

ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y NUTRIENTES EN LA HOJARASCA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL CARDAMOMO

Rolando Cifuentes,
rcifuen@uvg.edu.gt

Emerson Herrera,
eoherrera@uvg.edu.gt

Josué Bocel,
jibocel@uvg.edu.gt

Donovan Gómez,
degomez@uvg.edu.gt

Isabel Alonzo,
ialonzo@uvg.edu.gt

Edwinth Rodríguez,
eerodriguez@uvg.edu.gt

Edwin De León Rangel
edeleon@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas y
Alimentarios.**

RESUMEN

El sistema productivo de cardamomo usualmente no recibe aportes externos de nutrientes para mejorar la productividad y calidad del producto. Este estudio se llevó a cabo a fin de conocer la cantidad de materia seca (MS) y nutrientes acumulados en la hojarasca de los principales sistemas agroforestales del cardamomo a lo largo del tiempo, así como la tasa de descomposición del material orgánico de reciente deposición sobre la superficie del suelo. Se seleccionaron 61 sitios de los departamentos de Alta Verapaz y Quiché. Se incluyeron 18 parcelas con el sistema de producción de cardamomo al sol (CS), 37 con el sistema de producción de cardamomo en asocio a especies latifoliadas (CL) y 6 con el sistema de producción en asocio a pino (CP). Como parte de la evaluación también se determinó el porcentaje de sombra de cada sitio. Con base en los resultados se considera que en los sistemas CL y CP debe incorporarse el manejo de podas en los árboles de sombra como parte de las buenas prácticas agrícolas, ya que únicamente 1 de cada 3 sitios presentó valores dentro del rango adecuado (40 - 65%) de sombra. La acumulación de MS y nutrientes en la hojarasca de los árboles de sombra y restos de plantas de cardamomo siguió el orden $CL > CP > CS$. Los restos de las plantas de cardamomo en el sistema CS presentaron una mayor tasa de descomposición k (1.03) que la hojarasca de los sistemas CL (0.54) y CP (0.59). La vida media de cada tipo de hojarasca fue de 0.74, 1.4 y 1.7 años para los sistemas CS, CP y CL, respectivamente. La cantidad de nutrientes acumulados en la hojarasca de los árboles de sombra y los restos de las plantas de cardamomo no son suficientes para la sostenibilidad y mejora de la productividad del cardamomo. El acceso a los nutrientes liberados se ve limitado por la velocidad de descomposición, movilidad desde la superficie del suelo, pérdida de nutrientes por lixiviación, inmovilización, volatilización o por otras vías en el suelo, así como la distancia de las raíces del cardamomo a la fuente de nutrientes, entre otros. Se hace necesario el suministro de nutrientes con la fertilización, orgánica o inorgánica, mediante el diseño adecuado de un programa de nutrición del cultivo.

PALABRAS CLAVE: Cardamomo, hojarasca, materia seca, descomposición de hojarasca, sistema agroforestal.

ABSTRACT

DRY MATTER AND NUTRIENT ACCUMULATION IN LITTER OF CARDAMOM AGROFORESTRY SYSTEMS

The cardamom production system usually does not receive external inputs of nutrients to improve the productivity and quality of the product. This study was carried out to know the amount of dry matter (DM) and nutrients accumulated in the litter of the main agroforestry systems of cardamom over time, as well as the decomposition rate of the organic material of recent deposition on the ground surface. Sixty one sites were selected from the departments of Alta Verapaz and Quiché. Eighteen plots were included with the cardamom production system under full sun (CS), 37 with the cardamom production system in association with broadleaf species (CL) and 6 with the production system in association with pine (CP). As part of the evaluation, the

percentage of shade in each site was also determined. Based on the results, it is considered that in the CL and CP systems the management of pruning in shade trees should be incorporated as part of good agricultural practices, since only 1 out of 3 sites presented values within the appropriate range (40 - 65% shade). The accumulation of DM and nutrients in the litter of shade trees and cardamom plant remains followed the order $CL > CP > CS$. The remains of the cardamom plants in the CS system presented a higher decomposition rate k , (1.03) than the litter of the CL (0.54) and CP (0.59) systems. The half-life of each type of litter was 0.74, 1.4 and 1.7 years for the CS, CP and CL systems, respectively. The amount of nutrients accumulated in the leaf litter of the shade trees and the remains of the cardamom plants are not sufficient for the sustainability and improvement of the productivity of the cardamom. Access to released nutrients is limited by the rate of decomposition, mobility from the soil surface, loss of nutrients by leaching, immobilization or by other means in the soil as well as the distance from the roots of the cardamom to the source of nutrients, among others. The supply of nutrients, with organic or inorganic fertilizer, is necessary through the proper design of a crop nutrition program.

KEY WORDS: Cardamom, plant litter, dry matter, litter decomposition, agroforestry system.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es uno de los principales productores y el principal exportador de cardamomo a nivel mundial. Esto representa una generación importante de divisas ya que casi la totalidad del producto se destina al mercado externo (Ruano, 2002). La exportación del cardamomo genera al país aproximadamente 242 millones de dólares americanos (MAGA, 2016).

De acuerdo con Díaz (2014), la producción de cardamomo en Guatemala se concentra en cinco departamentos: Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Huehuetenango y Quiché. La producción total se estima en aproximadamente 36,000 TM de cardamomo pergamino por año (MAGA, 2016).

La producción de cardamomo en Guatemala la realizan en su mayoría pequeños y medianos agricultores. Ruano (2002) indica que el cultivo de cardamomo es parte de un sistema agroforestal (SAF) simultáneo utilizando bosque natural latifoliado o bien estableciendo especies arbóreas. El cultivo comercial se realiza en el país entre las altitudes de 100 a 1500 msnm, principalmente en las zonas subtropical muy húmeda y bosque pluvial montano, las cuales comprenden regiones de la costa sur y zona norte del país.

Se sabe que en la parte norte de Guatemala se diferencian tres SAF para cardamomo. Se cuenta con cardamomo al sol (CS), cardamomo bajo sombra de pino (CP) y cardamomo bajo sombra de especies latifoliadas (CL). El sistema de producción CL es el más arraigado, seguido por el sistema CS en áreas extensivas, pero con mayores problemas de

plagas (Pradip, 2012), y en menor cantidad el sistema CP que se centra entre los 800 a 1200 msnm.

