función del tipo de suelo y zona agroecológica donde se cultive (Romero, 2016); con fines de conocer la distribución de los nutrientes y plantear estrategias de muestreo para estudiar la nutrición del cultivo (Carvalho et al., 2013).

Los análisis de tejido foliares es una herramienta oportuna que nos ayuda a interpretar adecuadamente y en forma apropiada corregir limitantes nutricionales del cultivo, y para determinar la concentración óptima de los nutrientes en una determinada época del ciclo del cultivo, que asegure el mejor rendimiento (Etchevers, 1999).

El nitrógeno (N), es el elemento con mayor utilización en las plantas, hace parte de los aminoácidos y ácidos nucleicos, es por ello que si este elemento no está presente en cantidades suficientes se presenta clorosis, representado en las hojas viejas, tallos delgados y leñosos (Taiz y Zenger, 2006).

El fósforo (P), participa en el metabolismo energético, en la fotosíntesis, respiración y síntesis de almidones, su deficiencia produce enanismo en las plantas (Rodríguez y Flórez, 2004).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El uso del compost incrementa que la capacidad de retención de los nutrientes se incrementa, y favorece el desarrollo de la actividad biológica del suelo pues a la vez que la incrementa, retarda el proceso de cambio de reacción pH, ayuda a corregir las condiciones tóxicas del suelo (Ansorena et al., 2014).

La extracción de potasio (K) por el fruto del cacao es mayor que la de otros elementos (López et al., 2015); por otro lado, es un elemento que tradicionalmente se ha caracterizado por su poca afinidad a los componentes orgánicos, a pesar que algunos abonos orgánicos contienen cantidades apreciables de este elemento (Durán y Henríquez, 2007).

En muchas regiones del mundo se remueve más K en los productos cosechados de lo que se retorna al suelo con los fertilizantes y los residuos de cosechas o los residuos de corral (Mikkelsen, 2008).

El fósforo (P), luego de la mineralización de la materia orgánica, puede ser retenido en el suelo en forma más o menos reversible, similar a la reacción del P que proviene de fertilizantes industriales o del P mineral disponible en el suelo (Henríquez y Cabalceta, 1999).

Se considera que la disponibilidad, absorción y distribución de nutrientes esenciales en la planta, está relacionado con su tasa de crecimiento y rendimiento (López-Lefebvre et al., 2002; Marschner, 2012).

La remoción de nutrientes por el cultivo de cacao se incrementa rápidamente durante los primeros 5 años después de la siembra y luego tiende a establecerse, manteniendo esa tasa de absorción por el resto de la vida útil de la plantación (García, 1993).

En el clon híbrido CCN-51, los frutos tienen una coloración rojiza en su estado de desarrollo y madurez. Contienen grandes cantidades de grasa, por lo que define propios nichos de mercado, es una variedad que se caracteriza por su capacidad productiva,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

siendo ésta cuatro veces mayor a las clásicas producciones, y a su vez, por ser resistente a enfermedades (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [ANECACAO], 2015).

A todo esto, nos llevó al objetivo de evaluar dosis de fertilización, utilizando abono orgánico para mejorar los nutrimentos esenciales en el cultivo del cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio fue realizado en los años 2017-2018, en una finca de un productor de cacao bajo un sistema orgánico, en la comunidad de Nuevo Paraíso en el distrito de Almirante, provincia de Bocas del Toro, República de Panamá, las coordenadas geográficas son 9°16'49,524" de latitud norte y 82°24'51,250" de longitud oeste.

La localidad se caracteriza como clima tropical muy húmedo (Köppen, 1936); todos los meses con lluvias > 60 mm. temperatura media del mes más fresco > 18° C (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia [IGNTG], 2007). Los vientos alisios, provenientes del Norte y del Nordeste, provocan lluvias orográficas copiosas (Autoridad Nacional del Ambiente [ANAM], 2010).

La clasificación taxonómica de los suelos en el área, según procedimiento de la USDA (2014), los suelos se clasifican en del orden Inceptisoles, suborden Ochrepts, y de grandes grupos Dystrochrepts y régimen de temperatura isohipertérmico (Villalaz-Pérez et al., 2021).

En Almirante, los suelos cultivados con cacao presentan texturas que van desde francas, franco arenoso y areno francosa, la permeabilidad de los suelos oscila de moderados a muy rápidas, el contenido de carbón orgánico en horizontes de los perfiles estudiados varía desde bajo a medio, disminuyendo a medida que se profundiza en el perfil del suelo; el pH de los suelos varía desde muy ácidos a ácidos (Villalaz-Pérez et al., 2021).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fases del estudio:

Fase de Campo

Se utilizó una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) de tres años de edad del clon CCN-51. Se seleccionó un área total de 650 m², con un área efectiva de 400 m², consistió en cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno, con un diseño de bloques completos al azar, para minimizar el efecto de la variabilidad espacial del suelo. La unidad experimental consistió en 18 m², seis árboles con un espaciamiento de 3,0 m uno del otro; se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0,30 m antes de aplicar los tratamientos y un año después de la aplicación del abono orgánico.

Para conocer el estado nutricional de la planta se hizo un muestreo de tejido foliar, siguiendo la metodología de Puentes et al. (2016), la cual consiste en tomar la cuarta hoja de la parte media del árbol de cacao. El muestreo foliar se realizó antes y un año después de aplicados el abono orgánico.

El contenido nutricional del abono orgánico comercial para conocer los niveles de nutrimentos; utilizando la metodología descrita en la fase de laboratorio se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Contenido nutricional del abono orgánico comercial.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CO	Cu	Zn	Fe	Mn	C.E	pH 1:2,5	C/N
%					Mg·kg ⁻¹				dSm ⁻¹			
0,76	1,68	0,41	3,37	1,76	8,20	87	397	28000	5,3	4,70	7,2	10,8

Fuente: Laboratorio de Fertilidad de Suelos. IDIAP, Panamá. 2017 -2018.

Los tratamientos fueron aplicados por árbol, incorporados al suelo, para evitar el deslave por las lluvias o corrientes superficiales, existentes en el área. Las dosis de abono orgánico aplicadas en los cinco tratamientos y el aporte nutricional del abono orgánico aplicado (Cuadro 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Aporte nutricional del abono orgánico aplicado al suelo, según tratamiento. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá 2017-2018.

