

Nota técnica

PRODUCCIÓN DE HOJARASCA Y SU APORTE DE NUTRIENTES EN CACAO BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE FERTILIZACIÓN, RIONEGRO-SANTANDER*

Jairo Rojas-Molina^{1/**}, Leidy Ortiz-Cabralez², Laura Escobar-Pachajoa³,
Mervin Rojas-Buitrago⁴, Yeirme Jaimes-Suarez⁵

Palabras clave: Cacao; época del año; fertilización; nutrientes; producción de biomasa.

Keywords: Cocoa; season; fertilization; nutrients; biomass production.

Recibido: 03/07/2020

Aceptado: 20/08/2020

RESUMEN


Introducción. El sistema productivo cacaotero contribuye con la sustentabilidad del manejo de suelos a través del reciclaje de nutrientes, junto con la producción de hojarasca. **Objetivo.** Estimar el aporte de biomasa y nutrientes en plantaciones de cacao bajo efectos de fertilización química y orgánica. **Materiales y métodos.** En el SAF con cacao-CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) asociado a matarratón (*Gliricidia sepium* L.) en Rionegro (Santander), se evaluó el efecto de 4 fuentes de fertilización sobre la producción de hojarasca (kg.ha⁻¹ MS) y el aporte de nutrientes esenciales N, P, K, Ca, Mg (kg.ha⁻¹). Se empleó un diseño de bloques completos al azar

ABSTRACT

Litter production and nutrient contribution in cocoa under different fertilization schemes, Rionegro-Santander. **Introduction.** The cocoa production system contributes to the sustainability of soil management, through the recycling of nutrients along with leaf litter production. **Objective.** To estimate the contribution of biomass and nutrients in cocoa plantations under the effects of chemical and organic fertilization. **Materials and methods.** In SAF with cocoa-CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) associated to matarratón (*Gliricidia sepium* L.) in Rionegro (Santander), it was evaluated the effect of 4 fertilization sources

* Este trabajo formó parte del proyecto “Esquemas de fertilización orgánica y convencional para la producción del sistema productivo cacao (*Theobroma cacao*) y sus efectos sobre la producción y calidad del grano en las principales regiones productoras”, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). Municipio de Rionegro, departamento Santander, Colombia.

** Autor para correspondencia. Correo electrónico: rojas@agrosavia.co

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Santander, Colombia.
 0000-0003-3929-9487.


2 Instituto Universitario de la Paz-Unipaz, Facultad de Ingeniería Agronómica, Centro de Investigaciones Santa Lucía, Santander, Colombia.

 0000-0002-1347-7516.


3 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Santander, Colombia.

 0000-0002-9825-461x.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Santander, Colombia.

 0000-0002-1903-8557.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Santander, Colombia.

 0000-0002-7942-0598.

con 3 repeticiones, con los siguientes tratamientos: T1-Convencional, T2-Químico, T3-Ecocacao y T4-Orgánico+químico. La fertilización se realizó durante 3 años. El aporte de hojarasca y nutrientes se evaluó durante el último año (2012), mediante trampas colectoras muestreadas mensualmente y analizadas en 2 épocas del año: bajas precipitaciones (BP: enero-febrero) y altas precipitaciones (AP: julio-diciembre). El aporte de nutrientes se calculó mediante el contenido de N, P, K, Ca, Mg determinado en laboratorio a partir de la hojarasca recolectada. **Resultados.** Los mayores aportes de hojarasca se presentaron en época de altas precipitaciones para el T3-ecocacao y T2-químico con 567,2 y 541,33 kg.ha⁻¹ MS, respectivamente. La variación estacional por época del año tuvo efecto significativo sobre el aporte de P, K, Ca y Mg presente en hojarasca de cacao. Se observó que en el 80% de los casos el mayor aporte de nutrientes fue en época de BP. El T3-ecocacao se destacó por su aporte de los nutrientes N, Ca y Mg (8,11-7,74 y 1,02 kg.ha⁻¹. año⁻¹, respectivamente). **Conclusión.** En Rionegro-Santander el mayor aporte de hojarasca lo realizó el T3-Ecocacao con 992,11 kg.ha⁻¹.año⁻¹ MS que representó un valor monetario (como equivalente en fertilizante comercial) superior al 70% con respecto a T1-convencional.

INTRODUCCIÓN

El cacao, en Colombia, se convirtió en un cultivo estratégico por su potencial productivo en el marco del desarrollo sostenible. Este cultivo se identifica como una de las prioridades dentro del crecimiento agrícola del país, por suplir la demanda del mercado nacional e internacional, gracias al reconocimiento por la calidad de grano (Contreras 2017, MADS 2018). Dentro de las zonas productoras, Santander es el mayor

on the production of leaf litter (kg.ha⁻¹ MS) and contribution of essential nutrients N, P, K, Ca, Mg (kg.ha⁻¹). A complete randomized block design with 3 repetitions was used with these treatments: T1-Conventional, T2-Chemical, T3-Ecocacao and T4-Organic+Chemical. Fertilization was carried out during 3 years. The contribution of leaf litter and nutrients was evaluated the last year (2012), through collecting traps sampled monthly and analyzed in 2 times of the year: low rainfall (BP: January-February) and high rainfall (AP: July-December). The contribution of nutrients was calculated through the content of N, P, K, Ca, Mg determined in the laboratory with the leaf litter production per ha. **Results.** The highest contribution of leaf litter was occurred in the period of high rainfall for the treatments T3-Ecocacao and T2-Chemical with 567,2 and 541,33 kg.ha⁻¹. MS, respectively. The seasonal variation by time of year had influenced significantly the contribution of N, P, K, Ca and Mg present in cocoa leaf litter. It was observed that in 80% of the cases a greater contribution of nutrients occurred in B.P season. The T3-ecocacao stood out for its contribution of N, Ca and Mg nutrients (8,11-7,74 and 1,02 kg.ha⁻¹. year⁻¹ respectively). **Conclusion.** In Rionegro-Santander, the greatest contribution of leaf litter was carried out by the T3-Ecocacao with 992.11 kg.ha⁻¹.year⁻¹ MS, that represented a 70% higher monetary value (in terms of commercial fertilizer cost) with respect to T1-conventional.

productor de cacao en Colombia. Las plantaciones se concentran principalmente en zonas de ladera y presentan baja productividad asociada a la degradación y baja fertilidad del suelo. Según lo anterior, se requieren prácticas de manejo que contribuyan a la protección, a la recuperación del suelo de las plantaciones con cacao y a su vez, a la sustentabilidad del cultivo (López *et al.* 2007, Pabón *et al.* 2016).