Los SAF son un conjunto agropecuario que se compone de poblaciones de plantas, árboles y animales con distintas características que garantizan a largo plazo una productividad aceptable a la población local. Con ello se pretende diversificar la producción, generar bienes y servicios para satisfacer las necesidades básicas de los productores y proveer beneficios socioeconómicos y ecológicos (Nair, 1989). También desempeñan una función fundamental en la conservación de la biodiversidad, como hábitat para especies nativas de fauna y flora. Promueven procesos funcionales entre las plantas y los microorganismos presentes en el suelo (Báez, 2018).

Las especies arbóreas interactúan con el cultivo proporcionando sombra y aportando nutrientes. Ruano (2002) indica que, en los primeros dos años de desarrollo de las plantaciones de cardamomo, la sombra debe de regularse entre el 50 a 60% y debe de ir reduciéndose paulatinamente hasta el inicio de la producción con un 40% o un poco más según el comportamiento del cultivo. Pradip (2012), describe que el cardamomo es un amante de la sombra y que influye en el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo. Sugiere además que estos árboles deben de ser ricos en néctar y una floración de larga duración para aumentar la atracción de abejas en la plantación de cardamomo que contribuye a aumentar el rendimiento y la calidad de la cápsula. Farfán-Valencia (2007) explica que los árboles también aportan

gran cantidad de residuos vegetales y que actúan como material de cobertura. La hojarasca mantiene unido los componentes arbóreos con el suelo y mediante procesos de descomposición y mineralización liberará nutrientes que podrán ser nuevamente absorbidos por las plantas.

La producción anual de grandes cantidades de hojarasca de los árboles de sombra es característica de los ecosistemas como reacción al clima y al cambio global. A su debido tiempo, la hojarasca pasa a descomponerse mediante la acción de microorganismos descomponedores. Hay liberación de CO₂, fraccionamiento a partículas más simples y enriquecimiento de C en los suelos. Existen tres factores, indica Aertz (1997) a través de la revisión de Villavicencio-Enríquez (2012), que controlan los procesos de descomposición de un sistema agroforestal, el clima, la calidad del recurso y las colonias de microorganismos descomponedores.

La capa de hojarasca produce un abrigo orgánico sobre la superficie del suelo, dando como resultado un microclima edáfico. El patrón general para la pérdida de peso de la hojarasca en descomposición comprende dos fases, una inicial de rápido desarrollo por el lavado de compuestos solubles y la descomposición de materiales lábiles (azúcares, fenoles, almidones y proteínas), y una segunda fase más lenta la cual consiste en la descomposición de elementos recalcitrantes como celulosa, hemicelulosa, taninos y ligninas (Arellano et. al., 2004).

En Guatemala, se sabe muy poco sobre los SAF del cardamomo en la parte norte del país. Con este estudio se buscó conocer el aporte de sombra y nutrientes de los árboles a partir de la hojarasca acumulada en el tiempo y de los restos de plantas de cardamomo, considerando la sostenibilidad y el incremento de la productividad del SAF de cardamomo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en los departamentos de Alta Verapaz y Quiché. Se seleccionaron 61 parcelas productoras de cardamomo distribuidas en 11 municipios del territorio. Se contó con 18 sitios con el sistema CS, 6 sitios con el sistema CP y 37 sitios con el sistema CL. La distribución de los sitios se presenta en la Figura 1.

Mediciones en campo

Se realizaron varias mediciones a nivel de campo en cada uno de los sitios, durante los meses de marzo y abril del 2020. Se seleccionaron 6 puntos de muestreo siguiendo un patrón de cuadrícula. En cada uno de los puntos identificados se midió el diámetro de las macollas de cardamomo, la distancia entre las calles, la distancia entre macollas y el porcentaje de sombra proyectada por las especies asociadas al cardamomo, así como la acumulación (cantidad y grosor) de hojarasca.

Estas mediciones permitieron determinar la densidad de siembra del cardamomo (p/ha), el área ocupada por las macollas del cultivo y el área libre en la cual usualmente se localiza la hojarasca generada por los árboles de sombra. Esos valores se estimaron de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Área de macolla (m}^2\text{)} &= \pi \times r^2 \\ \text{Área libre (m}^2\text{)} &= 10,000 - \text{Área de macolla} \end{aligned}$$

El porcentaje de sombra se determinó en cada uno de los puntos de muestreo mediante el uso de la aplicación Habit App, utilizando un teléfono móvil. Se utilizó la cámara del teléfono celular para captar la imagen en una posición perpendicular a la superficie del suelo. La imagen fue analizada por la aplicación y se generó el dato de sombra proyectada.

Para la determinación de hojarasca (grosor y materia seca, MS) se utilizó un marco de madera de 0.25 m x 0.25 m. Este fue colocado sobre la superficie de cada punto seleccionado, y con ayuda de un machete se limpió el área adyacente.

Se diferenciaron dos capas, la capa superior (capa 1) incluyó hojas recién caídas y hojas enteras de color café claro, y la capa inferior (capa 2) hojas oscuras, hojas quebradas y parcialmente descompuestas, y todo el material orgánico totalmente descompuesto (humus) sobre la superficie del suelo mineral. Se midió el grosor de cada capa y se colectó el material contenido en el área delimitada.

El material recolectado se colocó en bolsas ziploc y se trasladó al laboratorio del Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios. Se determinó el porcentaje de humedad, materia seca y composición nutrimental en tres de las muestras.

