

ALMÁCIGOS DE CAFÉ CON DISTINTAS PROPORCIONES DE LOMBRINAZA EN SUELOS CON DIFERENTE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Alveiro Salamanca-Jiménez*; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi*

RESUMEN

SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN KH., S. Almacigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. Cenicafé 59(2):91-102.2008.

Con el propósito de estudiar el efecto de la lombrinaza sobre el crecimiento de almacigos de café, en ocho suelos de la zona cafetera colombiana con diferente contenido de materia orgánica (MO), se realizó un experimento en Cenicafé (Chinchiná, Caldas). Se evaluaron cuatro proporciones de lombrinaza en mezcla con suelo (v/v): 0, 25, 50 y 75%. Para cada proporción se llenaron 15 bolsas de almacigo y se sembró una plántula de café variedad Caturra por bolsa. Después de seis meses se determinó el peso seco de las raíces y de la parte aérea de las plantas. En siete suelos, la proporción 25% de lombrinaza aumentó el peso seco de las plantas entre 180 y 1.500% con respecto al suelo solo e independiente de los contenidos de MO. Las diferencias en la magnitud de la respuesta se asociaron con los cambios en el pH y los contenidos de Cu y K del sustrato. Las proporciones 50 y 75% de lombrinaza, afectaron negativamente el crecimiento de las plantas en todos los suelos.

Palabras clave: Abono orgánico, propiedades químicas, pH, potasio, crecimiento.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of earthworm manure on the growth of coffee seedlings in eight soils from the Colombian coffee region with different organic matter (OM) content, an experiment was carried out at Cenicafé (Chinchiná, Caldas). Four proportions of earthworm manure mixed with soil were evaluated: 0, 25, 50, and 75%. For each proportion, fifteen nursery bags were filled and one Caturra variety coffee seedling was planted per bag. After six months, root and shoot dry weight were measured. In seven soils, the proportion 25% of earthworm manure increased the dry weight of plants between 180 to 1500% compared to that of soil without manure and regardless the soil OM contents. The differences in its response magnitude were associated with changes in pH as well as in Cu and K contents of the substrate. Proportions 50 and 75% of earthworm manure affected negatively the plants growth in all the soils.

Keywords: Organic manure, chemical properties, pH, potassium, growth.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Los requerimientos nutricionales del cultivo de café varían según sus etapas de crecimiento, de las cuales se distinguen cuatro: germinativa, almácigo, vegetativa o levante y reproductiva (1).

Diversos estudios desarrollados en Cenicafé muestran que en la etapa de almácigo, el café responde positiva y significativamente a la aplicación de diversos abonos orgánicos, y en ocasiones, al fósforo. Una mezcla de suelo y pulpa de café bien descompuesta en relación 1:1, es suficiente para suplir las necesidades nutricionales del cafeto (14). Cuando se dispone de otros materiales orgánicos, la pulpa puede ser reemplazada en una proporción 3:1 (25%) por gallinaza (3, 21), cenichaza (22), lombrinaza de pulpa de café (19), estiércol vacuno (23) o pollinaza (3).

Independientemente de la variedad de café, la utilización de estas mezclas de sustrato en bolsas de 17 cm x 23 cm, permite un buen crecimiento de las raíces y de las plantas durante el almácigo, así como la obtención de cafetos bien desarrollados y con un mejor desempeño productivo en el campo, en comparación con plantas obtenidas en bolsas o cubetas plásticas de menor tamaño (20).

Por ello, actualmente la mezcla suelo:lombrinaza, en relación 3:1, es generalizada como recomendación para obtener buenos almácigos, independiente del contenido de materia orgánica (MO) presente en los diversos suelos de la zona cafetera colombiana.

La MO del suelo es uno de los productos más estables del proceso de descomposición de los residuos de plantas y animales, por acción de los microorganismos del suelo. Dichos residuos, también conocidos como

materiales orgánicos, se diferencian del humus porque presentan un estado inicial de descomposición química y biológica, y aún conservan su estructura o son muy semejantes a los compuestos originales (5).

La MO cumple un papel importante en la agregación y el mejoramiento de otras características del suelo. Al aumentar la MO disminuye la densidad aparente y la resistencia a la penetración, retiene la humedad (18), mejora el flujo del aire, aumenta la CIC y la capacidad buffer, y aporta elementos nutritivos, condiciones necesarias para un buen crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas (5, 16).