Trat.	Dosis	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
	Mg·ha ⁻¹									
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	38,0	36,96	17,02	119,6	52,8	0,43	2,0	139,9	0,03
3	10	76,0	73,93	34,03	239,3	105,6	0,90	4,0	279,8	0,05
4	15	114,0	110,88	51,05	358,9	158,4	1,30	6,0	419,7	0,08
5	20	152,0	147,87	68,0	478,5	211,2	1,74	7,9	559,6	0,11

Fase de Laboratorio

Las muestras de suelos fueron secadas y tratadas, siguiendo normas del laboratorio de fertilidad de suelos y agua, del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, según metodologías descritas en el manual Técnico del Laboratorio de Suelos del IDIAP (Villarreal y Name, 1996; USDA, 1999).

La determinación del nitrógeno en el suelo se realizó mediante la metodología de digestión Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982); por otra parte, la materia orgánica se cuantificó mediante metodología de carbono de suelo a través del método propuesto por Walkley y Black (1934).

Para la caracterización del abono orgánico y muestras foliares, se utilizó el método USEPA 3050 A (United States Environment Protection Agency [USEPA], 1996). La concentración de los elementos se determinó en un espectrómetro de absorción atómica de llama con fuente continua de Xenón. Las digestiones fueron realizadas por medio de un digestor de microonda, agregando a cada muestra 9 ml de HNO₃, 3 ml de HCl, 1 ml de H₂O₂ (USEPA, 1996). Para determinar la concentración de P y K disponible en el suelo, se utilizó la solución extractora Mehlich 1, según Embrapa (Teixeira et al., 2017). Para la determinación de la disponibilidad del Ca y Mg, se utilizó la solución de KCl 1 N (Díaz y Hunter, 1978).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las cuantificaciones de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH en agua con relación 1:2,5; se determinó mediante técnicas del Manual de métodos de análisis de suelo de Embrapa (Teixeira et al., 2017). La textura del suelo se determinó mediante la metodología de Bouyoucos (1962), descritas en el manual Técnico del Laboratorio de Suelos del IDIAP (Villarreal y Name, 1996).

La densidad aparente del suelo se cuantificó a una profundidad de 0,30 m, se utilizaron anillos o cilindros Uhland de volumen conocido, se llevó la muestra de suelo a la estufa u horno a 105°C por 24 horas (Agostini et al., 2014).

El área caracterizada (Cuadro 3) donde se realizó el ensayo de investigación, presenta un mayor contenido de arena y limo, pH ácidos y un desbalance en sus bases intercambiables (Ca, Mg y K); típico de esos sitios (Villalaz-Pérez et al., 2021), es el siguiente:

Cuadro 3. Características físicas, químicas y biológicas de los suelos de Nuevo Paraíso, Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

Variables	Media	D.E	Min	Máx
NT (%)	0,04	0,01	0,03	0,05
P (mg·kg ⁻¹)	0,001	0,00	0,001	0,001
K (cmol (+) kg ⁻¹)	0,26	0,01	0,25	0,27
Ca (cmol (+) kg ⁻¹)	16,80	1,49	15,10	17,90
Mg (cmol (+) kg ⁻¹)	7,00	1,51	5,50	8,50
CIC (cmol (+) kg ⁻¹)	30,38	2,36	27,20	32,40
pH	5,25	0,25	5,00	5,50
CO (%)	0,96	0,34	0,72	1,34
CICE	24,06	2,61	20,85	26,67
Da (kg·m ⁻³)	1,14	0,02	1,13	1,16
Arena (%)	58,67	8,33	52,0	68,0
Limo (%)	25,33	5,03	20,0	30,0
Arcilla (%)	16,00	3,46	12,0	18,0

NT= nitrógeno total; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; pH= potencial de hidrógeno; CO= carbono orgánico; CICE= capacidad de intercambio catiónico efectivo; Da= densidad aparente; DE= desviación estándar



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza, comparación de medias por Tukey $P < 0,05$ y un análisis de regresión para determinar el tratamiento de abono orgánico adecuado según dosis aplicada, se utilizó Infostat, versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Posteriormente, se utilizaron tablas comparativas, según Mills y Jones (1996); Abreu-Junior (1996); Malavolta et al. (1997); Sodré et al. (2012); Puentes et al. (2016), utilizadas para evaluar el contenido de nutrimentos en el tejido foliar.

Ecuación de regresión:

$$Y_i = A + BX_i + CX_i^2 + E$$

Donde:

Para Y_i : contenido de nutrimentos en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ o en %

(A, B, C): coeficientes desconocidos.

E_i : error asociado al modelo X_i : valor de la i -sima observación de la variable independiente

Variables Medidas

En el Laboratorio de suelo se midió: la capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, calcio, magnesio, fósforo extraible, materia orgánica, potasio, nitrógeno total, potencial de hidrógeno.

Variables de Respuesta

Edáficas

- Químicas: calcio, magnesio, fósforo, potasio, nitrógeno y potencial de hidrógeno.
- Biológicas: materia orgánica.

Tejido Foliar

- Químicas: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de medias por Tukey $P < 0,05$ (Cuadro 4) de las variables de suelos como: pH, % N, % CO, P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), K, Ca y Mg en ($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), por tratamientos. En la variable pH los tratamientos fueron altamente significativos ($P < 0,05$), cuando se realizó el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

análisis de varianza (ANOVA). Con valor de la media de 6,17 el tratamiento de 20 Mg·ha⁻¹ presentó diferencias significativas con respecto a las demás variables. La mayoría de estos tratamientos oscilaron entre 5,0 y 7,5; que resultan ser óptimos para el rubro de cacao (Ramtahal et al., 2018); contrario a lo comentado por Arvelo (2017) y López et al. (2011) mencionaron que los suelos para el cultivo del cacao, deben tener un pH de 6,0 a 7,0. Por otra parte, (Name y Villarreal, 2004), comentaron que la disponibilidad de nutrientes está en función de pH; esto quiere decir que a pH ácidos, hay mayor disponibilidad de Cu, Fe, Mn y Zn, contrario a lo que sucede con el P, Ca y Mg

En cuanto a la variable N, los tratamientos fueron altamente significativos según la ANOVA. El tratamiento con mayor concentración disponible de este elemento fue el de 20 Mg·ha⁻¹ con un valor de 0,15%. Todas las concentraciones de N encontradas por tratamientos presentan niveles bajos (Arvelo, 2017). Los contenidos de N en suelos tropicales varían de 0,2% a 0,41% (Bertsh, 1998).