Descomposición de hojarasca

Este estudio se llevó a cabo únicamente en 40 de los sitios indicados en la Figura 1. Se utilizó el método de la bolsa de

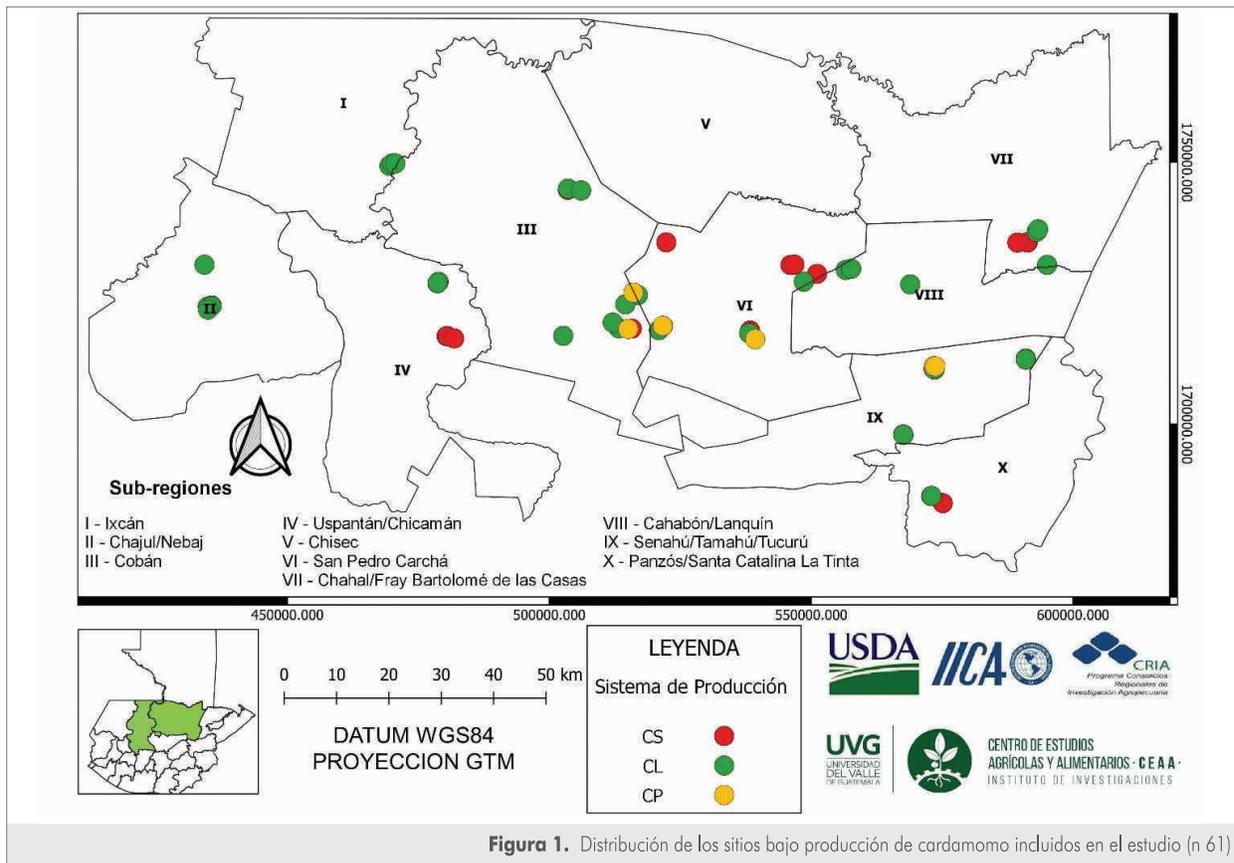


Figura 1. Distribución de los sitios bajo producción de cardamomo incluidos en el estudio (n 61)

hojarasca (*litter bag*) (Bocock y Gilbert, 1957). Este consistió en colocar tres bolsas con 50 g de hojas recién caídas y enteras (hojarasca de primera capa) en bolsas de 25 cm x 35 cm, de tela mosquitera (nylon) de 2 mm de luz. Esta apertura permite el acceso de invertebrados detritívoros, y minimiza la pérdida del material por fragmentación (Douce y Crossley, 1982).

Además, para cada uno de los sitios, se tomó una muestra compuesta de hojarasca, que fue trasladada al laboratorio para la determinación del porcentaje de humedad inicial y la estimación de materia seca del material.

La evaluación tuvo una duración aproximada de nueve meses (220 días), dando inicio el 15 de febrero y concluyendo el 22 de septiembre del 2020. Al final del período se colectaron todas las bolsas, y se trasladaron al laboratorio para determinar el peso seco final del material remanente. A partir de la comparación entre los pesos secos iniciales y finales en el tiempo se determinó la tasa de descomposición y la vida media del sustrato.

La tasa de descomposición se determinó mediante la ecuación de Olsen 1963:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{x_1}{x_0}\right)}{t}$$

Donde:

k = Constante de descomposición

x = Peso seco de hojarasca en un tiempo dado

x_0 = Peso seco inicial de hojarasca en el tiempo 0

t = Tiempo expresado en años. $t = \text{días} / 365$.

La vida media de la hojarasca se estimó con la siguiente ecuación (Olson, 1963):

Vida media del sustrato (50 % de degradación):

$$t = \frac{0.693}{k}$$

Composición química

El análisis de composición química se realizó en el laboratorio de Análisis de suelos, Plantas y Aguas de la Asociación Nacional del Café (Analab). Se determinó el contenido total de los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Mn, Cu y Zn. La

preparación de las muestras se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Reuter y Robinson (2008). La determinación de nitrógeno total se realizó por el método de Dumas (AOAC, 1984). El resto de los elementos mediante digestión con ácido nítrico (EPA 3052) en horno de microonda y posterior determinación por Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP/OES). Con el valor de la concentración de cada elemento, se

determinó la cantidad total de nutrientes acumulados en cada capa de hojarasca y en la masa total de la misma.

Análisis de la información

Se realizó un análisis de la varianza, teniendo como factor los sistemas agroforestales. La separación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la totalidad de sitios evaluados, el diámetro medio de macolla de cardamomo es de 0.81 ± 0.55 m, la densidad de siembra $2,134 \pm 831$ p/ha y el área efectiva para deposición de hojarasca $8,320 \pm 1,228$ m²/ha. Los altos valores estimados de las desviaciones estándar se deben a la alta variabilidad en los distanciamientos de siembra del cardamomo. Se encontraron parcelas con densidad de siembra hasta 3.5 veces la cantidad usual de plantas por unidad de área reportada para la región (1,600 p/ha). No se encontró diferencia significativa entre sistemas agroforestales ($p > 0.05$) para ninguna de estas variables, lo cual indica que estadísticamente el distanciamiento de siembra es indistinto del sistema agroforestal.