Con la fertilización se proveen los nutrientes poco o no disponibles, en la cantidad

apropiada en el suelo, durante el ciclo de crecimiento y desarrollo de la plantación. Convencionalmente, se utilizan fertilizantes de síntesis química, aunque su aplicación continua y elevada no se considera económica ni ambientalmente sostenible. Así, la inclusión del manejo orgánico se convierte en una alternativa que permite conservar, restaurar y mejorar el recurso suelo (Farfán e Hincapié 2011, Pérez 2014, Campos *et al.* 2015). En este contexto, en los nuevos sistemas productivos, se debe buscar mantener y estabilizar la producción en el tiempo, reducir la entrada de insumos externos y favorecer los ciclos de nutrientes que permitan el uso adecuado del suelo y la conservación de los recursos naturales (Gastón 2008, Paleologos *et al.* 2017).

El sistema de producción cacaotero contribuye con la sostenibilidad ambiental, con la protección y recuperación del suelo, a través del reciclaje de nutrientes en el sistema con la hojarasca generada, la cual mediante procesos de descomposición y mineralización constituye la principal fuente de elementos minerales para el suelo y posterior nutrición de las plantas. En los sistemas tropicales, la hojarasca deriva alrededor del 80% del total de los bioelementos que ingresan al mantillo (León 2003, Isaac y Nair 2006, Guzmán y Levy 2009, De Alcantara *et al.* 2014, López *et al.* 2015, Báez 2018).

Tradicionalmente, la evaluación de esquemas de fertilización, en cacao, se ha direccionado principalmente hacia la producción y calidad de fruto por representar el valor económico del cultivo (Álvarez *et al.* 2015, Samaniego y Quiñonez 2015, Tuesta *et al.* 2017, Rosas *et al.* 2015). Sin embargo, en el contexto de sostenibilidad ambiental, resulta de interés conocer el efecto de la fertilización no sólo sobre la producción de frutos, sino también, sobre la cantidad y calidad

de biomasa que aporta el cultivo a través de la hojarasca, ya que la caída y descomposición de ésta representa una vía biológica importante para la transferencia de elementos de las plantas al suelo mediante el reciclaje de nutrientes (Martínez y Leiva 2014). Es así como la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el aporte de biomasa y nutrientes en plantaciones de cacao bajo efectos de fertilización química y orgánica en el municipio de Rionegro, Santander.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y diseño del experimento.

El estudio se desarrolló en una finca cacaotera, ubicada geográficamente a 06°46'10" latitud norte y 73°05'03.1" latitud oeste a 600 msnm, en el municipio de Rionegro-Santander, Colombia, durante el 2012. En la zona se presentó una precipitación promedio anual de 1573 mm, humedad relativa media del 80% y temperatura anual de 21,6°C±2,5°C, con brillo solar de 1700 horas. Además, es importante destacar que los datos de precipitación mostraron mayor concentración de lluvia en el segundo semestre del año con 1135,84 mm, acompañada de menores temperaturas, con respecto al primer semestre que presentó 436,7 mm de precipitación con mayores temperaturas (Figura 1). La finca se encuentra en una zona reconocida como zona de vida Bosque húmedo Tropical (Bh-T), según la clasificación de Holdridge (2000), y como una zona agroecológica de Kv, caracterizada por presentar suelos aluviales, textura franco-arcillosa y textura franco-arenosa. Estos terrenos se distinguen por tener un relieve abrupto con pendientes superiores al 50%, características de la cordillera oriental de Colombia (ICA-IGAC 1985).

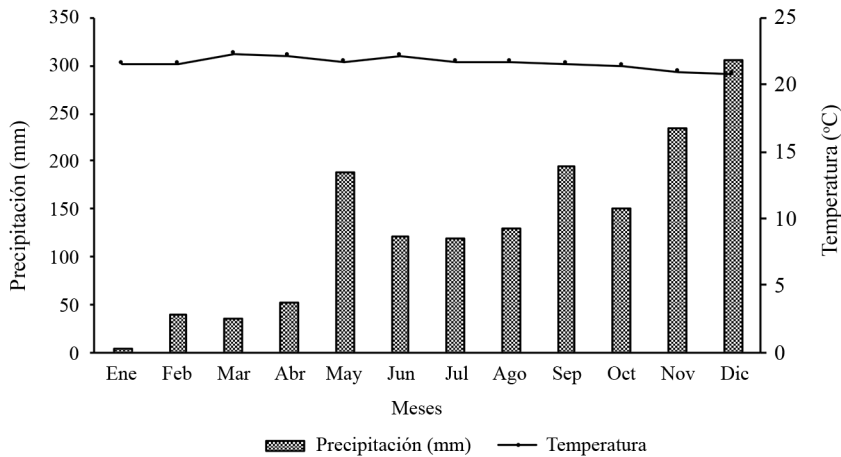


Figura 1. Distribución de precipitación y temperatura, estación climática aeropuerto Palonegro, Lebrija-Santander, Colombia, 2012.