Según Suárez (25), el efecto benéfico de la MO en los cafetales se observa en la disminución de los requerimientos de fertilización química, mejor desarrollo y producción del cultivo y un aumento del pH y las bases del suelo, entre otros.

Suárez (24), Cardona y Sadeghian (6), y Salamanca y Sadeghian (18), reportan contenidos variables de MO para diversos suelos cultivados con café, a partir de los cuales se han estimado los contenidos de nitrógeno total (N), que de alguna manera condicionan la cantidad de sus formas disponibles para la nutrición de las plantas. Sadeghian (17) encontró que para 41 perfiles de suelo de la zona cafetera, el 89% de los incrementos del N en función de las variaciones de MO fue explicado mediante la ecuación cuadrática $N(\%) = -0,0547 + 0,0551MO(\%) - 0,0008MO^2(\%)$.

Dada la importancia de esta propiedad y su amplia variabilidad entre los suelos de la zona cafetera colombiana, el presente estudio buscó evaluar la respuesta del café en el almácigo a la adición de distintas proporciones de lombrinaza, en suelos con diferentes contenidos de MO. Lo anterior, con

el propósito de fortalecer la recomendación encaminada a utilizar adecuadamente la pulpa de café obtenida en las fincas y obtener almárgos de buena calidad, como medidas que conducen a establecer cafetales altamente productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre marzo de 2005 y enero de 2006, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, ubicado en el municipio de Chinchiná (Caldas, Colombia), a 5°0' de latitud Norte, 75°36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud. Durante el año 2005 se registraron las siguientes condiciones climáticas: precipitación 3.107 mm, temperatura media 21,5°C, humedad relativa 82% y brillo solar 1.715 horas.

Se utilizaron suelos provenientes de ocho localidades de la zona cafetera, con diferentes características geográficas y climáticas (Tabla 1), y unidades de suelos contrastantes en sus propiedades químicas, principalmente el contenido de MO (Tabla 2), aun entre suelos de una misma unidad cartográfica.

El suelo se recolectó en los primeros 15 cm del perfil, de un lote aledaño a un cafetal que no hubiera sido fertilizado en los últimos diez años.

Como material orgánico se utilizó lombrinaza procedente del beneficiadero de Cenicafé, obtenida a partir de la transformación de pulpa de café por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y por volteos continuos posteriores, durante dos meses.

Tabla 1. Características climáticas de los sitios de procedencia de los suelos.

Localidad	Municipio, Departamento	Unidad de suelo	Latitud N Longitud O	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm.año ⁻¹)	Evaporación (%)
Dagua	Dagua, Valle	200	03°39' 76°42'	1.390	19,0	4.800	1.220
San Antonio	Jamundí, Valle	200	03°13' 76°39'	1.567	19,9	2.160	1.170
Naranjal	Chinchiná, Caldas	Chinchiná	04°58' 75°39'	1.381	20,6	2.710	1.210
El Rosario	Venecia, Antioquia	Chinchiná	05°58' 75°42'	1.635	19,4	2.570	1.150
Paraguaicito	Buenavista, Quindío	Montenegro	04°24' 75°44'	1.203	21,3	2.130	1.250
Santander	Floridablanca, Santander	Paujil	07°60' 73°40'	1.539	20,0	1.400	1.170
Ibagué	Ibagué, Tolima	San Simón	04°28' 75°16'	1.353	19,9	1.890	1.220
Fredonia	Fredonia, Antioquia	Suroeste	05°58' 75°42'	1.635	19,4	2.230	1.150

Fuentes: Archivo de información climática, Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé; Eslava *et al.* (9); HIMAT (11).

Tabla 2. Características químicas de los suelos.

Unidad de Suelo	pH	N	MO	K	Ca	Mg	Al	CIC	P	Fe	Mn	Zn	Cu
		(%)		(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)				
200 - Dagua	5,1	0,27	6,1	0,18	1,7	0,8	0,4	14	2	161	42	0	5
200 - Jamundí	4,5	0,40	9,9	0,12	0,2	0,1	3,0	20	0	325	6	1	2
Chinchiná - Naranjal	5,0	0,35	8,3	0,15	0,9	0,3	0,4	21	2	123	13	4	8
Chinchiná - El Rosario	4,4	0,63	18,0	0,41	0,8	0,3	3,5	33	8	148	52	4	3
Montenegro	5,4	0,33	7,9	0,68	6,1	1,1	0,1	20	12	124	31	8	1
Paujil	5,0	0,48	12,5	0,32	3,5	1,1	0,7	15	4	407	26	3	2
San Simón	5,0	0,20	4,3	0,09	3,6	1,2	0,3	11	3	265	18	1	1
Suroeste	4,1	0,39	9,5	0,33	0,8	0,5	10,0	24	3	233	26	2	3

Fuente: Experimentos SUE 0521 y SUE 0539, Disciplina de Suelos, Cenicafé.