Porcentaje de sombra

El porcentaje medio de sombra bajo especies latifoliadas (CL) fue de $69.7 \pm 17.1\%$ y en el sistema bajo sombra de pino (CP) fue de $65.9 \pm 12.9\%$. Los valores variaron de 11 a 90% para el sistema CL y de 42 a 84% en el sistema

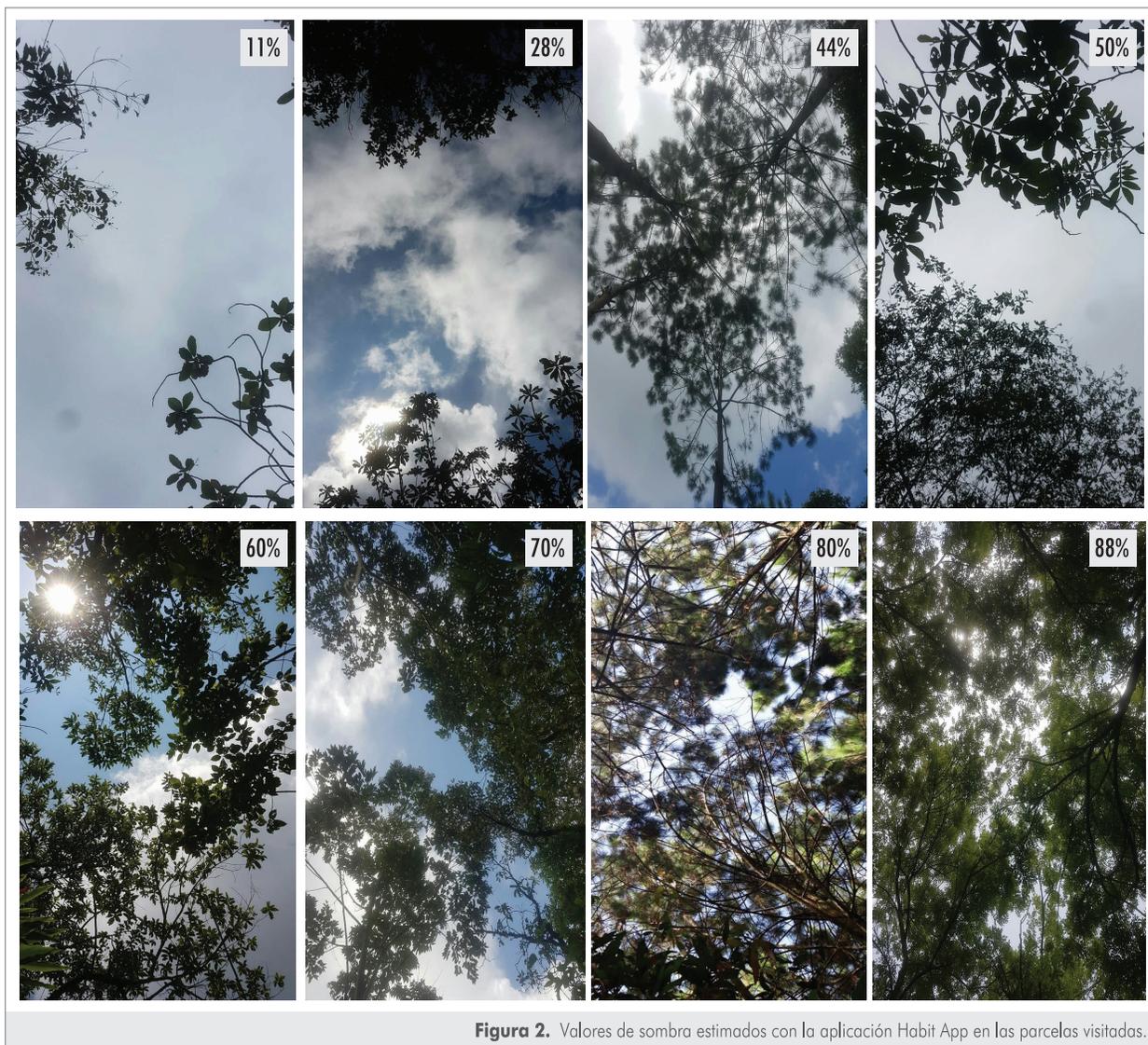
CP (Figura 2). De acuerdo con el análisis de varianza, estadísticamente el porcentaje medio de sombra de los sistemas CL y CP son iguales ($p > 0.05$). Es evidente que hay sitios con porcentajes de sombra muy altos o bajos que podrían estar impactando negativamente en la productividad de cardamomo en el sistema.

En los SAF el manejo de la sombra juega un papel importante en aspectos vinculados con plagas y enfermedades. De acuerdo con Janini (2019), un buen manejo de sombra debe oscilar entre 40 a 60% para que exista la adecuada respuesta de las plantas de cardamomo. Tomando estos valores como el rango adecuado y aplicándolos a este estudio, se estima que el 29.8% de las parcelas del sistema CL (11 sitios) y el 50% de los sitios del sistema CP (3 sitios) cumplen con esa condición (Cuadro 1). El resto de las parcelas podría tener problemas con plagas y enfermedades que afecten su producción. Esto hace necesario incorporar las podas de aclareo en los árboles de sombra como parte de las buenas prácticas agrícolas para el manejo del cultivo del cardamomo.

Cuadro 1. Distribución de parcelas de los sistemas agroforestales de acuerdo con el rango de sombra.

Sistema	Sitios	Sombra (%)		
		Menor de 40	40 a 60	Mayor de 60
Al sol	18	N/A ¹	N/A	N/A
Latifoliado	37	1	11	25
Pino	6	0	3	3

¹: No aplica.



Pedraza Franco (2017) menciona que la sombra es importante en la fase inicial de desarrollo del cardamomo debido a que la planta es susceptible a los rayos solares directos, la protege de fuertes vientos y mantiene la humedad que requiere el cultivo. Mesa y Vanegas (1997) descrito por Pedraza Franco (2017), indican que “la desventaja que provoca áreas con sombra densa es crear condiciones favorables para el apareamiento de plagas como *Cholus* sp. (Coleptera: Curculionidae) que afecta pseudotallos, rizomas y cápsulas del cultivo”.