La parcela se ubicó en una plantación de cacao (CCN51) con 8 años de edad, establecida a una distancia de siembra de 3x3 metros, asociada con la especie de sombrero matarratón (*Gliricidia sepium*). El manejo convencional realizado por las personas productoras, consistía en la aplicación de fertilizante sintético 15-15-15 en dosis de 100 g.planta⁻¹, el cual fue empleado como uno de los tratamientos en la investigación. Para la evaluación del efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el aporte de biomasa en hojarasca (kg.ha⁻¹ MS) y en nutrientes esenciales N, P, K, Ca, Mg (kg.ha⁻¹), se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 12 unidades

experimentales (Tabla 1), conformadas por parcelas de 324 m². Para evitar interferencias entre parcelas, se dejaron 3 surcos entre tratamientos y entre bloques.

La selección de los diferentes tratamientos se basó en el manejo que da la persona productora, en el análisis de suelos y en recomendaciones de manejo empleadas por empresas de producción orgánica. La aplicación de los diferentes tratamientos se inició en el 2009, por lo que se efectuó la aplicación de cal una vez al año en dosis de 1 kg.planta⁻¹ y 2 fertilizaciones cada 6 meses, de acuerdo con las dosis que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización en plantaciones de cacao CCN-51, finca cacaotera, Rionegro-Santander, Colombia, 2012.

Tratamiento	Fuente de fertilización	Dosis/planta
T1-convencional	Fertilizante triple 15-15-15	100 g
T2-químico	Urea, fosfato diamónico (DAP) y cloruro de potasio (KCl)	404 g (81 g urea + 39 g DAP + 284 g KCl)
T3-ecocacao	Compostaje preparado con cacota, vástago de plátano, aserrín descompuesto o bagazo de caña, estiércol de bovino, gallinaza, tierra, matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>), cal, roca fosfórica y sulfato de potasio humedecido con melaza disuelta en agua. Caldo súper cuatro: caldo microbial anaeróbico fermentado preparado a base de estiércol fresco de bovino, disuelto en agua y mezclado con leche, melaza y enriquecido con sales minerales a base de sulfatos de: K, Zn, Mg, Mn, Cu, B, Fe y S)	2 kg compostaje + 2 L caldo súper cuatro
T4-orgánico	Lombricompost + micorrizas	1,02 kg (1 kg lombricompost + 20 g micorrizas)

Variables evaluadas

Aporte de hojarasca. Para determinar el aporte de la hojarasca, se emplearon trampas colectoras (cajas de madera) con un área de captura rectangular de 0,5 m² (1 m x 0,5 m área interior) por 0,1 m de fondo, en la cual se colocó una malla de 1 mm²; elevadas a 0,20 m sobre el nivel del suelo, con 3 trampas por parcela (1,5 m² de muestreo), distribuidas aleatoriamente. Se realizaron recolecciones mensuales durante el año en que se realizó el estudio que se agrupó según época de bajas precipitaciones (BP: enero-junio) y altas precipitaciones (AP: julio-diciembre). El material vegetal colectado en cada trampa se almacenó en bolsas plásticas. Para obtener el valor de materia seca (MS), el componente vegetal se dispuso en bolsas de papel que se llevaron al laboratorio para someterlo a 65°C hasta alcanzar peso constante. Una vez obtenido el valor de gMS por muestra, los datos se proyectaron a kg.ha⁻¹ MS para lo cual se consideró el área que ocupaban las trampas de muestreo por tratamiento (1,5 m²), por medio de la siguiente fórmula (Báez 2018).

$$\text{kg.ha}^{-1} \text{ MS} = ((\text{g MS por muestra} * 10000) / 1.5) / 1000$$

Aporte de nutrientes. Para determinar la concentración de nutrientes en el material vegetal colectado se unieron y homogenizaron, las muestras de las 3 trampas para someterlas por proceso de trituración y tamizado en una malla de 1 mm². Se utilizaron 3 sub muestras para determinar el contenido de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el laboratorio de tejido vegetal del centro de investigación Tibaitatá (Agrosavia), por medio del método semimicro Kjeldahl para N, colorimetría (Molibdovandato de amonio) para P y espectrofotometría de absorción atómica (EAA) para K, Ca y Mg. De acuerdo con la biomasa aportada por la hojarasca y los contenidos de cada uno de los elementos obtenidos en laboratorio, se realizaron las estimaciones de aporte de cada uno de los elementos, expresados en kg.ha⁻¹.año⁻¹.

Análisis estadístico y económico. Los datos obtenidos, se analizaron mediante ANOVA y pruebas de comparación de medias de Duncan (p<0,05) para lo cual se consideró la interacción de 2 épocas del año y 4 tratamientos de fertilización (2 x 4), con la aplicación del software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2017). El estudio se acompañó de la metodología desarrollada por Rojas *et al.* (2017) para la evaluación económica según el aporte de nutrientes al suelo por parte

de la hojarasca de cacao en los diferentes tratamientos. Se consideró como base, el equivalente a los precios de los fertilizantes convencionales en el mercado, según a la disponibilidad como formulaciones comerciales simples o compuestas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aporte de biomasa. Al analizar el comportamiento de la producción de hojarasca por

época del año, se identificó una relación con la fuente de fertilización empleada, donde los tratamientos T2-químico y T3-ecocacao presentaron los mayores aportes de hojarasca en la segunda época del año (AP) con 541,33 kg.ha⁻¹ MS y 567,20 kg.ha⁻¹ MS, respectivamente. El tratamiento T1-convencional mostró los aportes más bajos de hojarasca, lo que representó ser estadísticamente diferente en la época de AP con respecto a T2 y T3 (Figura 2).