Este material orgánico se caracterizó por presentar una humedad de 58,8%, pH ligeramente alcalino (7,4), 60,2% de cenizas y las siguientes concentraciones de nutrientes en base seca: N 3,0%, P 0,3%, K 3,2%, Ca 1,8%, Mg 0,4%, Fe 10.801 mg.kg⁻¹, Mn 272 mg.kg⁻¹, Zn 82 mg.kg⁻¹, Cu 67 mg.kg⁻¹ y B 60 mg.kg⁻¹.

Por cada unidad de suelo se evaluaron cuatro tratamientos que consistieron en las relaciones suelo:material orgánico (v/v): 3:1, 1:1 y 1:3, equivalentes a las proporciones 25, 50 y 75% de lombrinaza, y un testigo con suelo sin abono orgánico (0%).

Por cada tratamiento, se llenaron 15 bolsas de almácigo de 17 cm x 23 cm y se sembró una planta de café variedad Caturra. Los cuatro tratamientos y las 15 repeticiones se distribuyeron bajo un diseño completamente aleatorio.

El almácigo fue instalado bajo una cubierta de polisombra (50%) y se manejó siguiendo las recomendaciones de Cenicafé (2). Seis meses después, para cada planta se midieron los pesos secos de las raíces, la parte aérea

y total, alcanzados durante esta fase, así como los cambios en algunas propiedades químicas del suelo para la proporción 25% y el suelo solo (Testigo). Se determinaron la retención de fósforo (RETP), según el protocolo descrito por Leamy *et al.* (12), y los niveles de pH, MO, K, Ca, Mg, Al, CIC, P, Fe, Mn, Zn y Cu, con base en las metodologías descritas por Carrillo (7).

La información obtenida para cada variable se analizó mediante estadística descriptiva, análisis de varianza bajo el modelo del diseño propuesto, tendencias lineal, cuadrática y cúbica, según la prueba F al 5%; prueba de Dunnett al 5% para comparar las tres proporciones de lombrinaza frente al testigo, prueba de Tukey al 5% para diferenciar la proporción y la unidad de suelo que mostraran los mayores promedios, y análisis de correlación entre las variables biológicas y algunas propiedades químicas del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso seco de las raíces. Para siete de las ocho unidades de suelo, el comportamiento del peso seco de las raíces en función de

las proporciones de lombrinaza evaluadas exhibió una tendencia de tipo cúbico (Figura 1); los mayores promedios de esta variable se obtuvieron con la proporción 25% de lombrinaza, la cual mostró diferencias significativas con el testigo (Dunnett 5%) y las otras proporciones (Tukey 5%). En orden decreciente, el mayor incremento del peso seco de las raíces con esta proporción ocurrió en el suelo de la unidad Suroeste, seguido por las unidades 200 - Jamundí, San Simón, Paujil, Montenegro, 200 - Dagua y Chinchiná - El Rosario. En la unidad Chinchiná - Naranjal, hubo un efecto negativo en el peso seco de raíces y éste fue más drástico a medida que aumentó la proporción de lombrinaza

(tendencia lineal). Con excepción del suelo de la unidad Suroeste, en el cual se registró un efecto benéfico de la proporción 50% sobre esta variable, en todas las unidades evaluadas con las proporciones 50 y 75%, se obtuvo una masa radical menor a la de las plantas sembradas en suelo solo. Lo anterior sugiere que al aumentar la proporción de lombrinaza por encima del 25%, se pueden crear condiciones desfavorables para el crecimiento de las raíces.

Peso seco de la parte aérea. El peso seco de la parte aérea exhibió un comportamiento similar al peso seco de las raíces (Figura 2), lo cual indica que su desarrollo en la

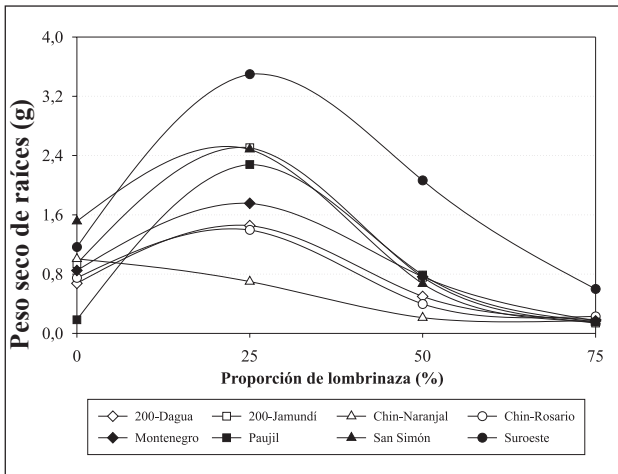


Figura 1. Peso seco de raíces en almácigos de café sembrados en suelos con diferentes proporciones de lombrinaza.