Pradip Kumar (2012) explica que un buen manejo de sombra debe de mantener regulada en un 50% el ingreso de luz solar para que se realicen actividades metabólicas adecuadas como crecimiento, floración y cuajado de frutos. Además, indica que la humedad afecta al cultivo, por lo cual es

necesario ambientes frescos y sombreado formando un microclima favorable para que puedan desarrollarse las raíces, pero al exponerlo a luz solar directamente, la humedad se reduce y la temperatura del suelo aumenta y afecta negativamente. Este hecho está establecido por mayor incidencia de plagas y enfermedades como el caso del trips en este cultivo, que se multiplica más rápido a altas temperaturas y baja humedad.

De acuerdo con los reportes de los productores, la productividad media (t/ha) de cardamomo fresco para la temporada 2020-2021 en la región de estudio para el sistema CL fue de 1.57 ± 0.79 (cardamomo pergamino 0.31 ± 0.16), para el sistema CP 1.51 ± 0.74 (cardamomo pergamino 0.30 ± 0.15) y para el sistema CS 1.0 ± 0.58 (0.20 ± 0.12 cardamomo pergamino).

Cuadro 2. Acumulación de material orgánico sobre la superficie del suelo según el sistema de producción de cardamomo.

Sistema	Sitios	Grosor (cm)		
		Capa 1	Capa 2	Total
CS	18	0.78 ± 0.51 c	0.63 ± 0.43 c	1.39 ± 0.78 c
CL	37	1.82 ± 1.10 b	1.76 ± 1.27 b	3.58 ± 2.00 b
CP	6	2.54 ± 1.19 a	2.49 ± 1.00 a	5.03 ± 1.92 a
	Media	1.71 ± 0.88	1.63 ± 0.94	3.33 ± 1.83

Cuadro 3. Cantidad de MS y nutrientes en la hojarasca presente en los SAF del cardamomo.

Sistema	Sitios	Materia Seca	N	P	K	Ca	Mg	S
		t/ha	kg/ha					
CS	18	6.0 ± 3.05 b	81.7 ± 44.3 b	4.42 ± 2.31 b	8.6 ± 5.79 b	79.7 ± 49.3 b	17.3 ± 11.6 b	8.9 ± 4.7 b
CL	37	17.2 ± 10.4 a	270.7 ± 191.4 a	12.4 ± 7.7 a	37.3 ± 28.3 a	219.4 ± 145.2 a	56.6 ± 43.5 a	26.4 ± 17.8 a
CP	6	14.4 ± 6.9 a	154.2 ± 96.2 b	9.2 ± 5.5 a	16.1 ± 10.8 b	108.4 ± 55.9 b	23.7 ± 12.5 b	14.7 ± 8.2 b
	Media	11.6 ± 9.9	168.9 ± 95.4	8.7 ± 4.0	20.7 ± 14.9	135.8 ± 73.8	32.5 ± 21.1	16.7 ± 8.9
		B	Cu	Fe	Mn	Zn		
		kg/ha						
CS		0.22 ± 0.17 b	0.12 ± 0.08 b	85.2 ± 71.5 b	5.3 ± 3.8 b	0.51 ± 0.31 b		
CL		0.75 ± 0.61 a	0.43 ± 0.31 a	310.0 ± 313.9 a	19.4 ± 17.8 a	1.36 ± 1.02 a		
CP		0.58 ± 0.54 a	0.26 ± 0.24 ab	196.6 ± 198.4 b	14.2 ± 12.7 ab	0.97 ± 0.98 ab		
	Media	0.52 ± 0.27	0.27 ± 0.16	197.3 ± 112.4	13.0 ± 7.1	0.95 ± 0.43		

Hojarasca y nutrientes

El grosor de las capas de hojarasca acumuladas en el tiempo en cada sistema agroforestal se presenta en el Cuadro 2. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre sistemas para cada una de las capas. El sistema CP es el que presentó el mayor grosor tanto para la capa 1 como para la capa 2.

A pesar de que el sistema CS no cuenta con árboles de sombra, en campo se determinó que, como parte del proceso de saneamiento y limpieza de la plantación de cardamomo, las hojas secas son eliminadas de las macollas y dejadas entre las calles. Esto es positivo ya que es una práctica que ayuda a mantener los niveles de materia orgánica en el suelo y contribuye al ciclo de nutrientes.

La acumulación de materia seca y su contenido total de nutrientes en los diferentes sistemas de producción se presentan

en el Cuadro 3. Se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.0001$) entre los valores de la materia seca de la hojarasca acumulada. El sistema CL presentó la mayor cantidad de MS seguido por los sistemas CP y CS.

Análisis realizados a nivel de laboratorio indican que el contenido de carbono orgánico (CO) presente en la MS acumulada es de aproximadamente el 45%. Con base en los datos del Cuadro 3, esto significa que la cantidad de CO acumulado en las capas de hojarasca varía de aproximadamente 2.5 a 12.4 t CO/ha. Parte del CO acumulado en la segunda capa es básicamente humus.

Zavala (2018) refiere a Vega et al (2014) quien indica que la tasa de almacenamiento de carbono depende de factores como: edad de los árboles, densidad de plantas, tipo de suelo y factores climáticos del lugar, así como el tipo de manejo que tenga la plantación.

Cuadro 4. Concentración de nutrientes en la hojarasca presente en los SAF del cardamomo.