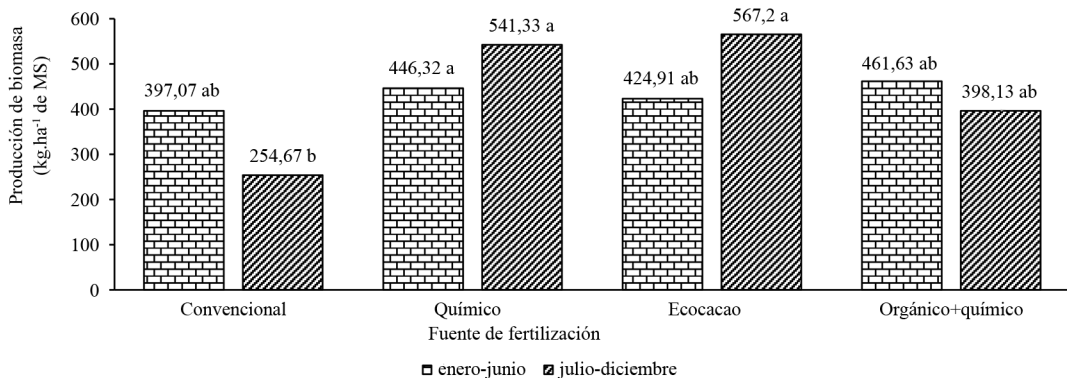


Figura 2. Aporte de hojarasca por épocas (kg.ha⁻¹ MS) y esquemas de fertilización en plantación de cacao CCN-51, finca cacaotera, Rionegro-Santander, Colombia, 2012. Medias con letras diferentes entre barras denotan diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

Un estudio realizado en la región de Ashanti, Ghana-África, Owusu-Sekyere *et al.* (2006), compararon la producción de hojarasca en plantaciones de cacao sin la asociación de otra especie arbórea, con respecto a bosque de uso primario y secundario donde reportaron producciones de 6900 kg.ha⁻¹.año⁻¹ y 7900 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente. Las personas autoras señalan que los mayores aportes de hojarasca ocurrieron en las épocas más secas del año (diciembre-febrero). En la misma región, Dawoe *et al.* (2009) reportaron un comportamiento similar al observar en plantaciones de cacao del bosque húmedo semi caducifolio, producciones de hojarasca de 4600, 6700 y 8400 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en plantaciones de 3, 15 y 30 años de edad, respectivamente, e identificaron

picos durante el periodo seco y reducción en la época de lluvias. En esta investigación, ese comportamiento se observó en T1-convencional y T4-orgánico+químico. Baéz (2018) en Rionegro-Santander, pues encontraron un mayor aporte de hojarasca en época de menor precipitación, asociado a la defoliación natural que presentan las especies que evaluaron, entre ellas el cacao al entrar en periodos de estrés hídrico.

Según lo anterior, se puede considerar que el T2-químico y el T3-ecocacao, suplieron en mayor medida los requerimientos nutricionales del cultivo en comparación con T4-químico+orgánico y T1-convencional, de manera que en periodos de BP cuando las plantas tienden a experimentar estrés hídrico, se encuentran más vigorosas, por lo cual su defoliación es mayor en época de AP

junto con el estado fenológico del cultivo que se encuentra en etapa productiva y de cosecha (Lutheran World Relief 2020). En esa etapa, el aprovechamiento de nutrientes se direcciona hacia la formación y maduración de frutos, por lo cual podría considerarse que la cantidad de hojas en el árbol empieza a reducirse e incrementa la hojarasca en el suelo.

En general, se pudo observar que con los tratamientos T2-químico, T3-ecocacao y T4-orgánico+químico, se obtuvo la mayor producción de hojarasca. Se conoce que el elemento nitrógeno (N) es un nutriente de vital importancia en el crecimiento vegetativo de las plantas, ya que se encontró una correlación entre la cantidad de nitrógeno suministrado y el área foliar, que tiene en cuenta la cantidad de hojas (Hernández 2002, Pérez 2017). En el T1-convencional, que presentó el menor valor en producción de hojarasca, se observó que la composición química (15-15-15) aportaba bajos niveles de N en los 100 g aplicados por planta (15%), mientras que el T2-químico aportaba una mayor concentración de N en los 81 g de urea por planta (46%). De igual manera, en el proceso de elaboración de T3-ecocacao, se emplearon fuentes altamente nitrogenadas como estiércol de bovino, gallinaza y matarratón (*Gliricidia sepium*), que podrían estar relacionadas con un aporte nutricional que estimuló la producción de hojarasca.

Diferentes estudios han reportado que la fertilización orgánica es una alternativa para el manejo agronómico del cultivo de cacao. Álvarez *et al.* (2015), concluyeron que los esquemas de manejo orgánico al igual que el manejo químico, favorecen el crecimiento y producción de plantaciones de cacao. De igual manera, Ormeño y Ovalle (2011), en la evaluación de diferentes abonos orgánicos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de cacao, encontraron que el té de estiércol al 20% fue el mejor tratamiento para el desarrollo de las plántulas de cacao y con un adecuado manejo de esquemas de fertilización se pueden obtener buenos rendimientos del cultivo, además del aporte de biomasa que ayuda a mejorar la calidad del suelo por medio

del reciclaje de nutrientes. Es reconocido que los abonos orgánicos aportan nutrientes y microorganismos que favorecen la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Soto y Meléndez 2003, Eghball *et al.* 2004).

En Quevedo, provincia de Los Ríos-Ecuador, se reportó un aporte anual de hojarasca en cacao de 2.404 kg.ha⁻¹.año⁻¹, con la variedad CCN-51 en una plantación de 5 años de edad sin sombrío (Ramírez *et al.* 2016). De igual manera, al realizar estimaciones del aporte de hojarasca en SAF con cacao en plantaciones de 35 y 55 años de edad en la zona de Ejido Miguel Hidalgo, Tabasco- México, fue reportado que las plantaciones de 35 años presentaron un mayor aporte con 2042 kg.ha⁻¹.año⁻¹, en contraste con las de 55 años con 1570 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (Pérez *et al.* 2017).