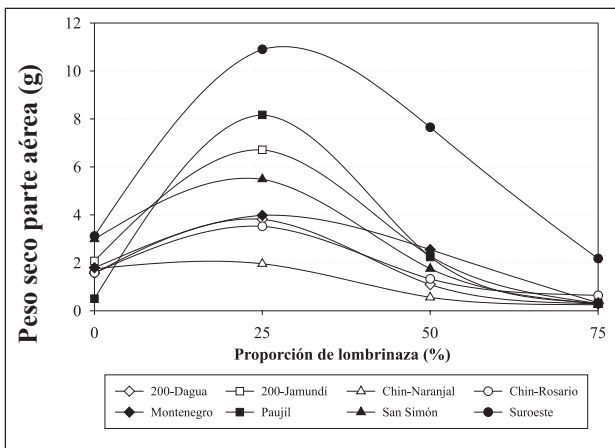


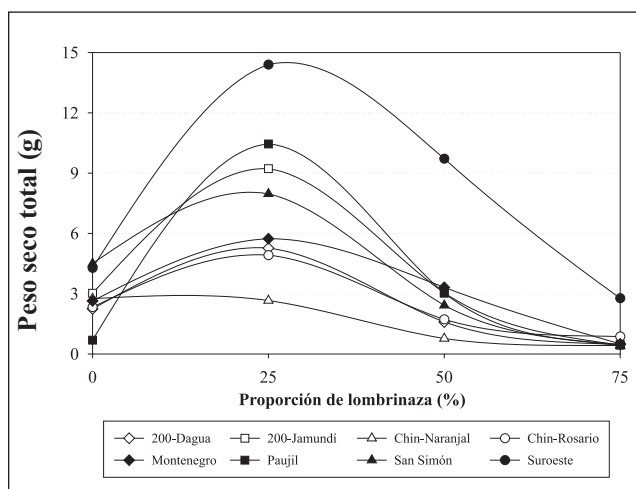
Figura 2. Peso seco de la parte aérea del café en almácigos, sembrados en suelos con diferentes proporciones de lombrinaza.

planta es resultado directo del desarrollo de éstas. El peso seco de la parte aérea en función de las proporciones de lombrinaza, presentó una tendencia cuadrática en las unidades Montenegro y Suroeste, mientras que en los otros suelos fue de tipo cúbico. Los mayores promedios también se obtuvieron con la proporción 25% (relación 3:1), y se observó una reducción significativa con las proporciones 50 y 75%, con respecto al testigo (Dunnnett al 5%). Los mayores promedios de esta variable con la proporción 25% fueron registrados en la unidad Suroeste, seguida por las unidades Paujil, 200 - Jamundí, San Simón, Montenegro, 200 - Dagua y Chinchiná - El Rosario, mientras que esta misma proporción en la unidad Chinchiná - Naranjal, no tuvo efecto alguno sobre la parte aérea de los cafetos. De igual manera, solo en el suelo de la unidad Suroeste se encontró un efecto positivo de la lombrinaza en proporción 1:1 (50%) en comparación con el suelo solo (Dunnnett al 5%), pero este promedio fue menor al peso seco de la parte aérea obtenido con la relación 3:1 (Tukey 5%).