Sistema	Sitios	Capa	N	P	K	Ca	Mg	S
			%					
CS	18	1	1.27 ± 0.48 ab	0.06 ± 0.02 a	0.13 ± 0.11 a	1.43 ± 0.74 a	0.25 ± 0.11 a	0.14 ± 0.05 a
CL	37	1	1.63 ± 0.43 a	0.06 ± 0.02 a	0.20 ± 0.18 a	1.41 ± 0.45 a	0.26 ± 0.11 a	0.16 ± 0.04 a
CP	6	1	0.86 ± 0.15 b	0.05 ± 0.02 a	0.06 ± 0.05 a	0.60 ± 0.12 b	0.12 ± 0.05 b	0.08 ± 0.01 b
Media			1.25 ± 0.35	0.06 ± 0.02	0.13 ± 0.11	1.15 ± 0.44	0.21 ± 0.09	0.13 ± 0.03
CS	18	2	1.50 ± 0.44 a	0.08 ± 0.02 a	0.15 ± 0.07 a	1.35 ± 0.57 a	0.29 ± 0.12 ab	0.16 ± 0.05 a
CL	37	2	1.54 ± 0.47 a	0.08 ± 0.03 a	0.22 ± 0.16 a	1.30 ± 0.49 a	0.35 ± 0.18 a	0.16 ± 0.04 a
CP	6	2	1.09 ± 0.30 b	0.07 ± 0.02 a	0.15 ± 0.10 a	0.82 ± 0.10 b	0.20 ± 0.07 b	0.11 ± 0.02 b
Media			1.38 ± 0.40	0.08 ± 0.02	0.17 ± 0.11	1.16 ± 0.41	0.28 ± 0.12	0.14 ± 0.04
Sistema	Sitios	Capa	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			ppm					
CS	18	1	12.13 ± 13.54 a	9.47 ± 4.06 a	1,480.68 ± 1,720.33 a	527.39 ± 438.04 a	54.29 ± 28.15 a	
CL	37	1	17.57 ± 13.23 a	12.02 ± 4.18 a	2,058.1 ± 1,817.77 a	490.89 ± 348.75 a	38.29 ± 18.43 ab	
CP	6	1	5.76 ± 5.11 a	4.03 ± 2.05 b	933.23 ± 839.13 a	419.43 ± 220.93 a	24.08 ± 13.04 b	
Media			11.82 ± 10.63	8.51 ± 3.43	1,490.67 ± 1,459.08	479.24 ± 335.91	38.89 ± 19.87	
CS	18	2	50.3 ± 32.6 a	25.51 ± 13.13 a	20,642.63 ± 13,007.67 a	1,049.82 ± 548.14 a	101.67 ± 36.93	
CL	37	2	51.58 ± 26.52 a	28.02 ± 10.84 a	22,005.5 ± 14,905.2 a	1,257.05 ± 681.39 a	91.78 ± 38.27 a	
CP	6	2	47.43 ± 36.71 a	20.38 ± 15.85 a	16,358.5 ± 14,566.5 a	1,057.98 ± 738.27 a	75.16 ± 68.47 a	
Media			49.77 ± 31.94	24.64 ± 13.27	19,668.87 ± 14,159.81	1,121.62 ± 655.93	89.54 ± 47.89	

A pesar de que el grosor de la capa de hojarasca en el sistema CP fue estadísticamente superior ($p < 0.0001$) al de los sistemas CL y CS, la MS presente fue estadísticamente igual a la del sistema CL ($p > 0.05$). En ambos sistemas, la cantidad de MS acumulada es superior a la MS en la hojarasca del sistema CS.

La cantidad de nutrientes en la MS acumulada es estadísticamente diferente ($p < 0.05$) entre sistemas agroforestales. La cantidad de nutrientes acumulados en el sistema CL fue superior a la cantidad acumulada en el sistema

CP y el sistema CS ($p < 0.0002$). Para los 10 elementos analizados, la acumulación de nutrientes consistentemente siguió el siguiente orden CL > CP > CS.

La cantidad de materia seca y la concentración de nutrientes en los residuos vegetales tienen un impacto directo en la cantidad de nutrientes acumulados en la hojarasca del sistema. De acuerdo con los datos de concentración de nutrientes en la MS de la hojarasca (Cuadro 4), la concentración de la mayor parte de nutrientes en la MS acumulada es estadísticamente diferente entre sistemas agroforestales

Cuadro 5. Porcentaje de MS restante y tasa de descomposición (k).

Sistema	Sitios	Biomasa restante (%)			Valor de k Olsen		
		Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
CL	24	74.0 ± 11.1 a	48.0	88.5	-0.54 ± 0.30 b	-1.25	-0.21
CP	6	72.2 ± 7.9 a	65.1	87.5	-0.59 ± 0.18 b	-0.72	-0.23
CS	10	56.7 ± 9.7 b	44.4	77.2	-1.03 ± 0.26 a	-1.30	-0.44
	Media	67.6 ± 10.3	52.5	84.4	-0.72 ± 0.30	-1.09	-0.29