A nivel nacional, en la zona de Urabá-Colombia definida como bh-T, en plantaciones de cacao de 3 años de edad con los genotipos LK-40, FCH-8 y CCN-51, se registró un promedio de acumulación de hojarasca de 4020 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (Mera *et al.* 2017). Al comparar con el valor promedio encontrado en la presente investigación (872,81 kg.ha⁻¹.año⁻¹ MS), la diferencia identificada, podría estar asociada a diversos factores, entre ellos las condiciones edáficas y climatológicas (Bonilla *et al.* 2008, Caritat *et al.* 2006, Pavón *et al.* 2005), ya que la zona del Urabá presenta mayores valores en precipitación con 2980 mm, temperatura entre 21°C y 34°C y humedad relativa de 84%, lo cual pudo favorecer el desarrollo de biomasa aérea en el cultivo de cacao. Además, se deben considerar las características topográficas del terreno, ya que tienen un fuerte efecto en la disponibilidad de recursos para las plantas (Peña *et al.* 2012, Toledo *et al.* 2011) y la zona de estudio en Rionegro-Santander, a diferencia de Urabá-Antioquia, se caracteriza por un relieve quebrado con fuertes pendientes que limita la acumulación de nutrientes principalmente por lixiviación.

En condiciones agroecológicas similares en Rionegro-Santander, la producción de hojarasca en una plantación de cacao de 9 años de edad bajo diferentes sistemas agroforestales,

reporta una contribución mínima de 770 kg.ha⁻¹. año⁻¹ MS de hojarasca en SAF bajo surco sencillo de teca (*Tectona grandis* L.f) y máxima en doble surco de abarco (*Cariniana piryformis* M) con 1730 kg.ha⁻¹.año⁻¹ MS de marzo-agosto (Báez 2018). Conforme a lo anterior, se pudo determinar que en la zona de Rionegro-Santander el primer reporte en asociación con teca es inferior, al compararse con el promedio observado en ésta investigación (872,81 kg.ha⁻¹.año⁻¹ MS). El segundo reporte con abarco es considerablemente superior. Es así como se evidencia que el tipo de plantación asociada y su distribución, influyen en la cantidad de biomasa producida en el sistema.

Por otra parte, la diferencia al comparar con el estudio de Báez (2018), se logró determinar, ya que la producción de hojarasca es una variable que está relacionada con el tipo de material vegetal (clon). Se identificó además, que cada clon de cacao posee ciertas características, entre ellas el porte de la planta. El clon CCN 51 que conformó la plantación evaluada en esta investigación, se caracterizó por exponer plantas de crecimiento erecto y porte bajo que no tiende a la excesiva ramificación (Salinas y Tomalá 2014), por lo que la producción de hojas

se reduce en comparación con otro tipo de clones de porte alto y, por tanto, el aporte de hojarasca tiende a ser menor.

Aporte de nutrientes en hojarasca de cacao *Theobroma cacao* L. La variación estacional por época del año tuvo efecto sobre el aporte de P, K, Ca y Mg presente en hojarasca de cacao. De forma general, en el 80% de los casos se presentó mayor aporte de nutrientes en época de BP. Para el caso de fósforo (P) se destacó el T1-convencional en la época de AP por presentar el menor aporte, lo que resultó ser estadísticamente diferente (0,17 kg.ha⁻¹). Para el potasio (K) los mayores aportes se presentaron en época de BP en T2-químico (2,32 kg.ha⁻¹) y T4-orgánico+químico (2,25 kg.ha⁻¹), valores que fueron estadísticamente diferentes en comparación con el aporte del T4-orgánico+químico en época de AP (0,50 kg.ha⁻¹). En calcio (Ca) destacó por su aporte diferencial T4-orgánico+químico en BP (8,89 kg.ha⁻¹) en comparación con el mismo tratamiento en AP (4,51 kg.ha⁻¹). Finalmente, magnesio (Mg) presentó valores diferenciales altos en AP para el T2-químico y el T3-ecocacao (1,25 kg.ha⁻¹) (Tabla 2).

Tabla 2. Aporte de nutrientes en hojarasca de cacao (kg.ha⁻¹) en época de bajas (BP) y altas precipitaciones (AP) precipitaciones (enero-junio) bajo diferentes esquemas de fertilización, finca cacaotera, Rionegro-Santander. Colombia, 2012.

Época	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
BP	T1	4,10 b	0,58 a	1,18 c	6,01 ab	0,78 b
BP	T2	4,11 b	0,64 a	2,32 a	7,23 ab	0,89 ab
BP	T3	6,50 ab	0,55 a	1,46 bc	6,32 ab	0,72 b
BP	T4	8,25 a	0,65 a	2,25 a	8,89 a	1,00 ab
AP	T1	4,03 b	0,17 b	0,86 cd	4,43 b	0,59 bc
AP	T2	7,40 ab	0,42 a	2,05 ab	7,21 ab	1,25 a
AP	T3	9,71 a	0,44 a	1,19 c	9,17 a	1,25 a
AP	T4	6,19 ab	0,28 ab	0,50 d	4,51 b	0,48 c
	p- valor	0,0806	0,2234	0,0070	0,0220	0,0054

a, b, c, d medias con letras diferentes entre filas denotan diferencias significativas según la prueba de Duncan (p<0,05). BP = bajas precipitaciones (enero-junio), AP = altas precipitaciones (julio-diciembre), T1 = convencional, T2 = químico, T3 = ecocacao, T4 = orgánico.

Se observó un mayor aporte de nutrientes en época de bajas precipitaciones correspondientes al primer semestre del año (enero-junio), en la zona de Rionegro-Santander. En ese aspecto Enríquez (2006), señaló que el cambio de comportamiento durante las etapas fenológicas de cacao, obedece principalmente a la influencia de la lluvia y la temperatura. Para el cacao se reportan 4 etapas durante al año: de reposo en enero y febrero; de crecimiento vegetativo en marzo, abril, mayo y junio; de período productivo durante julio, agosto y septiembre y cosecha en octubre, noviembre y diciembre (Lutheran World Relief 2020).