Peso seco total. El peso seco total por ser una medición dependiente de las dos variables

anteriores, exhibió un comportamiento similar tanto por unidad de suelo como por proporción de lombrinaza (Figura 3). Con excepción de la unidad Chinchiná - Naranjal, para los suelos restantes se encontró un efecto positivo significativo (Dunnnett 5%, Tukey 5%) de la proporción 25% sobre el peso seco total de las plantas y la respuesta de esta variable dependió del tipo de suelo. Los mayores promedios se obtuvieron en la unidad Suroeste, seguidos por Paujil, 200 - Jamundí, San Simón, Montenegro, 200 - Dagua y Chinchiná - El Rosario, mientras que en la misma relación (3:1) los cafetos desarrollados en el suelo de Chinchiná - Naranjal presentaron un peso seco similar al obtenido en las plantas que crecieron en suelo solo. La tendencia de los datos para las unidades Montenegro y Suroeste fue de tipo cuadrático y para las unidades restantes fue de tipo cúbico. Aunque en el suelo de la unidad Suroeste la proporción 50% comparada con el testigo (Dunnnett 5%), presentó un efecto benéfico sobre el peso seco total de los cafetos, en todos los suelos se afectó negativamente (Tukey 5%) el crecimiento de las plantas de almácigo al incrementar la proporción de lombrinaza por encima del 25%.

Figura 3.
Peso seco total en almácigos de café sembrados en suelos con diferentes proporciones de lombrinaza.



Salazar (19) reporta que la utilización de lombrinaza en proporciones de 25, 50, 75 y 100%, aumentó el peso seco total de las plantas entre dos y cuatro veces con respecto al suelo solo, y que los mayores promedios se obtuvieron con la proporción 25% de lombrinaza más 75% de suelo.

En el presente estudio, los mayores pesos secos de las plantas obtenidos con la proporción 25% para siete de los ocho suelos confirman el efecto benéfico antes reportado para la mezcla recomendada por Cenicafé, en relación 3:1. Sin embargo, para las proporciones 50 y 75% se encontró una respuesta contraria a la reportada por Salazar (19). El efecto negativo de estas dos proporciones sobre el crecimiento del café, se asoció con el exceso de humedad y las condiciones típicas de anaerobiosis (mal olor y color grisáceo) observadas en los sustratos, causadas por la alta retención de humedad que presenta la lombrinaza. En un estudio similar, con un suelo clasificado como Inceptisol del municipio de Floridablanca (Santander), Ávila *et al.* (3) reportan que la humedad gravimétrica del sustrato alcanzó valores promedios de 110 y 175% para las proporciones 50 y 75%, respectivamente. Dicho exceso de humedad pudo constituir la principal restricción para el crecimiento de las raíces y, por ende, de las plantas, ya que según Fageria *et al.* (10), el exceso de humedad reduce la aireación del suelo y el suministro de oxígeno para las raíces e inhibe la actividad de microorganismos benéficos.

Al respecto, Obando (15) encontró que la presencia de períodos de anegamiento, en los cuales el suministro de oxígeno estuvo por debajo de los niveles críticos (tasa de difusión de oxígeno $< 30 \times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$), disminuyó drásticamente la producción de trigo, en términos de materia seca.

Vartapetian y Jackson (26) y Bhattarai (4), citan a varios autores y mencionan que los efectos de la falta de aireación o hipoxia sobre el crecimiento de las plantas, dependen de su duración e intensidad. A corto plazo, el crecimiento de las hojas y la elongación de tallo disminuyen severamente por la hipoxia en las raíces, como consecuencia de la falta de nitrógeno o de otros macronutrientes; a largo plazo, la baja tasa de crecimiento persiste debido a la acumulación de toxinas metabólicas o a la poca absorción de agua y nutrientes. Así mismo, las tasas de asimilación neta y fotosintética disminuyen en plantas que sufren déficit de oxígeno, debido al cierre de estomas y a modificaciones bioquímicas.

En los cafetos que crecieron con las proporciones 50 y 75% de lombrinaza, se observaron síntomas de toxicidad asociados a un posible estado incompleto de descomposición del material orgánico o un efecto adverso del aumento del pH. Según Avila *et al.* (3), al incrementar la proporción de lombrinaza se aumentó el pH del sustrato en forma lineal, aun por encima del rango considerado óptimo para café (5,0-5,5), hasta alcanzar niveles alcalinos donde se observaron deficiencias de hierro. Marschner (13), afirma que al aumentar el pH se limita la disponibilidad de Fe, Mn, Cu y Zn, y según Epstein y Bloom (8), así como el pH influye sobre el equilibrio, la solubilidad y la forma iónica predominante de los elementos en el suelo, también afecta el transporte de los iones a través de la membrana de las células epidérmicas y corticales de las raíces de las plantas.

Además del efecto citado para las proporciones de lombrinaza, se encontró un efecto significativo del tipo de suelo (Tukey 5%) sobre el comportamiento del peso seco total de las plantas.