Para el porcentaje de contenido de carbón orgánico en el suelo (CO), los tratamientos con dosis de 15 Mg·ha⁻¹ y 20 Mg·ha⁻¹ con valores de 1,69% a 1,70%, respectivamente, resultaron con mejores valores si las comparamos con el testigo. Se comprueba que el uso de enmiendas orgánicas mejora la calidad biológica del suelo (Abreu et al., 2018); pero en la interpretación analítica de los niveles críticos, estos tratamientos se encuentran con valores bajos. Arvelo (2017); López et al. (2011) comentaron que el contenido de la materia orgánica debe ser mayor de 3,0% (1,74% CO). En cuanto el P, presentó alta significancia, en los tratamientos 15 Mg·ha⁻¹ y 20 Mg·ha⁻¹, con valores medios de 137,0 mg·kg⁻¹ a 192,67 mg·kg⁻¹, respectivamente.

Según la interpretación de niveles críticos, se encuentran altos los tratamientos 10 Mg·ha⁻¹, 15 Mg·ha⁻¹ y 20 Mg·ha⁻¹ (Name, 1987). En cambio, el K presentó diferencia significativa $P < 0,05$ en el tratamiento de 20 Mg·ha⁻¹, muy cerca de 15 Mg·ha⁻¹, con valor de 0,23 cmol·kg⁻¹ y 0,20 cmol·kg⁻¹, respectivamente, y según la interpretación de sus niveles críticos, estos dos tratamientos se encuentran altos en sus niveles (Name, 1987); y medios según Arvelo (2017).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se encontró que para los elementos Ca y Mg, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Según (Arvelo, 2017) y (Name, 1987), sus niveles críticos se encuentran altos; esto pudo deberse a que geológicamente estos suelos son originarios de rocas sedimentarias con altos contenidos de minerales primarios provenientes de calcitas, areniscas y lutitas (ANAM, 2010).

Trabajos previamente realizados en cacaotales de Venezuela y Centro América, han reportado contenidos de Ca y Mg más elevados que los encontrados en este estudio (Cerdeira, 2008; López et al., 2007).

Para este suelo, al aplicar los tratamientos, los coeficientes de variación (CV) obtenidos variaron entre 2,60% y 15,62%, siendo aceptables que oscila entre 1% y 20% (Litte y Hills, 1989).

Cuadro 4. Niveles medios de pH y concentraciones de elementos disponibles en el suelo según tratamientos evaluados. Nuevo Paraíso, Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

Tratamientos	pH	N	CO	P	K	Ca	Mg
(Mg·ha ⁻¹)	1:2,5	%		mg·kg ⁻¹		cmol (+)kg ⁻¹	
	Medias						
0	5,20 ^c	0,03 ^c	0,40 ^c	28,33 ^d	0,12 ^b	17,63 ^a	6,43 ^a
5	5,53 ^{bc}	0,10 ^b	1,10 ^b	30,67 ^d	0,14 ^{ab}	20,23 ^a	7,70 ^a
10	5,57 ^{bc}	0,11 ^{ab}	1,29 ^{ab}	67,33 ^c	0,17 ^{ab}	18,93 ^a	7,53 ^a
15	5,93 ^{ab}	0,13 ^{ab}	1,69 ^a	137,0 ^b	0,20 ^{ab}	19,40 ^a	7,63 ^a
20	6,17 ^a	0,15 ^a	1,70 ^a	192,67 ^a	0,23 ^a	23,63 ^a	7,27 ^a
% CV	2,41	13,14	16,60	10,94	25,77	16,28	11,26
DMS	0,417	0,034	0,413	29,482	0,112	8,796	2,349

En los cuadrados medios (ns= no significativo); doble asterisco (**) = altamente significativo P<0,001; un asterisco (*) = significativo P<0,05. En las medias, letras iguales no presentan significancias con Tukey P<0,05.

Al realizar el análisis de regresión en el índice del pH, se observó que a media que se aumenta la dosis, aumenta el valor del mismo. La materia orgánica afecta la reacción de pH, por ende, el grado de acidez y las bases de cambio (Aguilera, 2000).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las concentraciones debido al alto contenido de bases (K, Ca y Mg) y de su formación geológica (ANAM, 2010); el índice de pH es una variable que puede influir en la disponibilidad de los elementos nutritivos para un cultivo. Tal como comentaron Anda et al. (2013), la productividad del cacao se incrementa cuando aumenta el pH; (Basak y Biswa, 2016), al aumentar el pH aumenta la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, al igual que el contenido de bases; lo cual ayuda al aporte o liberación de los nutrimentos retenidos en el suelo (Figura 1).

El contenido del % CO (Figura 2), al aplicar los tratamientos con abono orgánico. Se puede apreciar que a partir del tratamiento de 15 Mg·ha⁻¹, la curva se mantiene constante; encontrando su mayor valor de 1,50%. Esto puede ayudar a incrementar la absorción de nutrimentos debido a la disponibilidad de cada uno de ellos; Benzing (2001), explicó que el cultivo de cacao orgánico, requiere de una conservación o incremento de la materia orgánica convertida a CO, lo cual soluciona algunos problemas de fertilidad, retención adecuada de agua de lluvia y una buena circulación del aire del suelo.

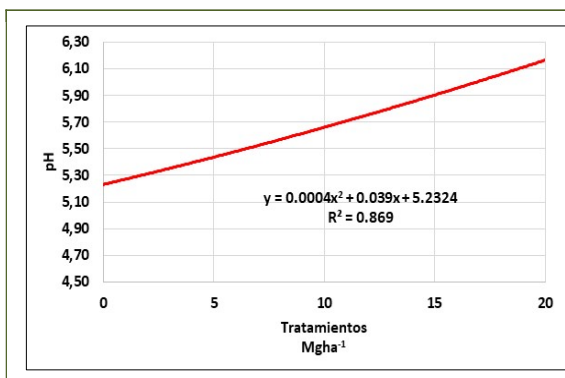


Figura 1. Efecto de la dosis de abono orgánico aplicado al suelo, en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre el pH. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

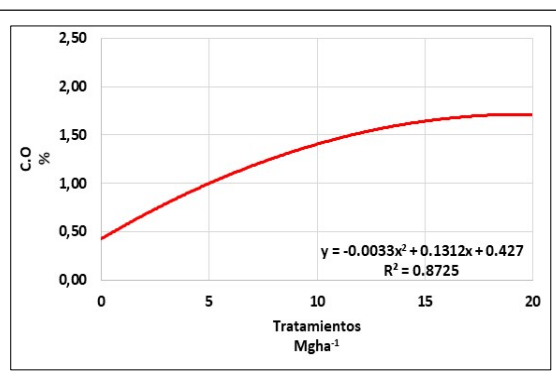


Figura 2. Efecto de dosis de abono orgánico aplicado al suelo en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre los niveles de CO en el suelo. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

La disponibilidad que presenta el N total del suelo (Figura 3), indica a partir del tratamiento de 15 Mg·ha⁻¹ la curva permanece constante. El fertilizante orgánico aplicado,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ayudó a aumentar el contenido de N total en el suelo, debido al enriquecimiento del carbono orgánico generado por medio de organismos descomponedores de la materia orgánica, que al mineralizarse aportan nutrientes de fácil adsorción para el cultivo, lo que coincide con Flavel y Murphy (2006), que concluyeron que todos los abonos liberan N mineral, para garantizar una reducción en la aplicación en la dosis de este elemento. Los contenidos de nitrógeno en suelos tropicales varían de 0,02% a 0,40%, según Bertsch (1995); coincidiendo con el rango de valores encontrados en este experimento.

A medida que incrementa la dosis de abono orgánico al suelo por medio de los tratamientos, se incrementa la disponibilidad del P (Figura 4). Anikwe et al., 2016, encontraron incrementos en la disponibilidad del P en suelos oxisoles, con aplicaciones de 5 Mg·ha⁻¹ de cal agrícola, este aumento del P favoreció la producción de biomasa en el cultivo de cacao (Rodríguez et al., 2003). Por otra parte, al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, aumentan los contenidos de fosfatos orgánicos; esto está ligado al pH del suelo, ya que influye en la mineralización del material orgánico. Además, Havlin et al. (2005), comentaron que los extractos de humus del suelo contribuyen a aumentar la solubilidad del P.

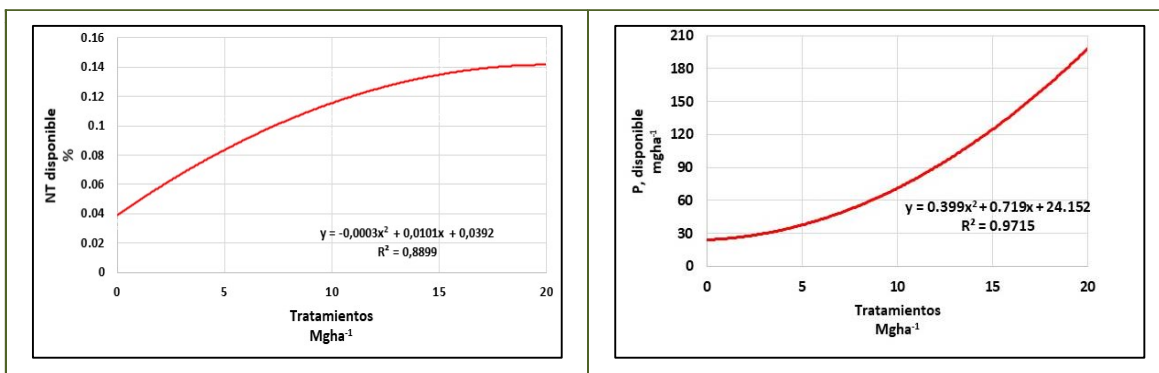


Figura 3. Efecto de la dosis de abono orgánico aplicado al suelo en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre el NT disponible en el suelo. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

Figura 4. Efecto de la dosis de abono orgánico aplicado al suelo en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre el P disponible en el suelo. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La aplicación de fertilizante orgánico, aumenta la disponibilidad de K en el suelo a medida que se incrementa la dosis aplicada (Figura 5). Las deficiencias nutricionales de este elemento podrían afectar al cultivo del cacao con la enfermedad de la Monilia (*Moniliophthora roreri*) (Tuesta et al., 2017).

Los elementos Ca y Mg (Figura 6 y 7), presentaron sus mayores disponibilidades con los tratamientos de 15 Mg·ha⁻¹ a 20 Mg·ha⁻¹. Las concentraciones encontradas para estos elementos estuvieron por encima de los niveles críticos, coincidiendo con (Villalaz-Pérez et al., 2021). Leiva (2012) comentó que existe una relación entre los parámetros de fertilidad de pH y calcio disponible en el cacao. Además de ser un cultivo bastante demandante en lo que respecta a la fertilidad del suelo, y depende de muchos factores entre ellos está el material genético.

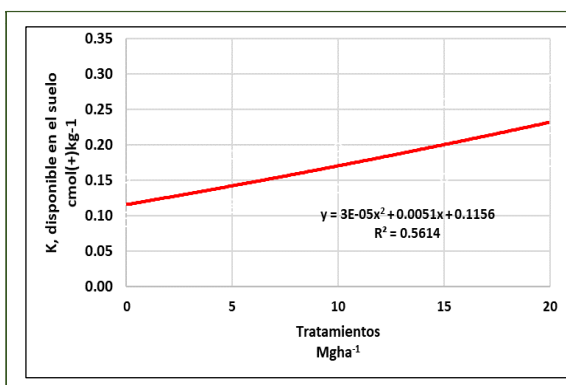


Figura 5. Efecto de la dosis de abono orgánico aplicado al suelo en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre el K disponible en el suelo. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

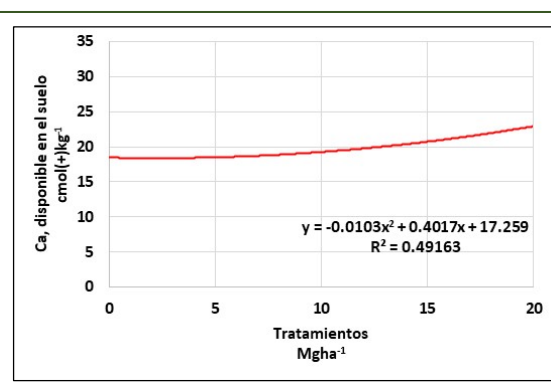


Figura 6. Efecto de la dosis de abono orgánico aplicado al suelo en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la disponible del Ca en el suelo. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

Con relación a la nutrición, se observa en las concentraciones de los niveles medios de nutrimentos del tejido foliar (Cuadro 5), que para el N, K y Mg; los tratamientos presentaron alta diferencia ($P < 0,05$) al realizar el análisis de varianza; contrario a las variables de P y Ca, para los cuales no se observaron diferencias en sus tratamientos al aplicar fertilizantes orgánicos.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

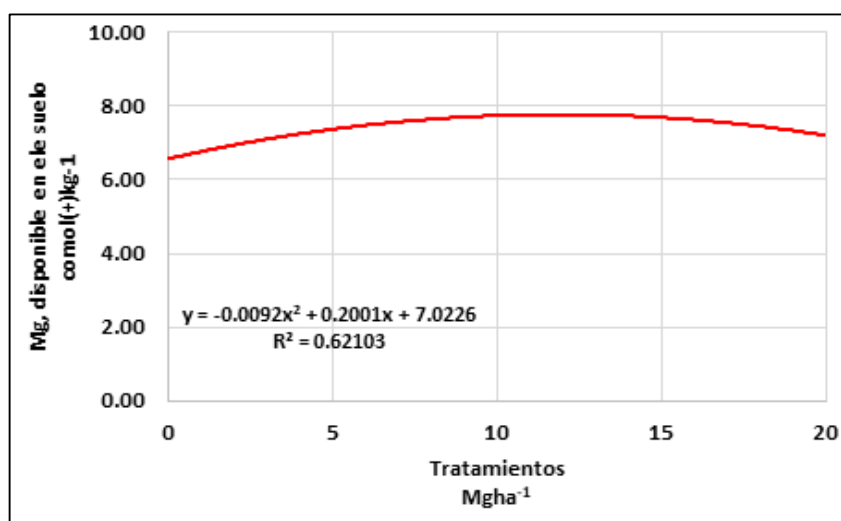


Figura 7. Magnesio disponible en el suelo al aplicar abono orgánico en diferentes dosis, en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad. Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2017-2018.

Cuadro 5. Niveles medios de concentración de elementos absorbidos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), en las hojas de árboles de cacao con tres años de edad. Nuevo Paraíso, Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2016-2017.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$				
Medias					
0	105,4 ^c	12,49 ^a	72,95 ^c	17,88 ^a	33,41 ^d
5	114,96 ^b	14,76 ^a	114,39 ^{abc}	17,88 ^a	37,11 ^{cd}
10	117,51 ^{ab}	14,19 ^a	156,69 ^{ab}	20,16 ^a	38,57 ^{bc}
15	122,34 ^{ab}	14,19 ^a	164,35 ^a	21,29 ^a	48,58 ^a
20	124,33 ^a	16,18 ^a	103,61 ^{bc}	21,49 ^a	41,37 ^b
CV%	2,47	19,00	18,24	14,04	3,71
DMS	7,75	7,33	60,00	7,45	3,97

Nota: En los cuadrados medios (ns= no estadísticamente significativa); doble asterisco (**) = altamente significativo $P<0,001$; un asterisco (*) = significativo $P<0,05$. En las medias, letras iguales no presentan diferencia significancias con Tukey $P<0,05$.

Comparando, las concentraciones de nutrimentos absorbidos para N, P, K, Ca y Mg ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) en el cacao clon CCN-51 cultivado orgánicamente (Cuadro 6), en suelos de orden Inceptisoles (Villalaz-Pérez et al., 2021), con los encontrados por Mills y Jones (1996);



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abreu-Junior (1996); Malavolta et al., (1997). Se observa en las concentraciones de N, que las medias de los tratamientos evaluados presentan valores por debajo de los niveles propuestos por Abreu-Junior, 1996; Sodré et al., 2012; Puentes et al., 2016; para el P, en el tratamiento de 20 Mg·ha⁻¹, su media se encuentra dentro de los niveles recomendados (Mills y Jones, 1996; Malavolta et al., 1997).

Por otro lado, las concentraciones medias de K se encuentran dentro de las sealadas por Malavolta et al., 1997; Sodré et al., 2012; Puentes et al., 2016. Para el Ca, se encontró sus niveles bajos en comparación con Malavolta et al., 1997; Sodré et al., 2012; Puentes et al., 2016. Por otro lado, los niveles medios encontradas para el Mg coinciden con lo propuesto por Mills y Jones, (1996).

Cuadro 6. Niveles medios de concentraciones de nutrimentos absorbidos en hojas, comparadas con diferentes autores. Nuevo Paraíso, Almirante, Bocas del Toro, República de Panamá. 2016-2017.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
Mg·ha ⁻¹	g·kg ⁻¹				
0	12,6 - 13,6 (13,2)	1,1 - 1,8 (1,5)	7,4 - 10,4 (8,6)	1,8 - 2,4 (2,1)	3,6 - 4,2 (3,9)
5	12,8 - 14,0 (13,5)	1,4 - 1,9 (1,7)	10,5 - 17,7 (13,4)	1,8 - 2,3 (2,1)	4,3 - 4,4 (4,4)
10	13,7 - 13,9 (13,8)	1,5 - 1,8 (1,7)	14,1 - 21,8 (18,4)	2,3 - 2,4 (2,4)	4,4 - 4,6 (4,5)
15	13,7 - 14,6 (14,4)	1,3 - 2,1 (1,7)	19,0 - 19,5 (19,3)	2,1 - 2,9 (2,5)	4,5 - 5,7 (5,3)
20	14,3 - 14,9 (14,6)	1,5 - 2,1 (1,9)	11,3 - 13,8 (12,2)	2,0 - 2,8 (2,5)	4,6 - 5,0 (4,8)
Autor (1)	20,0 - 25,0	1,8	13,0 - 22,0	4,0	4,5
Autor (2)	17,7 - 21,9	0,9 - 1,2	3,8 - 12,5	17,7 - 22,2	6,4 - 9,0
Autor (3)	19,0 - 23,0	1,5 - 1,8	17,0 - 20,0	9,0 - 12,0	4,0 - 7,0
Autor (4)	23,4 - 24,0	2,1 - 2,2	16,5 - 17,1	8,3 - 9,0	4,3 - 4,5
Autor (5)	16,1 - 18,3	1,2 - 1,9	9,1 - 12,7	16,9 - 24,5	4,4 - 7,1

Nota: Autores: (1) Mills and Jones (1996), (2) Abreu-Junior (1996); (3) Malavolta et al., (1997); (4) Sodré et al., (2012); (5) Puentes et al., (2016).

Para el N en el tejido foliar (Figura 8), las mayores concentraciones se obtuvieron con 15 Mg·ha⁻¹ y 20 Mg·ha⁻¹, con valores de 122 kg·ha⁻¹, 34 kg·ha⁻¹ y 124,33 kg·ha⁻¹, respectivamente. Sáenz (1990), explicó que el requerimiento nutricional para esta variable



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

en estado de planta de crecimiento se encuentra en $136 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, (8% de diferencia) con respecto al tratamiento más alto. Esto pudo deberse a que la disponibilidad de este elemento para este cultivo fue baja.

Por otro lado, en la concentración de P (Figura 9), el tratamiento de $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y un contenido de $16,18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, fue el de mayor concentración, encontrando un nivel de acuerdo a la edad del árbol. Sáenz (1990), reporta un requerimiento nutricional de $14 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para una edad de dos años y medio.

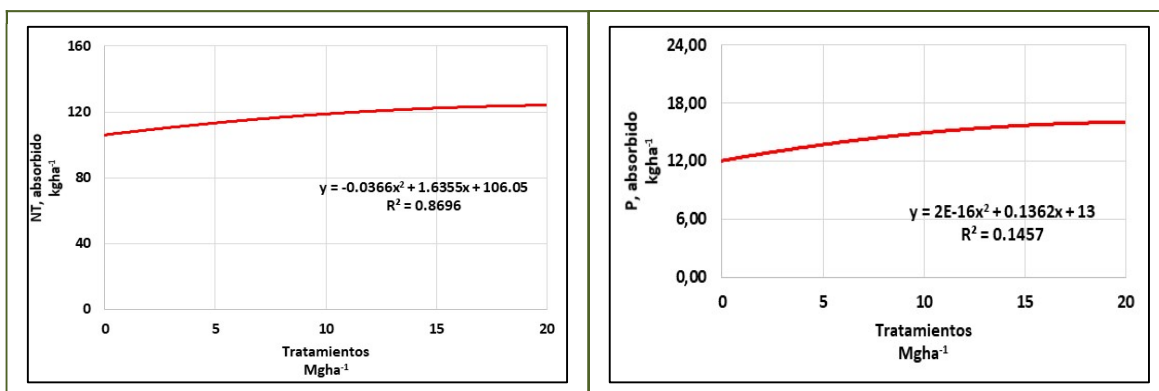


Figura 8. Influencia de la dosis de abono orgánico aplicada en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la absorción de N por la planta. Almirante, Bocas. 2017-2018.

Figura 9. Influencia de la dosis de abono orgánico aplicada en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la absorción de P por la planta. Almirante, Bocas. 2017-2018.

El K absorbido (Figura 10), con el mayor tratamiento fue $15 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $164,35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de requerimiento nutricional para cacao de tres años de edad. Sáenz (1990), señala que el valor de requerimiento para edad de cacao de dos años y medio es de $151 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El K es un elemento que necesario en el metabolismo, por ende, es fundamental en la etapa vegetativa y reproductiva (López et al., 2015).

Las concentraciones nutricionales de Ca y Mg (Figuras 11 y 12), se encuentran en $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $15 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, con valores de $21,49 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $48,58 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente; el valor de Ca en el tratamiento de $15 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y concentración de $21,29 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, presenta valores similares al tratamiento de $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Muchos de los suelos



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

aluviales altos en Ca y Mg presentan deficiencia de K, principalmente por desbalance con estos nutrientes (Bertsch, 1995). Por el otro lado, Avila (2014), menciona que la aplicación de los fertilizantes en el cultivo de cacao, debe efectuarse en base al análisis de suelo y follaje.

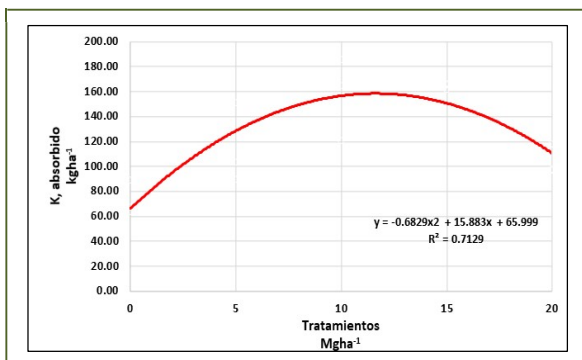


Figura 10. Influencia de la dosis de abono orgánico aplicada en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la absorción de K por la planta. Almirante, Bocas. 2017-2018.

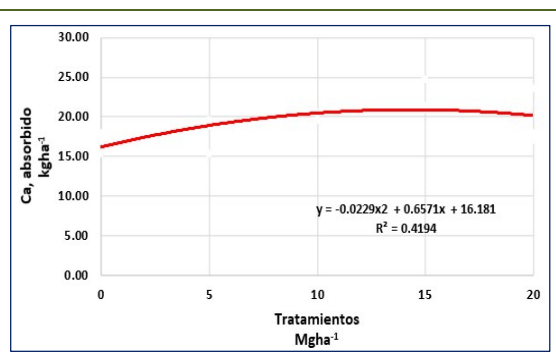


Figura 11. Influencia de la dosis de abono orgánico aplicada en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la absorción de Ca por la planta. Almirante, Bocas. 2017-2018.

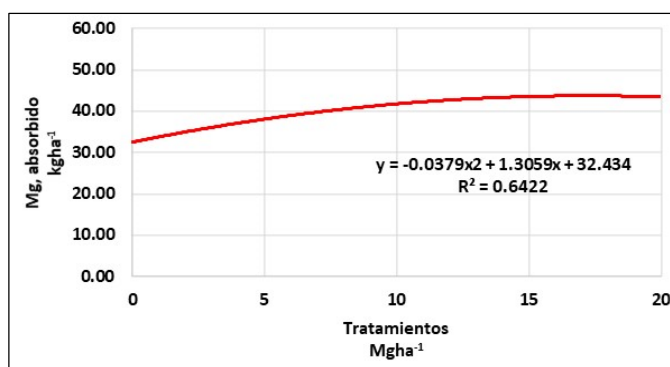


Figura 12. Influencia de la dosis de abono orgánico aplicada en una plantación de cacao clon CCN-51 de tres años de edad, sobre la absorción de Mg por la planta. Almirante, Bocas. 2017-2018.

CONCLUSIONES

- Para el clon de cacao CCN-51, cultivado orgánicamente la mejor dosis que puede utilizarse como dosis aproximada de nutriente para edades de tres años, se encuentran



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

entre 15 Mg·ha⁻¹ y 20 Mg·ha⁻¹ media de (17,5 Mg·ha⁻¹) de abono orgánico con características de suelos y abono presentadas en este artículo.

- La formulación final es 123 kg N·ha⁻¹; 13 a 16 kg P₂O₅·ha⁻¹; 165 kg K₂O·ha⁻¹; 18 a 22 kg CaO·ha⁻¹; 49 kg MgO·ha⁻¹.
- La fertilización orgánica se debe efectuar una vez al año, ya que el fertilizante debe estar completamente mineralizado y es cuando los microorganismos han hecho disponibles los nutrimentos agregados en el abono.

RECOMENDACIÓN

Se debe realizar investigaciones para otras variedades, en los mismos suelos con orden taxonómicas y características del fertilizante orgánico similar.

REFERENCIAS

- Abreu-Junior, C. H. (1996). *Foliar nutrient concentration and rations in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches' broom disease*. R. Costa, editor, International Conference on Cacao Research. Cocoa Producer's Alliance. CEPLAC/ CEPEC. Atas, Lagos, NGR. (pp. 773-780).
- Abreu Cruz, E., Araujo Camacho, E., Rodríguez Jiménez, S. L., Valdivia Ávila, A. L., Fuentes Alfonso, L., y Pérez Hernández, Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annum*. *Revista Centro Agrícola*, 45(01), 52-61. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n1/cag071118.pdf>
- Agostini, M^a. D. L. A., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., y Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo*, 32(2): 171-176. http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_32n2/pag.%20171-176.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Aguilera, S. M. (2000). *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos*. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. (pp. 77-85). <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>

Autoridad Nacional del Ambiente. (2010). *Atlas Ambiental de la República de Panamá*. ANAM, PAN. <http://hdl.handle.net/1834/7995>

Anda, M., Shamsuddin, J., y Fauziah, C. I. (2013). Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Soil and Tillage Research*, 132: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.005>

Asociación Nacional de Exportadores de Cacao. 2015. *Historia del Cacao* ANECACAO, ECU. <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>

Anikwe, M. A., Eze, J. C., y Ibudialo, A. N. (2016). Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. *Soil Tillage Res.* 158:32-38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.011>

Ansorena, J; Batalla E. y Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos.

Arvelo Sánchez, M.A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., y Montoya Rodríguez, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, C.R.: IICA. 165p. ISBN: 978-92-9248-732-4. <https://pdfslide.net/documents/manual-tecnico-del-cultivo-de-cacao-practicas-latinoa-manual-tecnico-del.html>

Basak, B. B., y Biswas, D. R. (2016). Potentiality of Indian rock phosphate as liming material in acid soil. *Geoderma*, 263:104-109. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.016>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Benzing, A. (2001). *Agricultura Orgánica: Fundamentos para la región andina*. Villingen-Schwenningen, Alemania, Neckar-Verlag. 682 p. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000300014>
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bremner, J. M., y Mulvaney, S. C. (1982). Nitrogen total. En A. L. Page, R. H. Miller, y D. R. Keeney (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron.*, no. 9: 595-624.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis de soils. *Agrom. Jor.*, 54:464-465. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>
- Carvalho, M., Machado, R. C., Ahnert, D., Sodr e, G.A., y do-Sacramento, C.K. (2013). Avalia o da composi o e distribui o mineral em componentes foliares de paric  (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). *Agrotropica*, 25(1):53-60.
- Cerda, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. [Tesis MSc., CATIE, Turrialba, CRI]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1822e/A1822e.pdf>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro Transferencia InoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz, R., y Hunter, A. (1978). *Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p. <http://hdl.handle.net/11554/3115>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Durán, L., y Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agron. Costarricense*, 31(1):41-51. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43631105.pdf>
- Etchevers, B. J. D. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoam.* 17:209-219. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317305>
- Flavel, T. C., y Murphy, D. V. (2006). Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *J. Environ. Qual.*, 35:183-194.
- García, A. (1993). *Sintomatología de las deficiencias nutricionales de las deficiencias en cacao*. Boletín Técnico. ICA, COL.
- Gutiérrez, A. (2020). Caracterización Morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L. *Ciencia Agropecuaria*, no. 30:150-169. <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/134/98>
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., y Nelson, W. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management (7th Edition)*. Pearson Prentice Hall Publishers, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Henríquez, C., y Cabalceta, G. (1999). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. ACCS, CRI. Costa Rica 112 p. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4869/1/20061024162729_manual%20capacitacion%20agroforesteria.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá. (2011). Séptimo Censo Nacional Agropecuario. Contraloría General de la República de Panamá, PAN. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=481&ID_CATEGORIA=15&ID_SUBCATEGORIA=60



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. (2007). *Atlas Nacional de la República de Panamá*. Editora Novo Art., Bogotá, COL.

Köppen, W. (1936). Das Geographische System der Klimate en Handbuch der Klimatologie, R, Geiger. Berlín, Borntraeger, t. I, fasc. C, 44 p.

Leiva, E. I., y Ramírez, R. (2012). *Captura de Carbono en Agroecosistemas con Cacao Theobroma cacao L.* XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.

Littele, T., y Hills, F. (1989). *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. 2 ed. México, México. Editorial Trillas. 270 p.

<https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941EXPERIMENTACION.pdf>

López, M., López, I., España, M., Izquierdo, A., y Herrera, L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agron. Trop.*, 57(1):31-43. <http://hdl.handle.net/11554/6110>

López, P., Ramírez, M., y Mendoza, A. (2011). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur – sureste de México: Trópico húmedo. <http://cadenacacaoca.info/estudios-cacao/CEDOC/ficha.php?id=1582>

López, O., Ramírez, S. I., Espinosa, S., Moreno, J. L., Ruiz, C., Villarreal, J. M., y Ruiz, L. (2015). *Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao*. Universidad Autónoma de Chiapas, MEX. https://espacioimasd.unach.mx/libro/num7/Manejo_agroecologico_de_la_nutricion_en_el_cultivo_del_cacao.pdf

López-Lefebre, L., Rivero, R. M., García, P. C., Sánchez, E., Ruiz, J. M., y Romero, L. (2002). Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J. Plant Nutr.* 25:509-522. <https://doi.org/10.1081/PLN-120003379>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Malavolta, E., Vitti, G. C., y De Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Principios e aplicações. 2a edição. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, BRA.

Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Ed. Academic Press, NY, USA. <https://books.google.com.pa/books?hl=es&lr=&id=yqKV3USG41cC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Marschner,+H.+1995.+Mineral+nutrition+of+higher+plants.+2nd+Ed.+Academic+Press,+NY,+USA.&ots=Vc3FW5zYEi&sig=5qCFmJf8OB9Li68xALr94n0Kv98#v=onepage&q=Marschner%2C%20H.%201995.%20Mineral%20nutrition%20of%20higher%20plants.%202nd%20Ed.%20Academic%20Press%2C%20NY%2C%20USA.&f=false>

Mikkelsen, R. (2008). Managing potassium for organic crop production. *Hort Technology*, 92(2):26-29. <https://ucanr.edu/sites/nm/files/76654.pdf>

Mills, H. A., y Jones, B. J. (1996). *Plant analysis*. Handbook II. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia 30607 USA. 422 p.

Name, B. (1987). *Metodología para la evaluación de la fertilidad de suelos*. IDIAP, Panamá, PAN.

Name, B; y Villarreal, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Estudios de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. IDIAP. 229 p.

Navia, J. F., Restrepo, J. M., Villada, D. E., y Ojeda, P. A. 2003. *Agroforestería: opción tecnológica para el manejo de suelos en zonas de ladera*. Manual de capacitación. Agronet, COL. <http://hdl.handle.net/11348/4869>

Puentes, P. Y. J., Menjivar, J. C., y Aranzazu, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (2), 329-336. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43745945011.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Ramtahal, G., Yen, I. C., Hamid, A., Bekele, I., Bekele, F., Maharaj, K., y Harrynanan, L. (2018). The Effect of Liming on the Availability of Cadmium in Soils and Its Uptake in Cacao (*Theobroma cacao* L.) In Trinidad & Tobago. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1510955>
- Rodríguez, A., Guedes-de-Carvalho, J., y Melo, P. C. (2003). Efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudas do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum). *Cerne*, 9:221-230. <https://www.redalyc.org/pdf/744/74409209.pdf>
- Rodríguez, M., y Flórez, V. (2004). *Elementos esenciales y beneficios*. En CYTED, editor, Ferti-riego: tecnologías y programación en agroplasticultura. CYTED, ESP. pp. 25-36. <http://hdl.handle.net/10835/3133>
- Romero, H. (2016). Evaluación ecomorfológica de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometido a distintas fertilizaciones, en la comunidad de nuevo Ojital, municipio de Papantla, Veracruz. [Tesis, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47417/RomeroHernandezEsteban.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Sáenz, C. (1990). *El cultivo del cacao*. Federación Nacional de Cafeteros, Cali, COL.
- Sodré, G. A., Lima Marrocos, P. C., Rodríguez Moraes, R.R., y Valle, R. R. M. (2012). Estado nutricional e transporte de nutrientes em mudas enxertadas de cacauero. *Agrotropica*, Itabuna, 24(2):72–78. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-agrotropica/artigos/2012-DOI-10.21757/0103-3816-2012v24n2p73-78.pdf>
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal. Vol. 10. Universitat Jaume I., ESP. https://books.google.com.pa/books?hl=es&lr=&id=7QIbYg-OC5AC&oi=fnd&pg=PR50&dq=Taiz,+L.,+y+E.+Zeiger.+2006.+Fisiolog%C3%ADa+vegetal.+Vol.+10.+Universitat+Jaume+I.,+ESP.&ots=nknL_Y2Byf&sig=iZWuVJ-b6FI0WLY7J_pInVRCfns#v=onepage&q=Taiz%2C%20L.%2C%20y%20E.%20Zeiger.%202006



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[6.%20Fisiolog%C3%ADa%20vegetal.%20Vol.%2010.%20Universitat%20Jaume%20I.%2C%20ESP.&f=false](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x)

Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Juhbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., y Wanger, T.C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes—a review. *J. App. Ecol.* 48:619-629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x>

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., y Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análisis de solo. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194786/1/Pt-5-Cap-1-Micromorfologia-do-solo.pdf>

Tuesta, P. A., Trigozo, B. E., Cayotopa, T.J., Arévalo, G. E. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma endófito* y *Micorrizas arbusculares*. *Tecnología en Marcha*, (30-1): 67-78. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086>

USDA. (1999). Guía para la evaluación para la calidad y salud del suelo. USDA, USA. Recuperado 20 Septiembre, 2019. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf

United States Environment Protection Agency. (2004). *Monitoring arsenic in the environment: A review of science and technologies for field measurements and sensors*. EPA542/R-04/002. National Service Centre for Environment Publications (NSCEP). Office of solid waste and emergency response. U.S. Environment Protection Agency, Washington, D.C. 20460. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1000EOV.PDF?Dockey=P1000EOV.PDF>

Villalaz-Pérez, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., Santo-Pineda, A., Gutiérrez, A., y Ramos-Zachrisson, I. A. (2021). Caracterización pedogenética de los suelos dedicados al



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

cultivo de cacao, Almirante, Bocas del Toro, Panamá. *Ciencias Agropecuaria*, no. 31: 37-58.

Villarreal, J., y Name, B. (1996). *Técnicas analíticas del laboratorio de suelos*. IDIAP-Divisa, PAN.

Walkley, A., y Black, I. A. (1934). An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)