Así pues, es evidente que durante el segundo semestre del año que correspondió a época de AP (julio-diciembre), el cultivo se encontraba en período productivo y de cosecha, para el cual se requiere la movilización de nutrientes hacia este proceso y, por tanto, tiende a disminuir su concentración en las hojas, ya que el movimiento de los nutrientes dentro y entre partes de la planta (translocación) ejerce su influencia en la concentración de nutrientes que tiene un tejido en un momento dado. De acuerdo con Barbazán (1998), en cultivos perennes, la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con los rebrotes estacionales, crecimiento y desarrollo de frutos.

El elemento K mostró una mayor variabilidad (Tabla 2), que puede asociarse a su carácter móvil, que lo hace fácilmente removible de los órganos foliares por la acción del agua lluvia (Hagen *et al.* 2006), razón por la cual se podría considerar que sus aportes en época de AP fueron menores.

El aporte anual de nutrientes, de acuerdo con la producción de hojarasca y el contenido de nutrientes fue $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, con valores de 6,72-6,29-1,47-0,88 y 0,47 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, respectivamente. El aporte anual de nitrógeno (N) presentó el mayor valor en el T3-ecocacao con 8,11 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, y fue significativamente diferente de T1-convencional, mientras que el aporte de fósforo (P) fue el menor y no mostró diferencia significativa entre tratamientos. En cuanto a potasio (K), el mejor comportamiento se observó en el T2-químico con un aporte de 2,18 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, lo que fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos. El mayor aporte de calcio (Ca) se presentó en el T3-ecocacao con 7,74 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Finalmente, el mejor comportamiento en magnesio (Mg), se presentó en T2-químico y T3-ecocacao con los mayores valores los cuales fueron 1,07 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y 0,74 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, respectivamente (Figura 3).

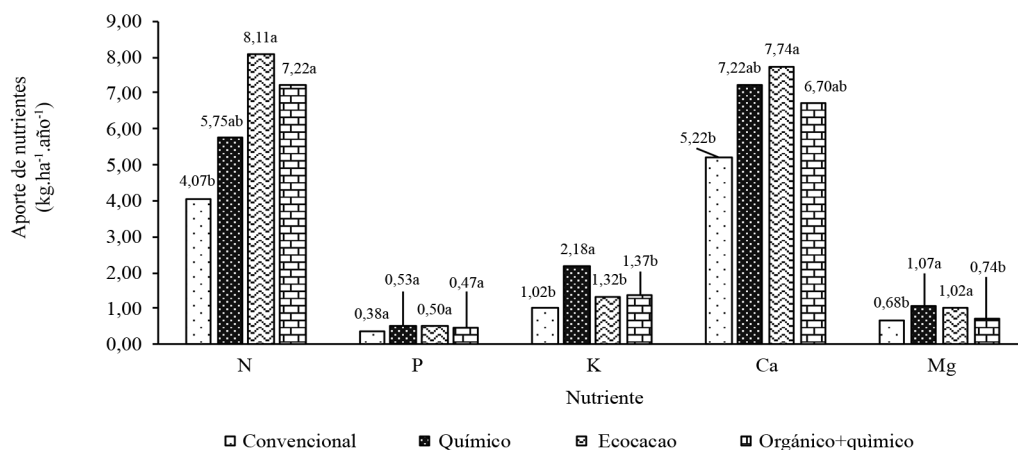


Figura 3. Aporte nutricional ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) de esquemas de fertilización en plantación de cacao-CCN-51, finca cacaotera, Rionegro-Santander, Colombia, 2012. Medias con letras diferentes entre barras denotan diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

Uno de los mayores aportes se evidenció para el caso de N, lo cual podría estar relacionado con la asociación del cultivo de cacao al forestal de sombrío *G. sepium*, una especie leguminosa con capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Diniz *et al.* 2015). De acuerdo con Triadiati *et al.* (2007), la presencia de árboles fijadores de N conduce a un aumento del contenido de N en el suelo, del cual los árboles de cacao también reciben un beneficio que se puede reflejar en su hojarasca.

En la investigación de Mera *et al.* (2017), se reportaron valores de aporte de nutrientes en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de 76,2 Ca, 57,0 N, 24,1 K, 25 Mg y 6,3 P. Estos datos señalan que los elementos de mayor aporte a través de la hojarasca son Ca y N; en el mismo sentido, Báez (2018), en cacao de 9 años de edad establecido en SAF en Rionegro-Santander, reporta un aporte de 12,4 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de Ca, 9,9 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de N, 6,3 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de K y 0,7 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de P en SAF bajo surco sencillo de teca. Según Ramírez *et al.* (2016), al evaluar la biomasa de hojarasca en asociaciones de especies forestales con cacao “CCN51” en Ecuador, encontraron que la asociación de cacao + *C. arborescens* realizó una transferencia de N, K, Ca y Mg de 56,45; 29,54; 73,96 y 16,38 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente, lo que evidenció un mayor aporte de calcio y nitrógeno en relación con los demás elementos. El estudio de Pérez *et al.* (2017), reportó que el aporte de los nutrientes N-P-K-Ca-Mg fue de 25, 9, 26, 36 y 9 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en plantaciones de 35 años y 24, 13, 25, 29 y 9 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en plantaciones de 55 años,

respectivamente. De igual manera, los resultados de dinámica de nutrientes encontrados en la presente investigación son respaldados por Leiva y Ramírez (2017) quienes afirman que la secuencia de acumulación de nutrientes en las hojas de cacao es: $\text{N}=\text{Ca}>\text{K}>\text{Mg}>\text{P}$.

Similar a lo observado en la presente investigación, Guzmán y Levy (2009) evaluaron la producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales con cacao y reportaron bajas concentraciones de fósforo, lo que les llevó a concluir que es un elemento limitante, por la escasez que presenta en el ciclaje de nutrientes.