Cuando las plantas crecieron en suelo solo (0%), la repuesta no estuvo relacionada con los contenidos de MO de las ocho unidades evaluadas. El mayor promedio del peso seco total fue obtenido en las unidades San Simón y Suroeste, seguidos por 200 - Jamundí, Chinchiná - Naranjal, Montenegro, 200 - Dagua, Chinchiná - El Rosario y el menor valor se registró en Paujil. Para la proporción 25%, hubo una mayor variación del efecto entre suelos; el mayor promedio se encontró en la unidad Suroeste seguida en orden descendente por Paujil, 200 - Jamundí, San Simón, Montenegro, 200 - Dagua, Chinchiná - El Rosario y el peso seco más bajo en el suelo de Naranjal. En las proporciones 50 y 75%, el efecto negativo del exceso de lombrinaza sobre el peso seco fue menor en la unidad Suroeste y no se presentaron diferencias estadísticas entre los siete suelos restantes.

Peso seco total relativo. Al expresar los pesos secos totales en términos de rendimiento relativo y asumir el promedio obtenido para el suelo solo, como un 100%, se puede inferir acerca de la magnitud de la respuesta a la utilización de lombrinaza. Los mayores

rendimientos relativos se obtuvieron para la unidad Paujil, seguidos de lejos en orden decreciente por las unidades Suroeste, 200 - Jamundí, 200 - Dagua, Montenegro, Chinchiná - El Rosario y San Simón, mientras que el suelo de la unidad Chinchiná - Naranjal mostró efectos negativos de la utilización de la lombrinaza (Tabla 3).

Las diferencias en crecimiento entre proporciones de lombrinaza y entre procedencias de los suelos (Unidades 200 y Chinchiná), así como en la magnitud de respuesta entre suelos dentro de la mejor proporción (25%), en comparación con los testigos (%), se explican por las variaciones de humedad mencionadas y por los cambios en algunas propiedades químicas, ocurridos al mezclar el abono orgánico, más no por los contenidos iniciales de materia orgánica de las unidades de suelo.

En la Tabla 4 se presentan las características químicas en el sustrato, para las proporciones 0 y 25%, medidas al finalizar la etapa de almácigo, momento en el cual se evaluaron los pesos secos de las plantas de café.

Tabla 3. Rendimiento relativo (%) del peso seco total, en almácigos de café sembrados en suelos con diferentes proporciones de lombrinaza.

Unidad de Suelo	Proporción de lombrinaza (%)		
	25	50	75
Paujil	1.518,6	440,4	67,3
Suroeste	336,1	226,8	64,8
200 - Jamundí	305,3	100,5	14,4
200 - Dagua	234,7	70,8	21,0
Montenegro	217,2	125,6	19,0
Chinchiná - El Rosario	210,9	73,8	37,2
San Simón	177,1	53,8	9,4
Chinchiná - Naranjal	96,6	28,0	15,3

A partir de la información referida en la Tabla 4, se resalta que la adición de lombrinaza en proporción 3:1 elevó el pH, los contenidos de MO y la CIC, así como la disponibilidad de K, Ca, Mg, P, Fe, Mn, Zn y Cu, a la vez que disminuyeron los contenidos de Al y la retención o fijación del P (RETP). Este efecto benéfico sobre las propiedades químicas del sustrato, es una de las razones por las cuales se aumentaron los pesos secos de raíces, la parte aérea y total de las plantas, en la mayoría de los suelos.

Al correlacionar dichas propiedades químicas con cada una de las variables biológicas evaluadas, las características químicas que explicaron significativamente el crecimiento de las plantas fueron los contenidos de K, Mg y P en el suelo (Tabla 5), los cuales exhibieron una relación lineal directa con los pesos secos.

Sin embargo, un análisis más detallado para los datos obtenidos a partir de las muestras donde se mezcló suelo y lombrinaza en relación 3:1 (25%), mostró que las variables

Tabla 4. Propiedades químicas de los sustratos con suelo solo y 25% de lombrinaza al finalizar la etapa de almácigo.

Unidad de suelo	Proporción lombrinaza (%)	pH	MO (%)	K	Ca	Mg	Al	CIC	P	Fe	Mn	Zn	Cu	RETP (%)
200 - Dagua	0	4,9	6,7	0,39	2,4	1,0	0,2	11	18	204	56	1	7	39,0
200 - Jamundí	0	4,6	11,1	0,17	0,7	0,4	2,5	22	3	566	6	2	2	75,8
Chinchiná - Naranjal	0	5,8	9,0	0,15	1,7	0,5	0,2	17	4	166	22	5	8	91,9
Chinchiná - El Rosario	0	4,8	16,4	0,35	0,8	0,3	4,1	34	7	218	59	4	4	95,3
Montenegro	0	5,5	7,8	0,22	3,8	0,5	0,3	15	26	158	52	5	1	62,5
Paujil	0	4,8	10,4	0,47	3,9	1,1	0,8	21	11	766	32	6	2	58,7
San Simón	0	4,9	4,7	0,2	3,4	1,1	0,5	9	13	340	21	1	2	SD*
Suroeste	0	4,1	9,6	0,43	0,8	0,5	9,5	19	10	224	30	3	3	85,2
200 - Dagua	25	5,5	10,4	1,56	6,3	2,3	0,1	16	32	294	56	5	8	35,3
200 - Jamundí	25	5,2	16,2	2,21	7,5	2,5	0,2	31	23	518	29	8	6	67,6
Chinchiná - Naranjal	25	6,2	12,0	2,35	11	3,9	0,1	29	14	352	57	14	11	80,9
Chinchiná - El Rosario	25	5,4	19,6	1,85	6,5	2,2	0,9	37	20	298	87	10	7	93,4
Montenegro	25	5,6	9,3	1,00	10,1	2,3	0,1	26	82	255	68	10	4	51,2
Paujil	25	5,5	18,0	2,31	11,4	3,6	0,1	24	70	1165	75	12	7	47,4
San Simón	25	5,7	7,4	1,70	7,3	2,4	0,1	14	71	602	45	5	5	SD
Suroeste	25	5,0	13,6	4,20	6,2	2,6	1,1	24	40	299	67	8	4	76,1

* SD: Sin dato RETP: Retención de fósforo.

edáficas que exhibieron una correlación significativa con los pesos secos de las plantas fueron pH y Cu, y en una menor proporción K (Tabla 6). Al parecer, el aumento del pH por encima de 5,0 y del contenido de Cu en algunas de las mezclas, redujo proporcionalmente los pesos secos, mientras que al elevar el contenido de K se aumentó linealmente la materia seca de la parte aérea de los almácigos.

Lo anterior explica que los mayores pesos secos obtenidos en la unidad Suroeste, se debieron al mayor incremento del pH al pasar de 4,1 a 5,0, y del K al pasar de 0,43 a 4,20 $\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$, en tanto que el Cu aumentó sólo en una unidad. Respecto a los menores pesos en el suelo de Chinchiná - Naranjal, aunque también aumentaron el pH y el K en el sustrato, el nivel de pH (6,2)

Tabla 5. Valores de correlación de Pearson y coeficientes de significancia (en paréntesis) entre los pesos secos (PS) de las plantas y los niveles de K, Mg y P, en el sustrato para las proporciones 0 y 25%.

	PS raíces	PS parte aérea	PS total
PS Parte aérea	0,96078 (<,0001)		
PS total	0,97703 (<,0001)	0,99781 (<,0001)	
K	0,76369 (0,0006)	0,84237 (<,0001)	0,82963 (<,0001)
Mg	0,52449 (0,0370)	0,59452 (0,0151)	0,58206 (0,0180)
P	0,60429 (0,0132)	0,57567 (0,0196)	0,58663 (0,0169)

Tabla 6. Valores de correlación de Pearson y coeficientes de significancia (en paréntesis) entre los pesos secos (PS) de las plantas y los niveles de pH, K y Cu, en el sustrato para la proporción 25%.

	PS raíces	PS parte aérea	PS total
PS Parte Aérea	0,93872 (0,0005)		
PS Total	0,96322 (0,0001)	0,99681 (<,0001)	
PH	-0,77940 (0,0226)	-0,75830 (0,0292)	-0,77152 (0,0249)
K	0,59845 (0,1170)	0,73622 (0,0373)	0,71243 (0,0474)
Cu	-0,77675 (0,0234)	-0,59805 (0,1173)	-0,64597 (0,0836)

excedió el rango adecuado para el cultivo del café. Es probable que condiciones físicas como la alta retención de humedad propia de los dos suelos de la unidad Chinchiná, hayan contribuido para que se encontraran las menores respuestas de las plantas a la aplicación de lombrinaza.

Finalmente, el incremento notable del peso seco en la mayoría de los suelos, con la adición de 25% de lombrinaza, permite concluir que independientemente del contenido de MO, la utilización de este abono orgánico, a partir de la pulpa de café en la relación 3:1 que recomienda Cenicafé, es la práctica más conveniente para obtener almárgos de café bien desarrollados y establecer cafetales altamente productivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todas las personas que contribuyeron a la realización de este estudio, especialmente a los jefes de las Subestaciones Experimentales de Cenicafé Juan Carlos García, Jhon Wilson Mejía, Celso Arboleda (q.e.p.d.) y Pedro María Sánchez, y a los Extensionistas Jairo Ramírez y Luis Ever Rodríguez, por su colaboración en la recolección de los suelos. A la Ing. Carolina Díaz Marín por su apoyo en la obtención de algunos datos y al personal de la Cooperativa Coopservín, que ayudó en la elaboración y manejo del almárgo.

LITERATURA CITADA

1. ARCILA P., J. Factores que afectan la adquisición de nutrientes por el cafeto. *In: Simposio Suelos de la Zona Cafetera Colombiana: Hacia el siglo XXI.* Chinchiná, Julio 24-28, 2000. Memorias. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 24 p. (Ponencia en disco compacto)
2. ARCILA P., J. Establecimiento y administración del cafetal. *In: ARCILAP., J.; FARFÁN V., F.; MORENO*

- B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2007. p. 87-99.
3. ÁVILAR, W.E.; SADEGHIAN KH., S.; SÁNCHEZ A., P.M.; CASTROF, H.E. Producción de almárgos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y de fósforo. *Avances Técnicos Cenicafé No.356: 1-12.* 2007.
4. BHATTARAI, S.P. The physiology of water use efficiency of crops subjected to subsurface drip irrigation, oxygation and salinity in a heavy clay soil. Rockhampton, Central Queensland University, School of Biological and Environmental Sciences, 2005. 326 p. (Thesis: Doctor of Philosophy in Plant Physiology/Horticulture)
5. BURBANO O., H. Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. *In: García O., A.; Valenzuela B., I.G. (Eds.). Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento.* Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2001. p. 109-128.
6. CARDONAC., D.A.; SADEGHIAN KH., S. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé 56(4): 348-364.* 2005.
7. CARRILLO, I.F. Manual de laboratorio de análisis de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 1985. 111 p.
8. EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sunderland, Sinaur Associates, 2004. 400 p.
9. ESLAVA R., J.A.; LÓPEZ G., V.A.; OLAYA T. G. Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia. *Colombia Geográfica 12(2): 53-118.* 1986.
10. FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. Growth and mineral nutrition of field crops. New York, Marcel Dekker, 1991. 476 p.
11. INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ADECUACIÓN DE TIERRAS – HIMAT. BOGOTÁ. COLOMBIA. Precipitación media mensual y anual (mm). Periodo 1961-1980. Bogotá, HIMAT, *s.f. s.p.* (Mimeografiado)
12. LEAMY, M.L.; CLAYDEN, B.; PARFITT, R.L.; KINLOCH, D.I.; CHILDS, C.W. Final proposal of the International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND). Wellington, New Zealand Soil Bureau. Department

- of Scientific and Industrial Research, 1988. (Circular Letter No 10).
13. MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889 p.
 14. MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé 28: 1-2. 1973.
 15. OBANDO M., F.H. El transporte del oxígeno en el suelo. Relaciones agrofísicas básicas. Manizales, Universidad de Caldas, Centro Editorial, 2002. 80 p.
 16. PRIMAVESI, A. Manejo ecológico del suelo; la agricultura en regiones tropicales. Buenos Aires, El Ateneo, 1984. 499 p.
 17. SADEGHIAN KH., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. Cenicafé 54(3): 242-257. 2003.
 18. SALAMANCAJ., A.; SADEGHIAN KH., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 56(4): 381-397. 2005.
 19. SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No.178: 1-2. 1992.
 20. SALAZAR A., J.N. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. Cenicafé 47(3): 115-120. 1996.
 21. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé 148: 1-2. 1990.
 22. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. El uso de la cenichaza como abono orgánico para almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé 162: 1-2. 1991.
 23. SALAZAR A., J.N.; MONTESINO S., J.T. Uso del estiércol de ganado como sustrato en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé 207: 1-4. 1994.
 24. SUÁREZ V., S. Características físicas de los suelos de la zona cafetera colombiana, relacionadas con el uso, manejo y conservación. *In*: Simposio Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Chinchiná, Julio 24-28, 2000. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 17 p. (Ponencia en disco compacto).
 25. SUÁREZ V., S. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé 283: 1-8. 2001.
 26. VARTAPETIAN, B.B.; JACKSON, M.B. Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany* 79 (Supplement A): 3-20. 1997.