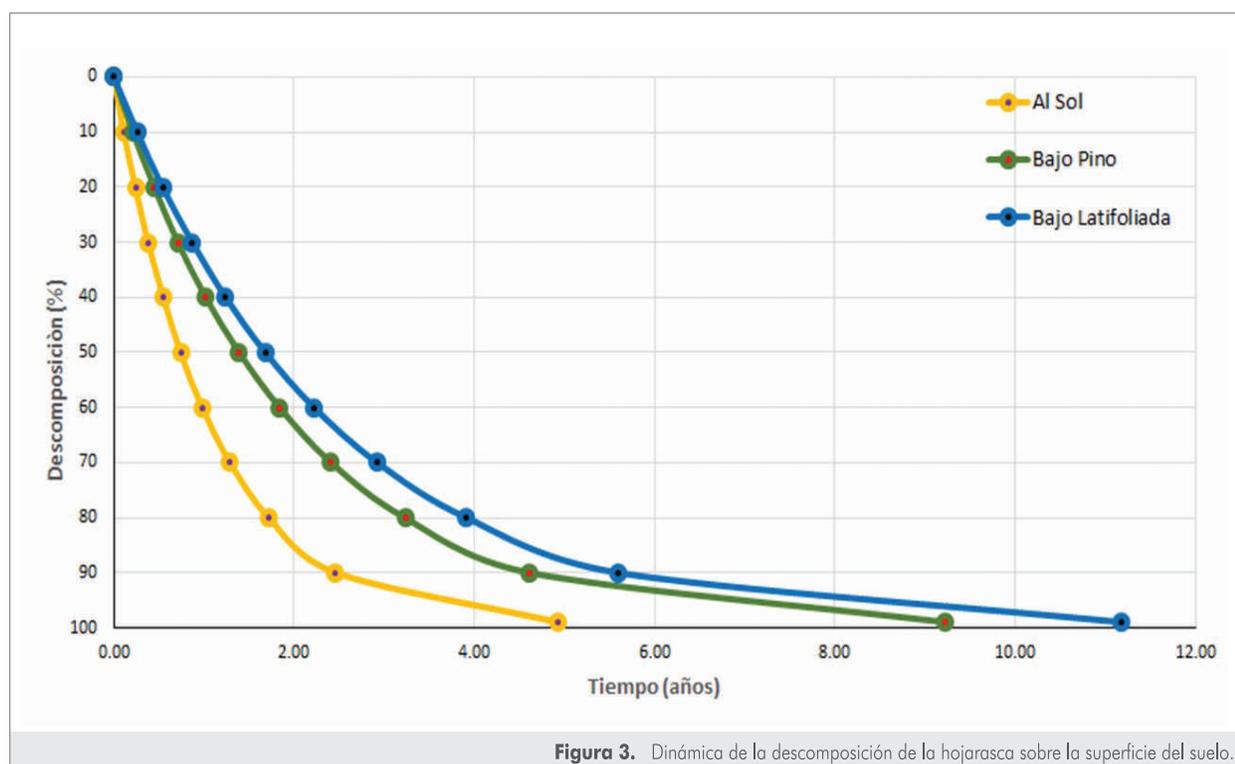


Figura 3. Dinámica de la descomposición de la hojarasca sobre la superficie del suelo.

($p < 0.05$). En general, la concentración de nutrientes en la hojarasca presente en el sistema CP fue menor a la de los otros dos sistemas.

Descomposición de hojarasca

El porcentaje de material descompuesto durante los 220 días de su permanencia en campo fue de 26% para el material latifoliado, 28% para el material de pino y 43.3% para el material de cardamomo. La proyección del tiempo necesario para alcanzar diferentes porcentajes de descomposición de cada uno de los materiales se presenta en la Figura 3. Se requieren alrededor de 0.74 años para alcanzar el 50% de descomposición del material de cardamomo, en tanto que

para pino y especies latifoliadas se requieren aproximadamente 1.4 y 1.7 años, respectivamente.

La cantidad media de MS restante en las bolsas de material vegetal colocadas en cada sitio se presenta en el Cuadro 5. La cantidad residual fue estadísticamente menor ($p < 0.0004$) en el sistema CS en comparación a los otros dos sistemas. La cantidad de material residual de las diferentes especies presentes en el sistema CL fue estadísticamente igual a la del sistema CP. Esto significa que la tasa de descomposición es mayor en el material vegetal de las plantas de cardamomo, que en las acículas de pino y el follaje de especies latifoliadas

Como se aprecia en el Cuadro 5, el valor de k de Olsen para el sistema pino y latifoliado son muy similares y

representan aproximadamente el 50% del valor de k del sistema CS.

De acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, la altitud sobre el nivel del mar (no se presentan los datos) está relacionada con el porcentaje de descomposición del material en el campo (p 0.07 y r -0.32). Esto significa que el porcentaje de descomposición se reduce debido a la reducción de la tasa de descomposición con la altitud (p 0.10; r -0.29).

La tasa de descomposición del sistema CS presenta diferencia significativa respecto a los otros sistemas debido a que muestra un valor mayor de 1, lo que implica una mayor velocidad de descomposición de la hojarasca compuesta por las hojas de cardamomo.

En los sistemas CL y CP, además de las hojas de las limpias de cardamomo, se tiene la hojarasca propia de los árboles de sombra, la cual posee polímeros, posiblemente más complejos, como celulosa, pectinas, ligninas, los cuales influyen en la tasa de descomposición del material orgánico en estos sistemas. Krishna (2017) explica que los polímeros complejos son difíciles de degradar tornando lento el proceso de descomposición, especialmente cuando el material está sobre la superficie del suelo. De acuerdo con Villavicencio-Enriquez (2012), el clima, la calidad del material y la presencia de microorganismos descomponedores son los factores que controlan el período de tiempo en descomponer la materia orgánica.

De acuerdo al estudio realizado por Das y Ramakrishnan (1985) en los bosques de pino de la India, estimaron valores de k de 0.31 a 0.46, y para obtener un 50% de descomposición establecieron un tiempo aproximado de 1.50 años. Este valor está cercano a los valores generados en el presente estudio de descomposición.

Sharma et. al. (2006), realizó un estudio de descomposición en hojas de cardamomo grande (*Amomum subulatum*) en un sistema agroforestal de aliso (*Alnus* sp.) en el oriente de los Himalayas. Reportó un valor de k de 0.87, el cual está próximo al valor de 1.03 determinado en este estudio.

Aporte de nutrientes

De acuerdo con Cifuentes et al. (2021), la cantidad media de macronutrientes extraídos en 1 t de cardamomo pergamino es de: N 32, P_2O_5 19, K_2O 101, CaO 10, MgO 13 y S 1.4 kg/ha. En el caso de B_2O_3 , Cu, Fe, Mn y Zn, el requerimiento es de 62, 11, 317, 720 y 81 g/ha, respectivamente.

La cantidad total de nutrientes presentes en la hojarasca de los diferentes SAF estimados en este estudio podría suministrar la demanda de N, Ca, Mg, S y los micronutrientes Cu, Fe, Mn, B y Zn. Sin embargo, no puede satisfacer la demanda de K que es el elemento más demandante.

Es importante tomar en cuenta que los nutrientes no están inmediatamente disponibles para las plantas de cardamomo. Primero el material debe pasar por un proceso de descomposición y liberación de los nutrientes. Los nutrientes liberados quedan sobre la superficie del suelo, en donde no hay raíces de cardamomo. Los nutrientes deben ser transportados por el agua al interior del suelo, cuya movilidad depende del elemento. En el caso del P, su movilidad es de unos pocos centímetros por lo que difícilmente entra en contacto con las plantas. Adicionalmente, hay elementos muy dinámicos como el N que puede perderse fácilmente por otras vías incluyendo la lixiviación y volatilización. Es importante también tomar en cuenta que la hojarasca está entre las calles de la plantación de cardamomo y que pocas raíces de la planta tendrían acceso a esos nutrientes. Esto significa que el aporte de nutrientes por descomposición de la hojarasca no es capaz de sostener la productividad del cultivo del cardamomo en la región.

Castellanos-Barliza (2011) extrae de Palma et al (1998) y de Schlesinger (2000) que la descomposición es importante para el mantenimiento de los sistemas. Sin embargo, si los nutrientes son liberados rápidamente pueden perderse por lixiviación edáfica o por volatilización como el caso de N. Por el contrario, si la descomposición es lenta, la disponibilidad de nutrientes para las plantas puede ser insuficiente, y limitar su crecimiento y desarrollo (Jordan 1985, Swift y Anderson 1989, Bubb et al. 1998, Montagnini y Jordan 2002). Debe comprenderse entonces que los nutrientes no están inmediatamente disponibles para las plantas por lo que es imprescindible aportar nutrientes a las plantas mediante un plan de fertilización.

CONCLUSIONES

- Únicamente el 35% de los sitios de los sistemas CL+CP se encuentra dentro del rango adecuado de sombra recomendado por varios autores. Es importante considerar la incorporación de la práctica de poda de los árboles de sombra como parte del manejo del sistema agroforestal del cardamomo.
 - La acumulación de MS y nutrientes en la hojarasca de los árboles de sombra y restos de plantas de cardamomo siguió el siguiente orden $CL > CP > CS$.
 - La concentración de nutrientes en la hojarasca presente en el sistema CP es menor a la concentración de nutrientes en la hojarasca de los sistemas CL y CS.
 - La tasa de descomposición de la hojarasca de plantas de cardamomo en el sistema CS fue mayor (k 1.03) a la tasa de descomposición de los sistemas CL y CP, los cuales presentaron similar tasa de descomposición (k 0.54 y 0.59, respectivamente).
 - La vida media de la hojarasca reciente sobre la superficie del suelo es de aproximadamente 0.74, 1.4 y 1.7 años en el sistema CS, CP y CL, respectivamente.
 - La tasa de descomposición se redujo con la altitud de ubicación de los sitios.
 - La cantidad de nutrientes acumulados en el tiempo en la hojarasca de los árboles de sombra y los restos de las plantas de cardamomo no son suficientes para la sostenibilidad y mejora de la productividad del cardamomo.
 - El aporte de nutrientes mediante la descomposición de la hojarasca del sistema agroforestal es un complemento a la nutrición de las plantas. Se hace necesario el suministro de nutrientes con la fertilización mediante el diseño de un plan de nutrición del cultivo.
-

AGRADECIMIENTOS

A los productores de cardamomo que apoyaron el estudio con la información sobre el manejo de sus plantaciones, así como el aporte de las muestras de suelo.

A las técnicas y técnicos de la Asociación de Exportadores de Cardamomo (ADECAR) que fueron un vínculo importante con líderes y productores que participaron en el estudio, así como parte crucial de la colecta de las muestras de suelo.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-043-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. (1984). Official methods of analysis (S. Williams, Ed.). 14th ed. Association of Official Analytical Chemists. Virginia, Estados Unidos de América.
- Arellano, R., J. Paolini, L. Vásquez y E. Mora. (2004). Producción y descomposición de hojarasca en tres agroecosistemas de café en el estado de Trujillo, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 48: 7-14.
- Baez Daza, E. (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. Tesis de maestría, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Colombia.
- Castellanos-Barliza, Jeiner y J.D. León Peláez. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 113-128.
- Cifuentes, R. y I. A. Flores. (2021). Características físicas y químicas de los suelos bajo producción de cardamomo en la región norte de Guatemala. *Revista UVG*. Este número.
- Das, A. K. y P. S. Ramakrishnan. (1985). Litter dynamics in khasi pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) of north-eastern India. *Forest Ecology and Management* 10:135-153.
- Díaz, V. (2014). Perfil Comercial Cardamomo. Dirección de Planeamiento: MAGA-Proyecto AdA-Integración Guatemala-Unión Europea. 11 p.
- Farfán-Valencia, V F y J.B. Urrego. (2007). Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 58 (1): 20-39. 2007.
- Janini, P. (2019). Shade Management in Cardamom: Towards Higher Productivity. *Agrobios Newsletter*. 13 (1): 53-54.
- Krishna, MP. y M. Mohan (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy Ecology Environment*. 2(4):236-249.
- MAGA. (2016). El agro en cifras. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, MAGA.
- Nair, P.K. (1989). Agroforestry systems in the tropics. Dordrech NL. Kluwer Academic Publishers. 664 p.
- Pedraza Franco, C. (2017). Bioecología del picudo *Cholus* spp. (COL.: Curculionidae) en cardamomo (*Elettaria cardamomum* (L) Maton) en el municipio de Jericó (Antioquia). Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Pradip Kumar, T.K. Hrideek, Jason Paul y K.M. Kurubilla, (2012). Shade Trees and its Importance in Cardamom Plantations. *Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants*. Vol. 14 (4): 22-27.
- Reuter, D.J. y J.B. Robinson. (2008). Plant analysis, an interpretation manual. 2nd. Ed. Publishers & Distributors PVT. LTD. New Delhi, India.
- Ruano, R. (2002). El cultivo de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) en Guatemala. ICTA. Guatemala. 43 p.
- Sadanandan, AK, S. Hamza y V. Srinivasan. (2000). Foliar nutrient diagnostic norms for optimizing cardamom production. In *Spices and Aromatic plants, Ind., Soc., for Spices, IISR, Calicut*, pp. 101-104.
- Sharma G, R. Sharma y E. Sharma. (2008). Influence of stand age on nutrient and energy release through decomposition in alder-cardamom agroforestry systems of eastern Himalayas. *Ecological Research.*; 23(1): 99-106.
- Villavicencio-Enríquez, L. (2012). Producción, pérdida de peso y tasas de descomposición de hojarasca en cafetales tradicional y rústico, y selva mediana, en Veracruz, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(2), 159-173.
- Zavala, W, E. Merino y P. Peláez. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501.