Desde el punto de vista económico, los aportes de hojarasca y nutrientes producidos por el cacao podrían mejorar los ingresos de la persona productora. Al evaluar los diferentes tratamientos, se encontró que al compararse con el tratamiento de la persona productora (convencional) todos presentaron un mejor aporte de nutrientes y su valoración, en términos económicos, fue superior en un 70% para el caso T3-ecocacao; 52% para T4-químico+orgánico y en un 50% para T2-químico (Tabla 3). Si bien, las concentraciones de los nutrientes en las hojas que caen en forma de hojarasca son muy bajas, relacionado con el hecho de que muchas veces estos nutrientes se vuelven a absorber antes de que las hojas caigan, (Hartemink 2005), son un aporte para la nutrición del cultivo de cacao y permiten a la persona productora la reducción en alguna medida en la utilización de agroinsumos.

Tabla 3. Reducción de costos de fertilización ($\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) provenientes de los aportes de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de cacao CCN-51 bajo diferentes esquemas de fertilización, finca cacaotera, Rionegro-Santander, Colombia, 2012.

Nutriente\Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno	15,926	22,500	31,735	28,252
Fósforo	3,755	5,237	4,941	4,644
Potasio	3,892	8,317	5,036	5,227
Calcio	6,127	8,474	9,085	7,864
Magnesio	2,125	3,344	3,188	2,313
Total (Cop)	31,824	47,872	53,984	48,300
USD\$	8,60	12,94	14,59	13,05

T1 = convencional (productor), T2 = químico, T3 = ecocacao, T4 = orgánico+químico.

CONCLUSIONES

Los mayores aportes de hojarasca se presentaron en época de altas precipitaciones para el T3-ecocacao y T2-químico con 567,2 y 541,33,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ MS, respectivamente. Mientras que el T1-convencional presentó los aportes más bajos de hojarasca en las 2 épocas del año.

El mayor aporte de nutrientes en hojarasca de cacao se presentó en época de BP, con diferencias estadísticas para los nutrientes P, K, Ca y Mg; en donde sobresalió el T3-ecocacao como el método de fertilización que promueve mayores aportes.

La dinámica del aporte de nutrientes en la hojarasca de cacao fue $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, con valores de 6,72-6,29-1,47-0,88 y 0,47 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente.

El T3-ecocacao destacó por su mayor aporte de nutrientes en 3 casos correspondientes a N, Ca y Mg, que representaron un valor económico superior en un 70% con respecto a T1-convencional. Se evidenció que con la integración de fertilizantes orgánicos se puede realizar un aporte importante a la nutrición del cultivo de cacao mediante el reciclaje de nutrientes, que podría contribuir con la reducción en el uso de agroinsumos externos lo cual favorecería económicamente a la persona productora y a la vez, al desarrollo sostenible del sistema productivo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue ejecutado dentro del proyecto “Esquemas de fertilización orgánica y convencional para la producción del sistema productivo cacao (*Theobroma cacao*) y sus efectos sobre la producción y calidad del grano en las principales regiones productoras” ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

LITERATURA CITADA

- Álvarez, F; Rojas, J; Suárez, J. 2015. Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 16(2):307-314.
- Báez, EY. 2018. Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá (en línea). Tesis maestría en Agroforestería Tropical. Bogotá, Colombia, U.D.C.A. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/1026/1/Produccion%C3%B3n%20y%20aporte%20de%20nutrientes%20en%20la%20hojarasca%20de%20las%20especies%20abarco%2C.pdf>

- Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencias de nutrientes (en línea). Montevideo, Uruguay. 27 p. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/AnPlantas.pdf>
- Bonilla, R; Roncallo, B; Jimeno, J; García, T. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. *Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9(2):5-11.
- Campos, R; López, R; Cruz, W. 2015. Impacto ambiental y limitantes de la sustentabilidad de la actividad agrícola en la región Frailesca (en línea). *In* Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio. Cuernavaca, México, UNAM. 26 p. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <http://ru.iiec.unam.mx/2838/1/Eje3-005-Campos-Lopez-Cruz.pdf>
- Caritat, A; García, B, Lapeña, R, Vilar, L. 2006. Litter production in a Quercus suber forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Annals Forest Sciences* 63:791-800.
- Contreras, C. 2017. Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado (en línea). Tesis maestría en Ingeniería Agrícola. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/59141/1/1032373448-2017.pdf>
- Dawoe, EK; Isaac, ME; Quashie-Sam, J. 2009. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant Soil* 330:55-64. Consultado 15 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0173-0>
- De Alcantara, K; Valente, E; Pereira, G; Oliveira, A; De Moura, P. 2014. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Sci. Agric.* 71(2):87-95. Consultado 15 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200001>
- Diniz, P; Campello, E; Marinho, J; Araújo, G; Silva, A. 2015. Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal. *Ciênc. Florest.* 25(3):791-800. Consultado 15 ago. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53441497024>
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. 2017. InfoStat Versión 2020 p. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 10 abr. 2020. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Eghball, B; Ginting, D; Gilley, J. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442-447.
- Enriquez, G. 2006. Fenología y fisiología del cultivo del cacao (en línea). *In* Seminario Taller Internacional Producción, Calidad y Mercadeo de cacao especiales (11, 2006, Quevedo, Ecuador). 13 p. Consultado 26 ago. 2020. Disponible en <https://aprenderly.com/doc/3207554/fenolog%C3%ADa-y-fisiolog%C3%ADa-del-cultivo-del-cacao-gustavo-a.-e...>
- Farfán, V; Hincapié, G. 2011. Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante indicadores de calidad del suelo en sistemas de producción de café en Colombia. *Cenicafé* 62(1):100-118.
- Gastón, J; Aguilera, L; González, C. 2008. Agroecología y sustentabilidad. *UAEMex* 46:51-87. Consultado 22 abr. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/26549106_Agroecologia_y_sustentabilidad
- Guzmán, G; Levy, A. 2009. Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. *Acta Nova* 4(2):263-280.
- Hagen, A; Varnagiryte, I; Nihlgard, B; Armolaitis, K. 2006. Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest Ecol Manag* 228:33-39.
- Hartemink, AE. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy* 86:227-253.
- Hernández, R. 2002. Nutrición mineral de las plantas (en línea). Libro Botánica OneLine. Mérida, Venezuela, Universidad de Los Andes. Consultado 18 ago. 2020. Disponible en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>
- Holdridge, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida (Quinta reimpression). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.
- Isaac, S; Nair, M. 2006. Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India. *Journal of Agroforestry System* 67:203-213.
- Leiva, EI; Ramírez, R. 2017. Acumulación y extracción de nutrientes en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*. (11, 2017, Lima, Peru). Lima, Peru. 7 p.
- León, R. 2003. Efectos de la descomposición, la frugivoría y la remoción de frutos y semillas de especies arbóreas sobre los patrones descomposición in situ en el suelo de la selva húmeda. *In* Álvarez, J; Naranjo, E (eds.). *Ecología del suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. México, Instituto de Ecología, Universidad Autónoma de México. p. 89-107.
- López, M; López, I; España, M; Izquierdo, A; Herrera, L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos

- arburculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop* 57(1):31-43.
- López, O; Ramírez, S; Espinosa, S; Moreno, J; Ruiz, C; Villarreal, J; Ruiz, J. 2015. Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Chiapas, México, Universidad Autónoma de Chiapas. 128 p.
- Lutheran World Relief. 2020. Calendario de actividades para el manejo de cultivo del cacao (en línea). Consultado 18 ago. 2020. Disponible en <http://cacaomovil.com/guia/1/contenido/calendario/>
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2018. Colombia se une a la Iniciativa Global Cacao, Bosques y Paz (en línea). Consultado: 20 abr. 2020. Disponible en <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4023-colombia-se-une-a-la-iniciativa-global-cacao-bosques-y-paz>
- Martínez, A; Leyva, A. 2014. La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales* 35(1):11-20. Consultado 25 abr. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230069002.pdf>
- Mera, MK; Ramirez, R; Leiva, El. 2017. Importancia de la hojarasca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Symposium Cocoa Research (ISCR)*. (11, 2017, Lima, Perú). Lima, Perú. 12 p.
- Ormeño, D; Ovalle, D. 2011. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la calidad química de los suelos cacaoteros y el crecimiento de las plántulas en vivero. Memoria. XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo (11, 2011, Calabozo, Venezuela). Calabozo, Venezuela. 6 p.
- Owusu-Sekyere, E; Cobbina, J; Wakatsuki, T. 2006. Nutrient Cycling in Primary, Secondary Forests and Cocoa Plantation in the Ashanti Region, Ghana. *West Africa Journal of Applied Ecology (WAJAE)* 9:1-9.
- Pabón, M; Herrera, L; Sepúlveda, W. 2016. Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia) (en línea). *Revista Mexicana de Agronegocios* 38:283-294. Consultado 22 abr. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/141/14146082001.pdf>
- Paleologos, M; Iermanó, M; Blandi, M; Sarandón, S. 2017. Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes - Revista do Desenvolvimento Regional* 22(2):92-115.
- Pavón, N; Briones, O; Flórez, J. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60:1-13.
- Peña, M; Poorter, L; Alarcón, A; Blate, G; Choque, U; Fredericksen, T; Justiniano, M; Leño, C; Licona, J; Pariona, W; Putz, F; Quevedo, L; Toledo, M. 2012. Soil effects on forest structure and diversity in a most a dry tropical forest. *Biotropica* 44:276-283.
- Pérez, F. 2017. Fisiología vegetal, parte III: nutrición mineral. (en línea). Pucallpa, Perú, Universidad Nacional de Ucayali. Consultado 18 ago. 2020. Disponible en <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Pérez, J. 2014. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Tesis maestría en Ciencias. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 126 p. Consultado 18 ago. 2020. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- Pérez, J; Arias, A; Primo, Y; Calderón, V; López, A. 2017. Leaf litter and its nutrient contribution in the cacao agroforestry system. *Agroforest Syst* 92(1):1-10.
- Ramírez, G; Jiménez, M; Torres, E; Cruz, N; Barrera, A; Alava, S. 2016. Biomasa de hojas caídas y otros indicadores de sustentabilidad en asociaciones de especies forestales con cacao “CCN51” en la zona Central del Litoral ecuatoriano. *Cienc Tecn UTEQ* 9(2):21-31.
- Rojas-Molina, J; Caicedo, V; Jaimes-Suarez, Y. 2017. Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander (Colombia). *Agronomía Colombiana* 35(2):182-189.
- Rosas, G; Puentes, Y; Menjivar, J. 2015. Efecto del enclado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Cienc Tecnol Agropecuaria* 20(1):17-27.
- Salinas, F; Tomalá, M. 2014. Comportamiento agronómico de clones de cacao (*Theobroma cacao*) tipo nacional en Manglaralto, Cantón Santa Elena. Tesis de Ingeniería. La Libertad, Ecuador, Universidad Estatal Península de Santa Elena. 98 p. Consultado 14 may. 2020. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2215>
- Samaniego, M; Quiñonez, W. 2015. Efecto de la aplicación de tres niveles de fertilizante ECO-CACAO en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Esmeraldas. Tesis Ingeniería. Quevedo, Ecuador, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 77 p. Consultado 20 may. 2020. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2404?mode=full>
- Soto, G; Meléndez, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. In Soto, G; Meléndez, G; Uribe, L (eds.). *Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la Agricultura*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica. p. 50-63.
- Toledo, T; Meave, J; González, M; Ramírez, N. 2011. Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management* 92:974-981. Consultado 25 abr. 2020.

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971000410X>

- Triadiati, T; Tjitrosemito, S; Guhardja, E; Sudarsono; Qayim, I; Leuschner, C. 2007. Nitrogen resorption and nitrogen use efficiency in cacao agroforestry systems managed differently in Central Sulawesi (en línea). HAYATI Journal of Biosciences 14(4):127-132. Consultado 22 abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.14.4.127>
- Tuesta, A; Trigozo, E; Cayotopa, J; Arévalo, E; Arévalo, C; Zúñiga, L; León, B. 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.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr