

LA MATERIA ORGÁNICA:

Componente esencial en la sostenibilidad
de los agroecosistemas cafeteros

Siavosh Sadeghian Khalajabadi*



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



COMITÉ NACIONAL

Período 1º enero/07-diciembre 31/10

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Director del Departamento Nacional de Planeación

Juan Camilo Restrepo Salazar
Mario Gómez Estrada
Carlos Alberto Gómez Buendía
Carlos Roberto Ramírez Montoya
César Eladio Campos Arana
Darío James Maya Hoyos
Jaime García Parra
Héctor Falla Fuentes
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez
Crispín Villazón de Armas
Ramón Campo González
Jorge Cala Roballo
Hernán Román Calderón
Alfredo Yáñez Carvajal

Gerente General

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Administrativo

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

Gerente Financiero

JULIÁN MEDINA MORA

Gerente Comercial

JUAN LUCAS RESTREPO IBIZA

Gerente Comunicaciones y Mercadeo

LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

Gerente Técnico

RICARDO VILLAVECES PARDO

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
FERNANDO GAST

7E 7Bca 4Jb S12

SADEGHIAN K., S. La materia orgánica : Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná : Cenicafé, 2010. 61 p.

Abonos orgánicos, Suelos, Fertilidad del suelo, Humus, Propiedades del suelo

UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ

Editor:

Sandra Milena Marín L. I.A.

Diseño y Diagramación:

Carmenza Bacca Ramírez

Fotografía:

Gonzalo Hoyos Salazar

Imprenta:

Editado en Octubre de 2010

3.000 ejemplares

©FNC - Cenicafé 2010

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Contenido

Pag.

8



1. Introducción

11



2. Generalidades de la materia orgánica

13



3. Materia orgánica del suelo y su relación con otras propiedades del suelo

18



4. Fertilizantes orgánicos

26



5. Fertilización orgánica de los cafetales

52



6. Consideraciones y recomendaciones

56



7. Literatura citada

60



8. Abreviaturas y equivalencias



1 Introducción

La materia orgánica es uno de los componentes fundamentales de la naturaleza, pues a través de ella se sustenta la vida misma sobre el planeta; de allí, la importancia de conocerla en más detalle con el fin de propiciar acciones tendientes a su conservación y mejoramiento, mediante prácticas adecuadas de manejo. Los beneficios que se obtienen cuando este componente ingresa al suelo van más allá del aporte de los nutrientes para el desarrollo de las plantas. La materia orgánica afecta la naturaleza física, química y biológica de los suelos por medio de una mayor presencia y actividad de los organismos benéficos que contribuyen a crear un ambiente más sano y equilibrado, el control de algunos patógenos, el incremento de la porosidad del suelo, la retención del agua, la formación de estructuras más resistentes a la erosión, una mayor capacidad para retener elementos esenciales, establecer filtros para compuestos tóxicos y un ambiente más favorable para el crecimiento del sistema radical de las plantas. Por lo tanto, se espera que el mejoramiento de las propiedades del suelo vía materia orgánica, conlleve a incrementar la producción de las especies cultivadas, al mismo tiempo que se favorece el medio ambiente.

Dada la importancia que tiene el tema, en Cenicafé se han desarrollado diversos estudios para evaluar, por una parte, el contenido de la materia orgánica estable del suelo (MO), es decir el humus, en los diferentes agroecosistemas de la región cafetera del país y su relación tanto con otras propiedades del suelo como con el crecimiento y la producción del café y, por otra parte, el efecto de los diferentes abonos o materiales orgánicos, cuando se aplican solos o en combinación con los fertilizantes químicos y enmiendas.

En cuanto a la MO o humus se refiere, los estudios realizados señalan que los suelos de la región cafetera colombiana difieren en su contenido, pues los factores que gobiernan la formación de los suelos (material parental, clima, organismos, relieve y tiempo) presentan variaciones notables entre un sitio y otro. Son ejemplos de este contraste los suelos de la unidad San Simón, en el departamento de Tolima, con cerca de 3% de MO, y los de la unidad Timbío, en Cauca, con más de 25%. En general, se puede decir que los suelos originados a partir de cenizas volcánicas, con una representación del 40% en el área total de la zona cafetera del país, son más ricos en MO; sin embargo, también existen diferencias marcadas entre éstos, del 4% al 30%. Además, se ha demostrado que el humus del suelo es una fuente importante de nutrientes, especialmente de nitrógeno, lo cual ha permitido ajustar los planes de fertilización, con beneficios económicos y ambientales.

Con respecto a las variaciones en los contenidos de la MO entre sistemas de uso y manejo, las principales causas se relacionan con la cantidad y la calidad de los materiales orgánicos que ingresan sistema, tanto endógenos como exógenos, y las prácticas de conservación del suelo. Por ejemplo, los bosques, los guaduales y los cafetales tradicionales bajo sombrío de guamo, tienden a presentar niveles más altos, especialmente en la capa superficial, en los primeros 10 cm. En contraste, los potreros, cultivos como la yuca y los cafetales a libre exposición solar con prácticas inadecuadas de manejo, tienden a ser más pobres en MO. Basado en lo anterior, no resulta difícil tener en cuenta a la MO como un indicador de la sostenibilidad en los agroecosistemas cafeteros.

Cuando el contenido de la MO en el suelo es muy bajo (menor de 4% a 6%, de acuerdo al tipo de suelo), se deben tomar medidas que van más allá del control de la erosión y la aplicación de abonos orgánicos; es necesario entonces poner en práctica una serie de estrategias de manejo, principalmente el establecimiento de árboles y arbustos con aportes significativos de hojarasca.

Las investigaciones desarrolladas por Cenicafé han demostrado que mediante el uso a los abonos orgánicos es posible obtener resultados similares o mejores que con los fertilizantes químicos, siempre y cuando las cantidades que se apliquen sean las adecuadas. En este sentido, revisten importancia las altas dosis requeridas, la disponibilidad del abono, y por ende, los mayores costos en los que se incurren, tanto por el producto como los relacionados con su transporte y aplicación. La principal fuente de abono orgánico en las fincas cafeteras es la pulpa de café; sin embargo, en ocasiones ésta es arrojada a los ríos, generando contaminación. Sobre el tema, cabe resaltar que en los últimos años se ha creado más conciencia y normativas que regulan este tipo de acciones. Por lo general, la producción de la pulpa tiende a ser limitada, cerca de 900 kg de pulpa descompuesta con 70% de humedad por cada 100 arrobas de café pergamino seco, por eso es preferible utilizarla para condiciones estratégicas, como es la producción de almácigos y la recuperación de las áreas degradadas, donde hay mayor erosión. En departamentos como Santander y Boyacá, caracterizados por su alta producción avícola, el volumen de los materiales orgánicos que resultan como gallinaza y pollinaza, es considerable, y por lo tanto constituye una alternativa adicional. Otras fuentes las constituyen los estiércoles. Como sucede con la mayoría de cosas que se consideran benéficas, un exceso en el suministro de los abonos orgánicos puede generar contaminación y afectar negativamente el rendimiento de las cosechas; de allí los cuidados que se deben tener en cuenta en su manejo.

En este documento se hace una revisión de los estudios más relevantes sobre el tema. Inicialmente se presentan algunos conceptos sobre la materia orgánica, se tratan de manera general aspectos relacionados con la MO en la zona cafetera del país y su relación con las características del suelo, posteriormente se muestra información básica acerca de las fuentes orgánicas empleadas como fertilizantes y, por último, se hace un resumen de los resultados de algunas investigaciones sobre la nutrición orgánica del café en las diferentes etapas del cultivo.

Generalidades de la materia orgánica

2

La fracción orgánica del suelo es uno de los componentes más importantes de los ecosistemas, a través de ella se sustenta la vida misma sobre el planeta. Debido a la complejidad que la caracteriza, por lo general, su definición tiende a ser insuficiente e imprecisa, sin embargo, en un sentido amplio, se acepta que comprende: i) la biomasa del suelo, es decir, los tejidos intactos de todos los organismos vivos, ii) los restos reconocibles de plantas, animales y microorganismos en diferentes estados de descomposición, y iii) una mezcla de complejas sustancias orgánicas amorfas y coloidales, no identificadas como tejido, sintetizados por los microorganismos (8).

Los términos humus y materia orgánica del suelo (MO) pueden emplearse como sinónimos, y comprenden el total de los compuestos orgánicos en el suelo, sin incluir a los tejidos vegetales y animales sin descomponer, sus productos de "descomposición parcial" y la biomasa del suelo (49). El humus, por lo tanto, incluye las sustancias húmicas más los productos de resíntesis de microorganismos, los cuales son estables y forman parte del suelo (48).

Es común referirse a los materiales orgánicos empleados en la agricultura como humus, por ejemplo, humus de lombriz; afirmación que no es cierta, pues la formación del humus se da mediante procesos netamente pedogenéticos, es decir, que ocurren en el suelo, e involucra los cinco factores de la formación del mismo (material parental, organismos,



clima, relieve y tiempo). Al respecto, sería más preciso emplear términos como sustancias tipo humus (like humus), cuya composición se asemeja a las estructuras identificadas de las sustancias húmicas. En la Tabla 1 se encuentran algunas definiciones y terminologías relacionadas con la MO y sustancias húmicas del suelo.

El método de laboratorio comúnmente empleado para valorar la MO es el de Walkley-Black, el cual mediante una combustión húmeda, determina el contenido total del carbono orgánico de una muestra recolectada en el campo, que ha pasado por un tamiz de 2 mm. Para expresar el resultado obtenido en el laboratorio en términos del porcentaje de la MO, este valor se multiplica por 1,724, presumiendo que el 58% de la MO corresponde al carbono (C).

La MO es la fracción químicamente más activa del suelo, la cual almacena varios elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, estimula la estructura del suelo, contribuye a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), regula el pH, propicia las relaciones convenientes entre el aire y el agua en los suelos, y es un enorme depósito geoquímico de carbono-C (7).

La materia orgánica del suelo se compone principalmente de C (52% a 58%), oxígeno-O (34% a 39%), hidrógeno-H (3,3% a 4,4%) y nitrógeno-N (3,7% a 4,1%); otros elementos que se destacan son el fósforo (P) y el azufre (S) (48).

Tabla 1.
Términos
relacionados
con la materia
orgánica (MO)
y sustancias
húmicas.

Término	Definición
Residuos orgánicos	Tejidos de plantas y animales sin descomponer, y sus productos de descomposición parcial.
Biomasa del suelo	Materia orgánica presente como tejido microbial.
Materia orgánica del suelo (MO) o humus	El total de los compuestos orgánicos en el suelo con excepción de los tejidos vegetales y animales sin descomponer, sus productos de "descomposición parcial", y la biomasa del suelo.
Sustancias húmicas	Serie de sustancias de relativo alto peso molecular, de color pardo a negro, formadas por reacciones secundarias de síntesis. El término humus se usa como un nombre genérico para describir el material coloreado o su fracción, obtenida con base en características de solubilidad. Estos materiales son distintivos al suelo (o sedimento), medio en el que éstas se distinguen de los microorganismos y de las plantas superiores (incluyendo la lignina).
Substancias no-húmicas	Compuestos pertenecientes a clases bioquímicamente conocidas, tales como aminoácidos, carbohidratos, grasas, ceras, resinas y ácidos orgánicos. El humus probablemente contiene la mayoría, si no todos, los compuestos bioquímicos sintetizados por los organismos vivientes.
Humina	La fracción de la materia orgánica o humus insoluble en álcali.
Ácido húmico	Material orgánico de color oscuro, que se puede extraer del suelo por varios reactivos, y el cual es insoluble en ácidos diluidos.
Ácido fúlvico	Material coloreado, el cual se mantiene en solución después de remover el ácido húmico por acidificación.
Ácido himatomelánico	Porción de ácido húmico soluble en alcohol.

Tomado de Stevenson (49)

Materia orgánica del suelo y su relación con otras propiedades del suelo

3

En la región cafetera del país existe una gran diversidad de suelos originados a partir de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y cenizas volcánicas. Éstos contrastan en sus contenidos de materia orgánica (MO), es decir, el humus propiamente dicho. Los suelos derivados de cenizas volcánicas, con una representación cercana al 40% del área total, por lo general se caracterizan por presentar altos niveles de MO frente a los suelos originados de otros materiales parentales (Tabla 2).

El contenido de la MO, al igual que las demás propiedades del suelo, presenta una alta variabilidad aun a cortas distancias, como resultado de la acción e interacción de sus factores de formación (material parental, relieve, clima, organismos y tiempo). Lo anterior fue corroborado por Ochoa et al. (27) y Patiño (30), quienes midieron dicha variabilidad en seis lotes de café en producción, mediante muestreos sistemáticos que se realizaron cada 10 ó 20 m (Tabla 3). En la Figura 1 se pueden visualizar las variaciones registradas en una de las localidades (finca La Morada, ubicada en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca). Adicionalmente, cabe resaltar que los contenidos de la MO se reducen con la profundidad (Figura 2), comportamiento que corroboraron Salamanca y Sadeghian (41).



Tabla 2.
Contenido de materia orgánica (MO), en los primeros 20 cm de profundidad, en algunas unidades de suelo de la zona cafetera de Colombia.

Unidad de suelo	Material parental	Clase taxonómica	Rango de MO (%)	Departamento	Municipio
Chinchiná	Ceniza volcánica	Melanudands	8,7-14,3	Caldas	Chinchiná
Chinchiná	Ceniza volcánica	Melanudands	16,2-24,8	Antioquia	Venecia
Doscientos	Basalto	Dystropept	6,4-9,9	Valle del Cauca	Jamundí
Guadalupe	Arenisca	Dystropept	7,7-16,4	Huila	Pitalito
Montenegro	Ceniza volcánica	Fulvudands	4,1-9,4	Quindío	Buenavista
San Simón	Granito biotítico	Europept	3,2-7,9	Tolima	Ibagué
Suroeste	Aglomerados	Dystropept	13,9-19,4	Antioquia	Fredonia
Timbío	Ceniza volcánica	Melanudands	16,1-25,9	Cauca	Tambo
Salgar	Pizarra	Dystropept	6,9-12,8	Antioquia	Fredonia
Piendamó	Ceniza volcánica	Melanudands	18,2-29,9	Cauca	Piendamó
Fresno	Ceniza volcánica	Fulvudands	12,2-14,5	Tolima	Fresno
Guadalupe	Arenisca	Dystropept	9,4-17,3	Huila	Pitalito

Información tomada de investigaciones desarrolladas en la Disciplina de Suelos de Cenicafé.

Tabla 3.
Valores mínimos, máximos y promedios de la materia orgánica (MO) en seis lotes de café.

Sitio	Municipio	Departamento	Área del lote (ha)	Contenido la materia orgánica (%)			C.V. (%)
				Mínimo	Máximo	Promedio	
E.C. Naranjal*	Chinchiná	Caldas	1,0	10,80	16,80	14,26	7,9
S.E. Paraguaicito*	Buenavista	Quindío	1,0	5,20	9,80	7,10	14,8
S.E. Maracay*	Quimbaya	Quindío	1,0	6,60	14,70	10,26	14,1
S.E. Catalina*	Pereira	Risaralda	1,0	5,60	14,00	10,22	11,1
Finca La Morada**	Sevilla	Valle del Cauca	2,8	3,00	11,90	5,84	25,10
Finca Las Delicias**	Trujillo	Valle del Cauca	2,7	7,20	17,60	12,57	20,82

E.C.: Estación Central, S.E.: Subestación, *: Datos de Ochoa et al. (27), **: Datos de Patiño (30).

Son diversas las causas que generan dicha variabilidad, siendo la erosión y el aporte de materiales orgánicos las más importantes. En Cenicafé, se ha demostrado que las menores pérdidas del suelo en los cafetales se presentan en cultivos bajo sombra, principalmente por el efecto de la hojarasca (mulch), la cual actúa como un colchón que amortigua el impacto de las gotas de lluvia y reduce la escorrentía. Además, los residuos orgánicos incrementan la MO estable del suelo, con efectos benéficos sobre la infiltración, la retención de la humedad y la agregación de las partículas (18).

Lo anterior coincide con los reportes de Salamanca y Sadeghian (41) y Cardona y Sadeghian (11), quienes evaluaron los contenidos de la MO y su relación con otras propiedades del suelo en cuatro agroecosistemas de la zona cafetera. De acuerdo a los resultados obtenidos por estos autores, en los bosques y los guaduales, así como en los cafetales con sombrío de guamo (*Inga spp.*), donde son mayores los aportes de residuos orgánicos, se incrementa la MO en los primeros 10 cm de profundidad (Figura 3), lo cual trae beneficios en el suelo como la disminución de la densidad aparente, la densidad real y la resistencia

a la penetración, en tanto que aumenta la porosidad total, la estabilidad de agregados, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y la disponibilidad del nitrógeno nítrico (Figura 4).

Salamanca y Sadeghian (40) sostienen que una vez establecido el cafetal, el manejo del suelo debe orientarse a conservar o mejorar sus condiciones físicas y a protegerlo de la erosión. Algunas prácticas como el manejo integrado de arvenses y la adición de residuos orgánicos, por ejemplo, pulpa descompuesta, ramas de café después del zoqueo y hojarasca, contribuyen a incrementar la MO, y así reducir la compactación, mantener la humedad, mejorar la agregación y aumentar la porosidad del suelo, y a favorecer el desarrollo de las raíces del cultivo. Además, sugieren que en suelos con alta densidad aparente y bajos contenidos de MO, por ejemplo, los de las unidades San Simón, Salgar y 200, se deben incorporar una buena cantidad de materiales orgánicos en el hoyo para

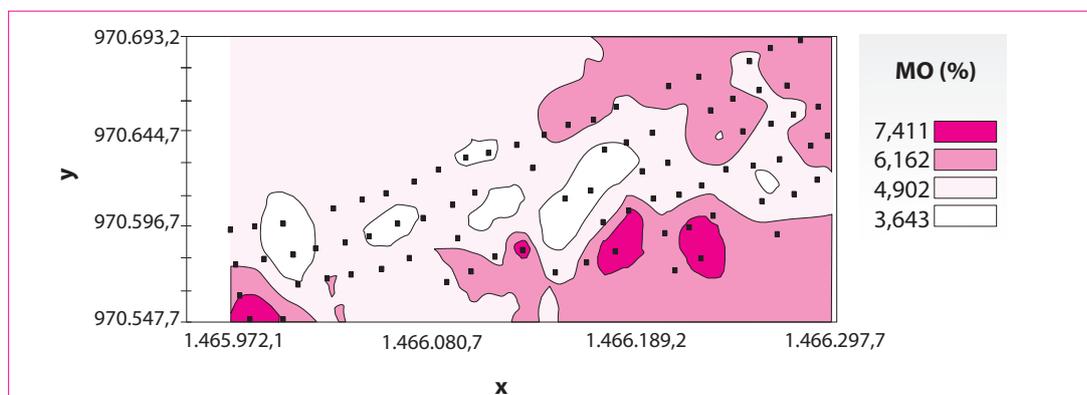


Figura 1. Mapas de isolíneas para el contenido de la materia orgánica del suelo (MO), en un cafetal de la finca La Morada (Municipio de Sevilla, Valle del Cauca). Tomado de Patiño (30).

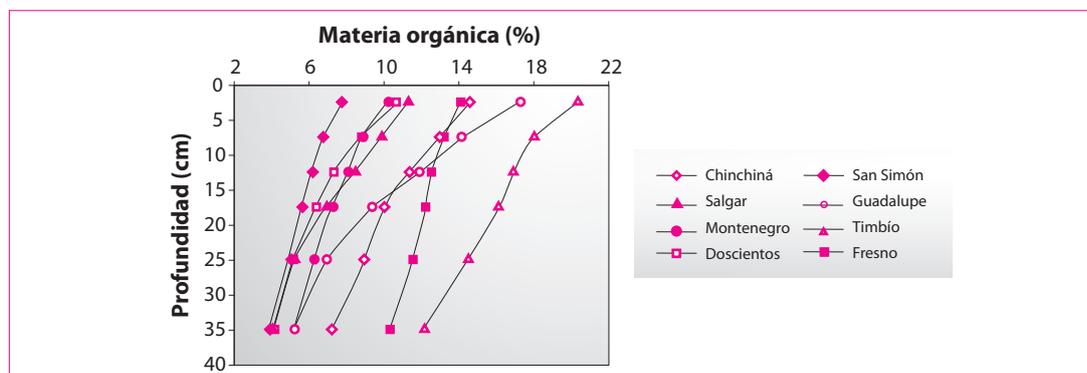


Figura 2. Variaciones de los contenidos de la materia orgánica (MO) con la profundidad, en ocho unidades de suelos de la zona cafetera. Tomado de Salamanca y Sadeghian (41).

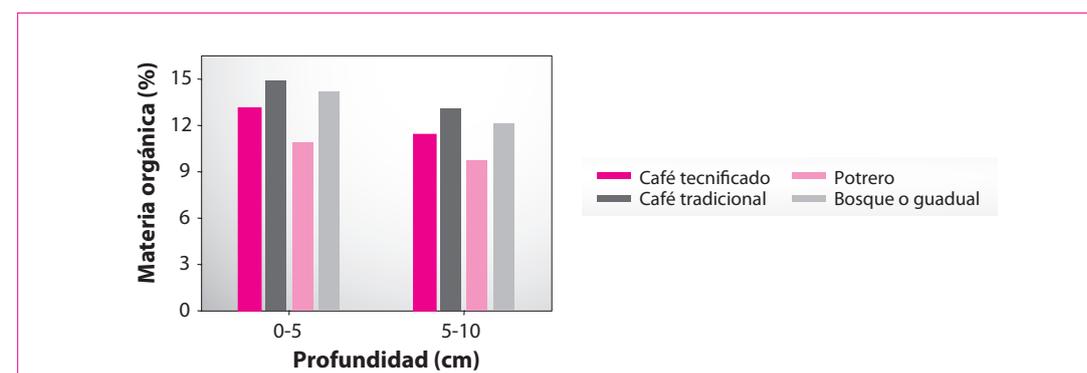
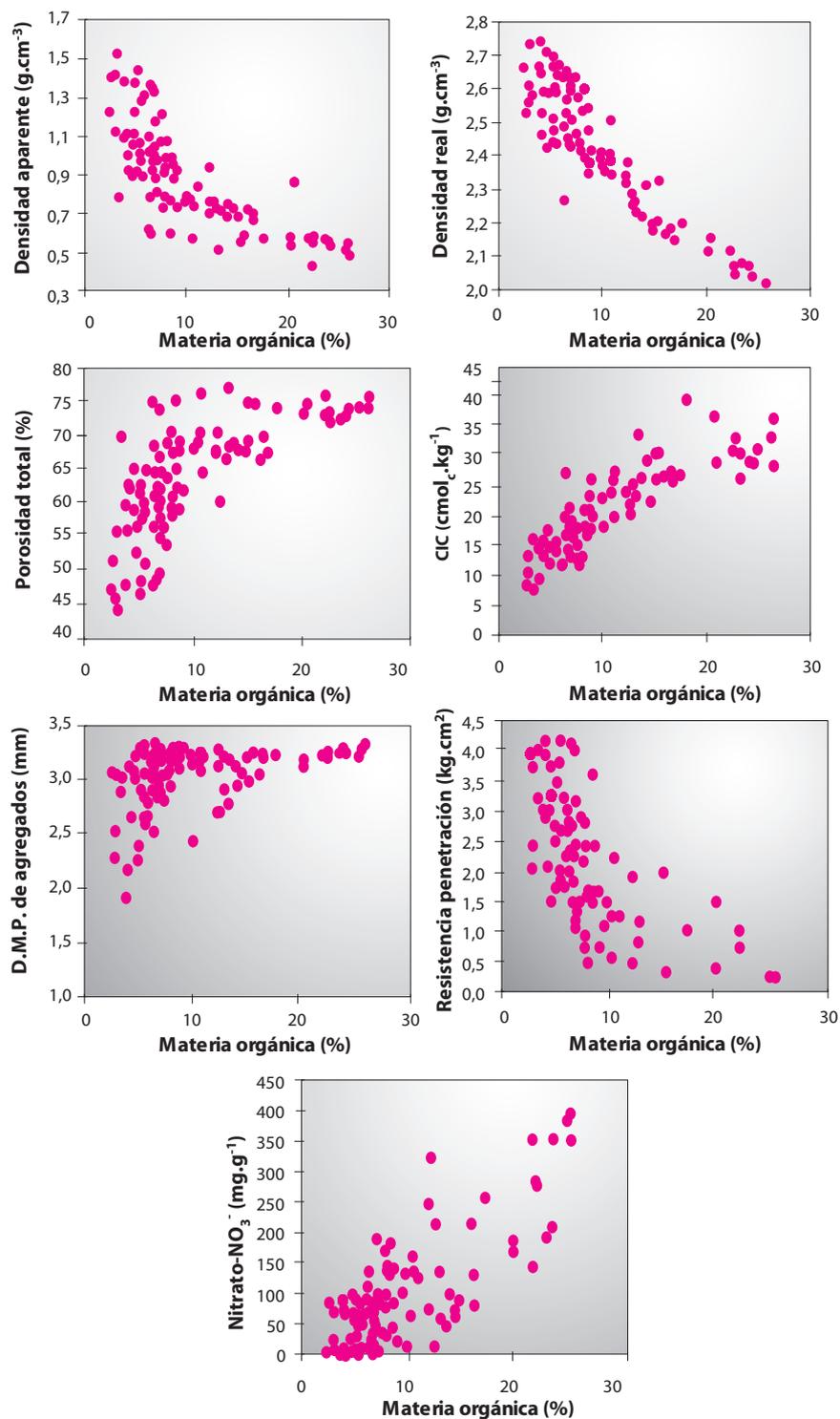


Figura 3. Contenido de la MO en cuatro agroecosistemas de la zona cafetera de Colombia (promedio de ocho unidades cartográficas de suelo). Tomado de Salamanca y Sadeghian (41).

Figura 4.
Relación entre
la MO y algunas
propiedades físicas
y químicas del
suelo.



CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico,
D.M.P.: Diámetro Medio Ponderado.
Datos de la Disciplina de Suelos de Cenicafé sin publicar. Adaptados de Salamanca y Sadeghian (41),
y Cardona y Sadeghian (11).

la siembra, con el fin de reducir la densidad del suelo, mejorar el contenido de nutrientes y permitir un buen anclaje y desarrollo de las raíces. Si se crean las condiciones físicas necesarias para que la planta de café crezca adecuadamente desde sus etapas iniciales, se puede esperar un mejor desarrollo y producción de los cafetales.

Uno de los elementos que puede generar toxicidad en las plantas es el aluminio (Al^{3+}); sin embargo, en Colombia rara vez se observan síntomas de dicha toxicidad en los cafetales, especialmente en aquellos con altos niveles de MO. Sobre el tema, Foth y Ellis (16) sostienen que en suelos ricos en MO, por ejemplo Histosoles, es poco probable que las plantas sufran de este problema, debido a la formación de complejos con el Al^{3+} . Ortiz et al. (28) analizaron la fracción orgánica y la capacidad complejante de la MO sobre el Al^{3+} , en 20 andisoles pertenecientes a las Unidades de Suelos Chinchiná, Montenegro, Timbío y Piendamó. Los resultados indican que no hay una relación directa entre la MO y la acidez total, y el complejo MO- Al^{3+} tiene concentraciones cercanas a cero, lo que indica que las altas concentraciones de Al^{3+} en estos suelos provienen probablemente de una fuente desconocida, no tóxica para las plantas.

A través del proceso de la mineralización, la MO llega a aportar considerables cantidades de nutrientes a las plantas, principalmente nitrógeno (N). Para la zona cafetera de Colombia se han desarrollado varios modelos matemáticos, con el fin de estimar el contenido total del N en función de la MO del suelo (12, 32). Estas expresiones, en su mayoría de tipo cuadrático, sugieren un incremento de este elemento hasta niveles cercanos a 30%-35% de la MO, valor después del cual ocurre un descenso del N, como consecuencia en la reducción de la actividad microbiana. Con respecto a lo anterior, el modelo más divulgado se obtuvo al analizar 1.174 parejas de datos con valores de N mayores de 0,05% y para MO mayores de 2,0% (Figura 5).

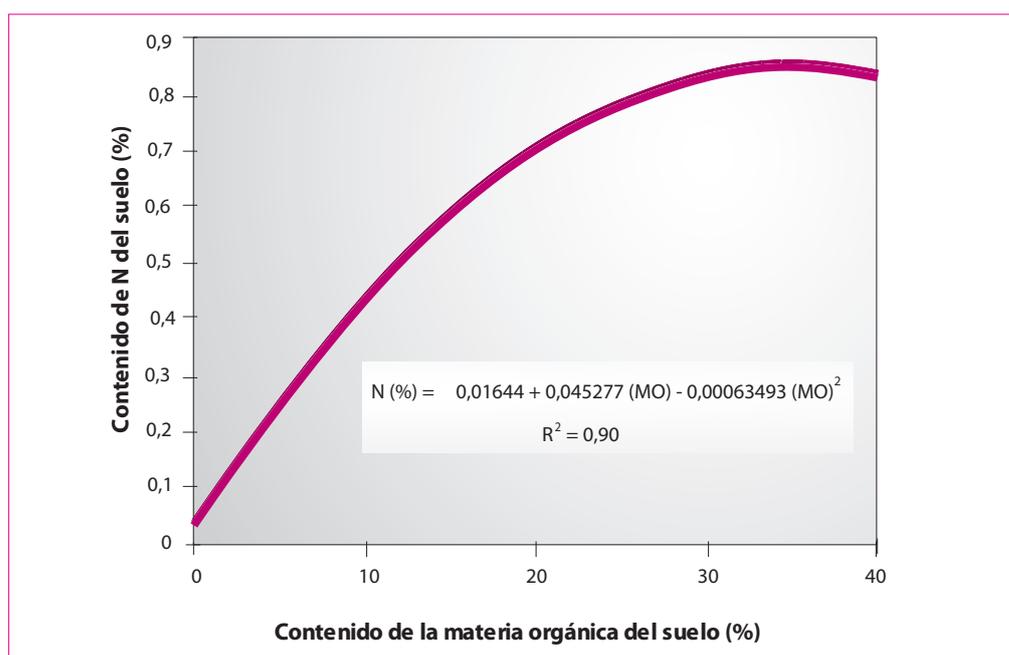


Figura 5. Contenido de N en función de la MO, en suelos de la zona cafetera de Colombia. Tomado de Carrillo y Chávez (12).



4 Fertilizantes orgánicos

4.1 Conceptos generales

A mitad del siglo pasado, cuando se desarrollaron las primeras investigaciones en torno a la nutrición de los cafetales, Rodríguez (31), definía los abonos como aquellos compuestos que una vez agregados al suelo tendían a mejorarlo en sus condiciones físicas y bioquímicas, pero con efectos relativamente retardados y de larga duración, en tanto que los fertilizantes, bien sea como compuestos o elementos, suplían las deficiencias nutricionales con un efecto generalmente inmediato. En una clasificación más detallada, este autor separaba los abonos en dos categorías: i) naturales: compuestos de origen animal (huesos, sangre, restos y estiércoles) y vegetal (en general, los abonos verdes, cultivos de cobertura y residuos de cosecha), y ii) artificiales: los abonos naturales de origen animal o vegetal, que se someten a tratamientos o descomposición antes de usarlos.

Hoy día el término fertilizante hace referencia a cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas uno o más de los nutrimentos esenciales; así mismo, se define al abono orgánico como fertilizante cuyo portador nutricional es un compuesto de tal naturaleza (19). Según Brady y Well (8) un fertilizante orgánico es aquel producto transformado, de sustancias de origen animal o vegetal, que contiene suficiente cantidad de nutrientes para las plantas, para ser valorado como fertilizante.

4.2 Fuentes comunes de Materia Orgánica en la Zona Cafetera

En las fincas cafeteras, la principal fuente de materia orgánica¹ es la pulpa fresca de café, debido a que en el proceso de la obtención de 1.250 kg de café pergamino seco (c.p.s.) (equivalentes a 100 arrobas), se generan cerca de 2.700 kg de este material orgánico.

La composición elemental de la pulpa presenta algunas variaciones, de acuerdo a la localidad y el manejo de la plantación; al respecto, Sadeghian et al. (38) encontraron los siguientes valores promedios para cinco muestras de pulpa fresca analizadas: 1,71% de N, 0,10% de P, 3,30% de K, 0,26% de Ca, 0,08% de Mg, 0,02% de S, 42,98 mg.kg⁻¹ de Fe, 24,30 mg.kg⁻¹ de Mn, 6,58 mg.kg⁻¹ de Zn, 24,10 mg.kg⁻¹ de Cu y 51,87 mg.kg⁻¹ de B. De acuerdo con estos valores y teniendo en cuenta que el 47% de los elementos extraídos por los frutos de café en la cosecha se encuentran en la pulpa, se puede afirmar que la pulpa generada en el proceso de la producción de 100 arrobas de c.p.s. contiene 10,2 kg de N, 1,4 kg de P₂O₅, 23,8 kg de K₂O, 2,2 kg de CaO, 0,8 kg de MgO y 0,4 kg de SO₄ (39).

Hace más de cinco décadas, Uribe (51) sostenía que los cafeteros de Colombia botaban anualmente “siete millones de pesos”, al no emplear como fertilizante la pulpa que se generaba en este entonces (860.000 t). Hoy, al hacer las mismas cuentas, podemos afirmar que en el país se generan cerca de 4.500.000 t de pulpa al año, las cuales pueden llegar a aportar las siguientes cantidades de nutrientes: 7.366 t de N, 1.022 t de P₂O₅ y 17.165 t de K₂O. Si las anteriores cifras se expresan en términos de los fertilizantes comerciales como son Urea, Fosfato diamónico (DAP) y Cloruro de potasio (KCl), su costo estaría cerca de los ochenta mil millones de pesos (\$ 80.000.000.000). Hoy día, cuando existe una mayor conciencia ambiental y económica, los caficultores cada vez más, emplean estos abonos orgánicos para la nutrición de los cafetales y la recuperación de áreas degradadas.

De acuerdo con López (22), 2 m³ de pulpa fresca generan 50,5 kg de pulpa descompuesta y seca al aire, los cuales equivalen a una producción de 12,9 arrobas de “c.p.s. de trilla”. Según esta proporción, 250 arrobas de “c.p.s. de trilla” generan una tonelada de “pulpa seca al aire”. En general, por cada 100 arrobas de café pergamino seco se generan cerca de 900 kg de pulpa descompuesta con 70% de humedad.

Es factible descomponer la pulpa fresca a través de volteos permanentes o mediante el empleo de la lombriz roja. En el proceso de la descomposición de la pulpa por la lombriz roja californiana, la masa inicial del material se reduce a una tercera parte (13), y ocurren cambios químicos importantes que determinan la calidad del abono resultante (Tabla 4), entre los que se encuentran: el incremento del pH y los contenidos de proteína, la fibra y los elementos mayores y menores, mientras que se reducen las grasas, el carbono orgánico, los carbohidratos solubles y la relación C/N (6).

¹ Se refiere a los materiales orgánicos comúnmente empleados como fertilizantes (abonos). Para referirse a la materia orgánica del suelo o humus propiamente dicho, en el texto se utiliza la sigla MO.

Otros abonos orgánicos de importancia, según las actividades agropecuarias que se desarrollan en cada región y finca, son: la gallinaza, la pollinaza, la porquinaza, la bovinaza y la cenichaza (mezcla de ceniza y cachaza, que resulta del proceso de la fabricación del azúcar), entre otros (Tablas 5 y 6). Las propiedades químicas de los anteriores abonos también pueden presentar diferencias frente a los reportados en la literatura, lo cual se relaciona con las variaciones en las condiciones agroclimáticas predominantes de la zona, en donde se obtienen las materias primas (principalmente clima y suelo), el manejo de las plantaciones y de los animales, y el proceso de la descomposición o del compostaje.

La mayoría de los abonos se caracterizan por presentar una acidez próxima a la neutralidad (pH cercano a 7,0), son más ricos en nitrógeno y potasio (K) que en otros elementos, como repuesta a la composición natural de los tejidos vegetales, y en ocasiones contienen altos niveles de calcio (Ca), debido a la adición de cales, principalmente para la desinfección de las “camas” de las aves. Un aspecto relevante para su valoración es la humedad del producto, ya que la concentración de los nutrientes está dada en base seca; por ejemplo, el N aportado por 100 kg de gallinaza de la Tabla 5 es mayor que el N aportado por otros abonos, como consecuencia de su baja humedad (18%).

Un punto a considerar en la valoración de los abonos orgánicos es su residualidad a través de tiempo. Al respecto, Machado (24) estima que éstos pueden tener efectos hasta de cuatro años después de su aplicación cuando se emplean en altas cantidades. López (22) rechaza la validez de lo anterior para la pulpa de café descompuesta, pues al aplicarlo en dosis crecientes (hasta 64 t.ha⁻¹) el tiempo de sustentación de N fue sólo de seis meses, el de K cuatro meses y el de Ca y Mg de un año. Resultados similares fueron obtenidos por Uribe y Salazar (54) al incorporar 6 kg de este abono en el hoyo de la siembra de café.

Tabla 4.
Análisis físico-químico de pulpa de café sola y mezclada con mucílago, en tres etapas del proceso de descomposición. Tomado de Blandón et al. (6).

Determinación	Pulpa de café sola			Pulpa de café mezclada con mucílago		
	Fresca	Pulpa de dos meses*	Lombrinaza**	Fresca	Pulpa de dos meses*	Lombrinaza**
Humedad (%)	74,83	79,60	78,05	87,90	83,33	79,48
pH	4,40	8,25	8,63	4,13	7,08	9,33
Cenizas (%)	6,66	14,68	44,06	7,30	10,17	50,21
Grasas (%)	1,60	1,49	0,16	2,00	1,82	0,20
Proteína (%)	11,00	19,91	23,25	12,11	18,14	25,89
Fibra (%)	11,43	29,47	12,55	17,16	25,04	16,84
CHO solubles (%)	69,31	34,47	20,00	61,44	44,83	6,86
MO (%)***	93,34	85,33	55,94	92,70	89,83	49,79
N (%)	1,76	3,19	3,72	1,94	2,90	4,14
C/N	30,72	15,55	8,73	27,95	18,60	6,98
P (%)	0,13	0,23	0,44	0,13	0,18	0,31
K (%)	2,82	6,55	9,64	2,75	3,79	5,50
Ca (%)	0,32	0,75	1,15	0,37	0,75	1,30
Mg (%)	0,08	0,18	0,21	0,11	0,18	0,25
Fe (mg.kg ⁻¹)	158,75	1.575,00	3.062,50	700,00	1.170,00	2.201,67
Mn (mg.kg ⁻¹)	69,00	95,50	163,33	43,00	96,50	179,83
Zn (mg.kg ⁻¹)	8,25	76,00	149,17	45,75	83,50	118,67
Cu (mg.kg ⁻¹)	9,75	15,00	6,92	17,75	17,00	7,33
B (mg.kg ⁻¹)	21,75	45,00	73,67	18,75	38,00	67,08

* Pulpa apilada durante dos meses, antes de ser llevada a los lombricultivos. Correspondió a una pila de 600 kg, sin volteos.

** Con un tiempo de dos meses. Peso final 182 kg.

*** Diferencia entre materia seca (%) y cenizas (8%).

Referencia	pH	N	P	K	Ca	Mg	Cenizas	Humedad
	(%)							
Pulpa descompuesta	5,9	2,99	0,19	2,52	1,74	0,40	19	58
Lombrinaza	6,6	2,62	0,41	2,08	1,81	0,40	43	61
Gallinaza	8,4	1,49	1,81	2,21	12,28	0,88	45	18
Pollinaza	8,7	2,07	2,20	3,03	5,80	0,91	37	39
Bovinaza	8,0	1,53	0,69	1,96	1,93	0,81	53	39
Porquinaza	SD	2,21	1,65	1,15	5,40	1,00	30	SD
Bocashi	7,9	1,31	1,04	0,97	4,02	0,79	64	41

SD: Sin dato

Tabla 5. Propiedades de algunos abonos orgánicos analizados en el laboratorio de la Disciplina de Suelos de Cenicafé.

Abono orgánico	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(mg.kg ⁻¹)				
Pulpa	3.322	176	86	33	67
Lombrinaza	5.507	312	133	61	84
Gallinaza	3.201	447	263	63	48
Pollinaza	3198	599	478	438	83
Bovinaza	4.950	428	122	26	69
Porquinaza	3.689	854	183	136	34
Bocashi	923	386	154	209	164

Tabla 6. Contenido de elementos menores en algunos abonos orgánicos analizadas en Cenicafé.

Otras fuentes importantes las constituyen los materiales orgánicos que resultan de los aportes de árboles de sombrío o de abonos verdes que se pueden establecer en asocio con el café, durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo. Los guamos (*Inga spp.*) están entre las especies más empleadas en Colombia como sombrío permanente. De acuerdo a los resultados de la investigación realizada por Cardona y Sadeghian (10), en el municipio de Chinchiná (Caldas) y la vereda Albán (municipio de El Cairo, Valle del Cauca), la cantidad del material orgánico que el sistema café y guamo llega a aportar (cerca de 11 t.ha⁻¹.año⁻¹) es más del doble que el del monocultivo de café (menor a 4,5 t.ha⁻¹ año⁻¹), con suministros importantes de nutrientes (Tabla 7). Con la finalidad de cuantificar la descomposición de la hojarasca, se ubicaron muestras de 100 g (materia seca) de

Nutriente	Chinchiná		Albán	
	Café y guamo	Café	Café y guamo	Café
N	199,24	92,17	219,37	98,26
P	7,73	4,7	13,75	8,58
K	48,87	36,3	55,53	55,15
Ca	158,05	54,61	187,05	77,71
Mg	27,31	5,98	30,66	14,59
Fe	1,27	1,18	1,24	0,71
Mn	0,99	0,94	2,34	1,16
Zn	0,21	0,04	0,19	0,07
Cu	0,15	0,06	0,17	0,14
B	0,21	0,2	0,22	0,27

Tabla 7. Estimación de los aportes anuales de nutrientes (kg. ha⁻¹) del material orgánico, en dos localidades de la zona cafetera.

cada especie en el campo. En la Tabla 8 se presenta el peso seco remanente de la hojarasca, durante 360 días, en los dos sistemas; estos datos se utilizaron para generar las ecuaciones de las tasas de descomposición, mediante el modelo $y = y_0 e^{-kt}$ (Tabla 9). Los resultados señalan que la velocidad de la descomposición de la hojarasca de café es similar al sol y bajo sombra, y es mayor a las del guamo (Tabla 10). En la Figura 6 se puede observar el comportamiento de la descomposición de los materiales a través de tiempo, generado a partir de las ecuaciones de la Tabla 9. Adicionalmente, se presentan las tendencias de la celulosa, utilizado como material de control.

Tabla 8.
Peso seco remanente de cada material (g) a través de tiempo.

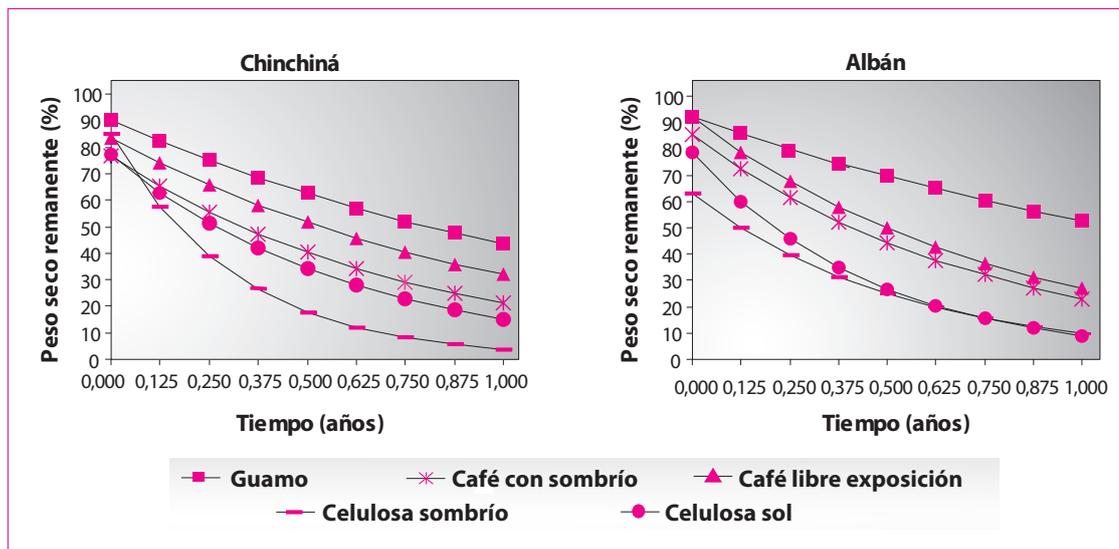
Día	Chinchiná			Albán		
	Guamo	Café con sombrero	Café a plena exposición	Guamo	Café con sombrero	Café a plena exposición
0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
45	83,51	58,62	71,06	87,70	70,73	79,52
90	68,27	49,65	58,96	78,55	58,28	63,39
135	64,82	45,81	55,31	69,92	45,78	54,03
180	61,05	35,57	48,31	66,83	39,72	45,21
225	54,43	31,58	43,00	62,41	38,27	44,67
270	52,90	30,52	41,71	58,70	36,60	43,34
315	51,90	27,71	39,81	58,24	28,57	29,77
360	42,88	21,51	32,19	55,93	22,48	26,56

Tabla 9.
Ecuaciones de descomposición de la hojarasca y coeficientes de determinación.

Material foliar	Chinchiná		Albán	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
Guamo	$y = 90,108e^{-0,7332t}$	0,9367	$y = 92,412e^{-0,5665t}$	0,9356
Café con sombrero	$y = 76,898e^{-1,2986t}$	0,9229	$y = 85,381e^{-1,3066t}$	0,9524
Café al sol	$y = 79,325e^{-1,8336t}$	0,8457	$y = 91,973e^{-1,2268t}$	0,9598

Tomado de Cardona y Sadeghian (10).

Figura 6.
Variación del peso seco remanente (%) de los materiales a través de tiempo. Tomado de Cardona y Sadeghian (10).



Material foliar	Chinchiná	Albán
Guamo	0,85 B	0,58 B
Café bajo sombrío	1,44 A	1,51 A
Café libre exposición	1,70 A	1,39 A

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios según prueba de Duncan al 5%.

Tabla 10. Comparación de las tasas de descomposición k (año⁻¹).

Suárez y Carrillo (50) midieron la descomposición de las hojas de tres leguminosas y otros materiales orgánicos empleados como mulch en la zona cafetera, a través de tiempo. En general, hubo una rápida mineralización de las leguminosas y de la pulpa que perdieron el 60% del peso al segundo mes (Tabla 11). El contenido inicial de nitrógeno en las leguminosas fue mayor que los demás materiales evaluados, pero se redujo notablemente al final de la evaluación; la pulpa de café se caracterizó por presentar los valores de potasio más altos. Con la descomposición, los contenidos de nitrógeno y de potasio se redujeron notablemente, comportamiento que no ocurrió de manera marcada para calcio y magnesio (Tabla 12).

Material vegetal (mulch)	Porcentaje de pérdida en el peso*			
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Total
<i>Crotalaria anagyroides</i>	39,8	20,4	4,8	65,0
<i>Crotalaria stectabilis</i>	27,8	39,8	3,8	71,0
<i>Pueraria phaseoloides</i>	28,5	15,3	25,2	69,0
<i>Paspalum fasciculatum</i>	8,9	6,3	21,5	36,7
Hojas de café	19,9	13,8	9,3	43,0
Pulpa de café	47,4	13,6	5,4	66,4

* Peso inicial 150 g. Tomado de Suárez y Carrillo (50).

Tabla 11. Descomposición de la pulpa de café y otros materiales, a través del tiempo.

Material vegetal (mulch)		Nitrógeno		Potasio		Calcio		Magnesio	
		Ini.	Fin.	Ini.	Fin.	Ini.	Fin.	Ini.	Fin.
<i>Crotalaria anagyroides</i>	Conc. (%)	3,6	3,5	2,0	0,14	2,1	8,2	0,34	0,47
	Cont. (mg)	5.400	1.829	3.000	63	3.325	4.331	510	245
<i>Crotalaria stectabilis</i>	Conc. (%)	4,0	4,7	1,2	0,05	1,1	3,8	0,42	0,53
	Cont. (mg)	6.100	2.068	1.845	22	1.650	1.703	720	233
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Conc. (%)	3,9	3,2	1,3	0,17	0,9	2,7	0,16	0,23
	Cont. (mg)	6.000	1.540	1.950	80	1.330	1.289	240	108
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Conc. (%)	1,8	2,5	1,6	0,79	0,3	0,4	0,24	0,33
	Cont. (mg)	2.700	2.375	2.430	750	450	418	360	313
Hojas de café	Conc. (%)	1,8	2,0	1,3	0,62	1,3	2,0	0,29	0,48
	Cont. (mg)	2.700	2.210	2.025	527	2.025	1.744	435	408
Pulpa de café	Conc. (%)	1,9	3,5	2,8	1,95	3,3	1,2	0,10	0,28
	Cont. (mg)	2.850	1.764	4.230	983	525	605	150	141

Tabla 12. Contenido de nutrientes al inicio y al final de 3 meses de descomposición, encontrados en la pulpa de café y otros materiales empleados de la zona cafetera. Tomado de Suárez y Carrillo (50).



Los abonos verdes, en especial los que provienen de las leguminosas, pueden ser importantes fuentes de nutrientes, principalmente de N. Para condiciones de la Estación Central Naranjal, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), Jiménez et al. (21) evaluaron la producción de biomasa y el aporte de nutrientes de guandul (*Cajanus cajan*), crotalaria (*Crotalaria juncea*) y tephrosia (*Tephrosia candida*), establecidas en tres densidades. Dada la alta cantidad de nutrientes que aportan estas especies (Tabla 13), los autores recomiendan tenerlas en cuenta para emplearlas dentro de los programas de fertilización orgánica de los cafetales.

Para las condiciones de la zona norte de Colombia (Subestación Pueblo Bello, departamento de Cesar), García (17) determinó la respuesta a la fertilización de café variedad Tabi en un sistema agroforestal con *Erythrina fusca*. Los tratamientos consistieron en la combinación de tres frecuencias de podas anuales de *Erythrina* (cada 90, 180 y 360 días) y tres niveles de fertilización de café (100%, 50% y 0% de lo recomendado según análisis de suelos). Los resultados obtenidos indicaron mayores promedios en la producción con el 100% de la fertilización, más no se encontró efecto de la poda de la *Erythrina* o su interacción con la fertilización (Tabla 14). La biomasa total de la *Erythrina* se redujo conforme a las podas; en promedio, con una poda anual se generaron 3,5 t.año⁻¹ de biomasa seca, de la cual el 34% correspondió al follaje, y con dos y tres podas anuales se registró menos de 1,5 t.año⁻¹, de las cuales el 50% fue del follaje.

Entre las especies forestales que se establecen en asocio con café en algunas regiones de Colombia se encuentran el nogal (*Cordia alliodora*), el pino (*Pinus oocarpa*) y el eucalipto (*Eucalyptus grandis*), las cuales llegan a aportar importantes cantidades de residuos orgánicos y nutrientes mediante el ciclaje. Farfán y Urrego (15) midieron la producción de

Tabla 13. Aportes de biomasa (en base seca) y nutrientes transferidos por tres especies leguminosas durante 180 días. Promedio obtenido de tres densidades de siembra (60.000, 86.000 y 172.000 plantas/ha).

Especie	Biomasa (t.ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
		(kg.ha ⁻¹)				
C. cajan	7,64	136,8	16,9	127,3	25,0	7,2
C. juncea	4,17	128,2	14,3	96,2	23,8	8,8
T. candida	5,43	153,7	14,8	105,4	18,9	8,9

Tomado de Jiménez et al. (21).

Tabla 14. Producción de café cereza (kg/parcela) de la variedad Tabi en la zona norte de Colombia, obtenida bajo diferentes niveles de fertilización y podas de *Erythrina fusca*.

Frecuencia de poda	Nivel de fertilización (%)		
	0	50	100
Cada 90 días	32,5	42,5	55,3
Cada 180 días	39,1	41,8	48,4
Cada 360 días	36,3	28,8	41,2

Tomado de García (17).

biomasa y la transferencia de nutrientes de estas especies en la Subestación Paraguaicito (Buenavista, Quindío). La materia seca generada por el café a libre exposición solar, durante dos años, fue de $4,9 \text{ t.ha}^{-1}$, y en asocio con nogal, pino y eucalipto fue de 3,8, 4,6 y $4,1 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente; así mismo, se reportan los siguientes valores promedio para la biomasa aportada por las tres especies forestales: nogal $3,5 \text{ t.ha}^{-1}$, pino $6,7 \text{ t.ha}^{-1}$ y eucalipto $6,4 \text{ t.ha}^{-1}$. En la Tabla 15 se observa la tasa de descomposición mensual del follaje, la concentración inicial de nutrientes en las hojas y el porcentaje de nutrientes transferidos por cada una de las especies objeto de estudio durante un año.



Tabla 15. Tasa de descomposición de la hojarasca (k), concentración inicial de nutrientes en las hojas y porcentaje de nutrientes transferidos al suelo por el café y tres especies forestales en asocio con café, durante un año, en la Subestación Paraguaicito.

	Café al sol	Nogal	Pino	Eucalipto
	Tasa de descomposición mensual del follaje (k.año^{-1})			
	1,00	0,78	0,26	0,72
Nutrientes	Concentración inicial de nutrientes (%)			
N	2,81	1,44	0,48	0,78
P	0,19	0,07	0,02	0,05
K	1,23	0,80	0,18	0,59
Ca	1,7	5,50	0,45	1,07
Mg	0,33	0,80	0,06	0,14
	Transferencia de nutrientes por año (%)			
N	64,8	33,3	23,6	0
P	82,9	54,4	35,5	0
K	96,7	93,6	89,3	64,5
Ca	34,3	54,0	28,5	0
Mg	63,1	67,4	39,9	0

Densidad de siembra: café 4.444 plantas/ha, especies forestales 278 plantas/ha. Tomado de Farfán y Urrego (15).



5 Fertilización orgánica de los cafetales



5.1 Etapa de almácigo

Una vez que la “chapola” o la plántula de café alcance el tamaño óptimo en el germinador, ésta se transplanta a una bolsa plástica con suelo solo o suelo en mezcla con materia orgánica, lugar en el que permanecerá entre cuatro y seis meses, según el tamaño de la bolsa empleada, la fertilidad del sustrato y las condiciones climáticas predominantes (humedad, temperatura y luz, principalmente).

Contar con un almácigo vigoroso es el primer paso para el establecimiento exitoso de los cafetales y su permanencia en el campo durante los próximos 20 años; de allí, la necesidad de llevar a cabo labores que contribuyan en su obtención. Una de las prácticas de mayor importancia para lograr lo anterior se fundamenta en el empleo de abonos orgánicos de buena calidad, que además de proporcionar los nutrientes que demanda la planta en esta fase, mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo para el crecimiento de raíces. Cabe resaltar que la efectividad de los abonos orgánicos puede favorecerse si éstos se mezclan con el suelo, labor que solamente es posible realizar en

el almácigo y al momento de la siembra; además, en la mayoría de las veces la cantidad total del abono orgánico requerido por bolsa de 2.000 cm³ no supera los 500 cm³, lo que equivale a 5,0 m³.ha⁻¹ si la plantación tiene una densidad de 10.000 árboles/ha.

5.1.1 Pulpa de café descompuesta

Mestre (25) llevó a cabo una investigación para determinar la respuesta de café a la pulpa descompuesta en la fase de almácigo. Los tratamientos consistieron en cuatro proporciones de la mezcla de pulpa:suelo: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 (v/v¹). Al incrementar la proporción de la pulpa con relación al suelo, los promedios del peso seco y la altura las plantas se incrementaron (Figura 7); sin embargo, el autor considera que la mejor proporción de mezcla es 50:50, pues con la adición de mayores cantidades de pulpa (75:25) sólo se presenta un crecimiento muy leve.

En un experimento que se desarrolló tanto en el invernadero como en el campo, Valencia (55) determinó el efecto de la pulpa de café descompuesta (una parte de pulpa por tres partes de suelo), sobre el vigor de las plantas de café, seis meses después del transplante de la plántula (chapola). Los resultados obtenidos demostraron las bondades de la pulpa descompuesta en la preparación del sustrato tanto en el almácigo (obtenido en el invernadero) como en el hoyo de la siembra (campo), al encontrar que el peso fresco y la altura de las plantas en el tratamiento con pulpa eran estadísticamente mayores a los presentados en las plantas del tratamiento de suelo solo (Tabla 16).

En un experimento Mestre (26) valoró el efecto de i) la pulpa de café descompuesta, ii) la pulpa seca triturada en un molino de martillo y, iii) la fertilización química, en almácigos a plena exposición solar, mediante ocho tratamientos. La aplicación del fertilizante químico

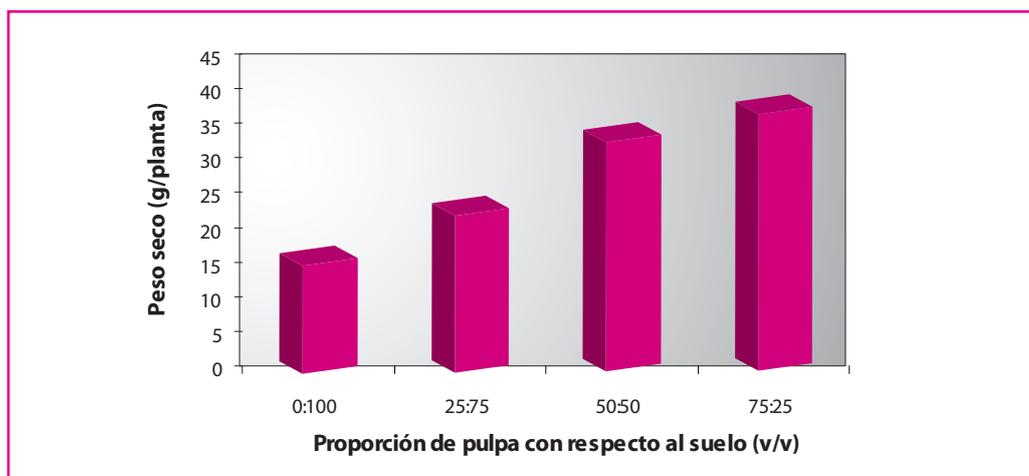


Figura 7. Efecto de la pulpa de café descompuesta en el peso total de la materia seca de café en la etapa de almácigo. Tomado de Mestre (25).

¹ Relación volumen/volumen

Tabla 16.

Respuesta de café en invernadero y en el campo a la adición de pulpa descompuesta, seis meses después de la siembra de la plántula. Tomado de Valencia (55).

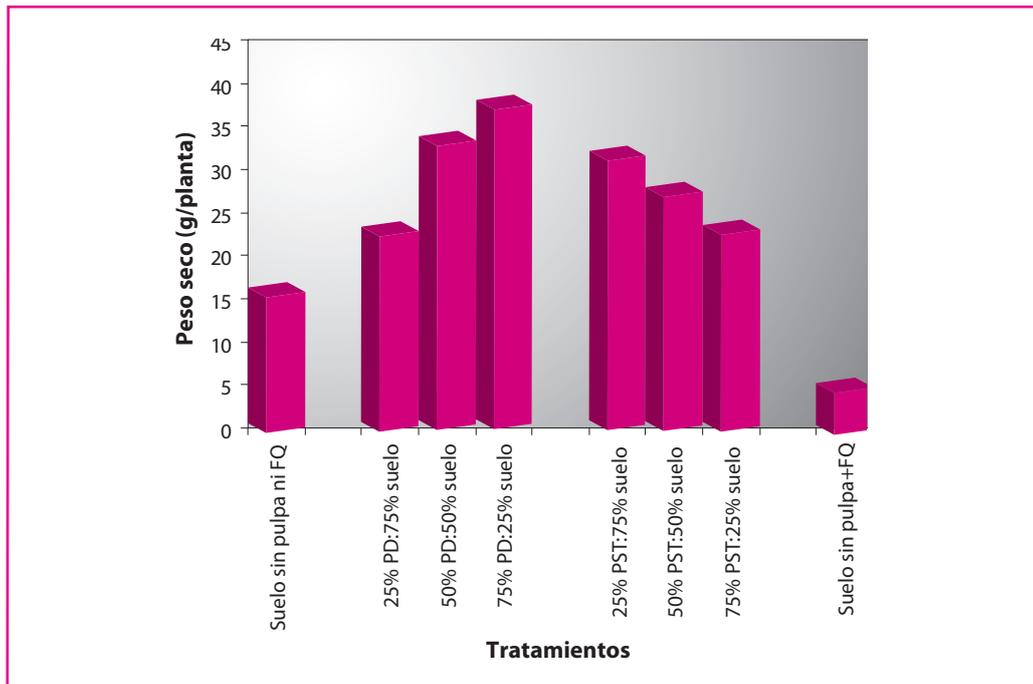
	Invernadero		Campo	
	Con pulpa	Sin pulpa	Con pulpa	Sin pulpa
Peso fresco (g)	207,9	87,9	214,2	130,3
Longitud del tallo (cm)	36,7	23,6	34,9	27,9

afectó negativamente el crecimiento de las plantas, presentando el menor promedio de todos los tratamientos (Figura 8); el peso seco total de las plantas se incrementó conforme a las cantidades empleadas de pulpa descompuesta y sin triturar, mientras que con la pulpa seca triturada el mayor incremento se obtuvo al emplear la dosis más baja, comportamiento que se relacionó con la descomposición incompleta de esta clase de pulpa. Por lo anterior, se recomienda hacer la mezcla de suelo y pulpa seca triturada por lo menos un mes antes de sembrar las plantas.

Uno de los primeros trabajos en torno al uso de la materia orgánica en almácigos de café fue desarrollado por Parra (29), quien determinó el “valor” de la pulpa, al aplicarla sola y en mezcla con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), para un suelo del departamento de Caldas, ubicado en la Estación Central Naranjal, y clasificado como “Serie 10” (hoy día Unidad Chinchiná). La pulpa de café descompuesta y el P ocasionaron aumentos significativos en el peso de las plantas, siendo mayor el efecto de la pulpa (Figura 9); esta semejanza llevó a presumir que la pulpa actuaba en gran medida como un material de naturaleza fosfórica. El N tuvo un efecto negativo, mientras que el uso de K apenas

Figura 8.

Efecto de la pulpa de café descompuesta, la pulpa seca triturada y la fertilización química sobre el peso total de la materia seca de café en almácigos a plena exposición solar. Tomado de Mestre (26).



FQ: Fertilizante químico 12-12-17-2 aplicado a los 15 días de transplante y a los tres meses;
PD: Pulpa descompuesta; PST: Pulpa seca triturada.

modificó el crecimiento de las plantas, efecto que solamente se manifestó en el peso seco de la parte aérea. El contenido de la MO del suelo, las bases intercambiables, la CIC y el pH se incrementaron como consecuencia de la aplicación de la pulpa.

Es frecuente que los caficultores apliquen fertilizantes foliares en los almácigos, con el fin de obtener plantas más vigorosas. Guzmán y Riaño (20) y Valencia (56) evaluaron para esta fase, la respuesta de café a diferentes productos disponibles en el mercado, los cuales fueron suministrados a las plantas que se establecieron en dos niveles de materia orgánica (con y sin pulpa descompuesta). En los dos trabajos, la aplicación del abono orgánico se tradujo en un mayor peso de las plantas; en contraste, no se presentaron diferencias estadísticas al comparar los tratamientos a base de fertilizantes foliares en cada nivel de materia orgánica (Figuras 10 y 11).

Al utilizar la pulpa de café para la producción de biogás o gas combustible, mediante la digestión anaeróbica, el material desecho que resulta del gasógeno puede ser empleado como abono orgánico; razón que condujo a Bedoya y Salazar (5) para que evaluaran su potencial para almácigos de café en diferentes proporciones de mezcla con el suelo. Con base en los resultados obtenidos (Figura 12), los autores sugieren como la proporción más adecuada, utilizar la 1/4 parte de este material en mezcla con 3/4 partes de suelo (v/v).

Cuando las plantas reciben una adecuada nutrición son más vigorosas, comportamiento que se refleja no solo en su biomasa o producción, sino en la tolerancia que exhiben ante las condiciones adversas, por ejemplo, estrés por sequía y daño por plagas y

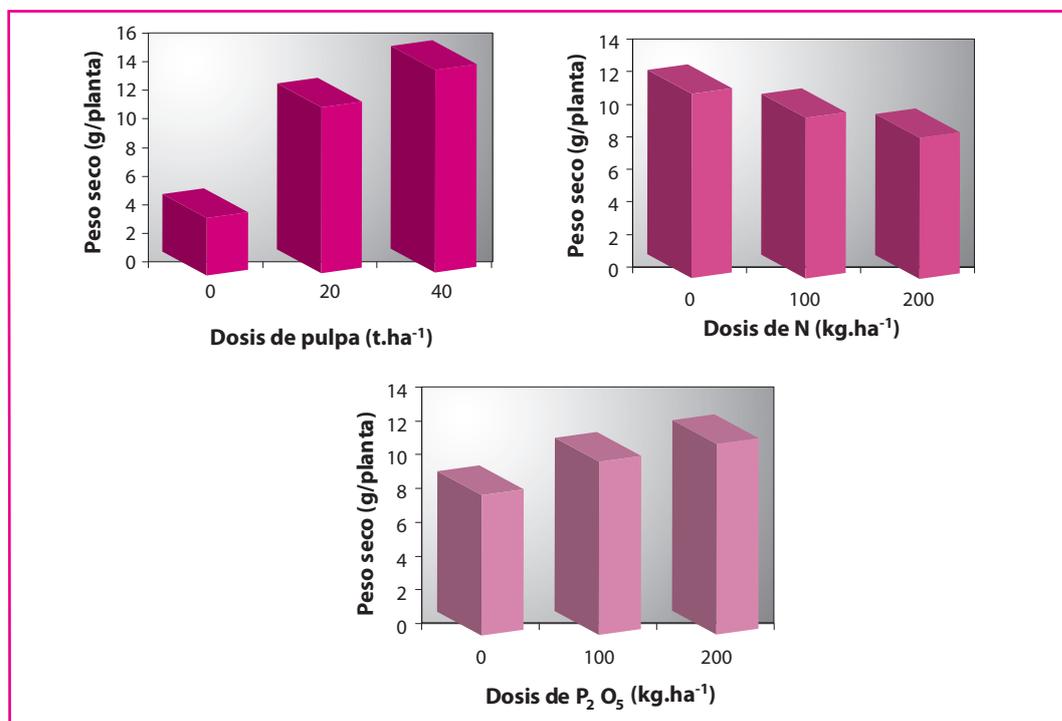
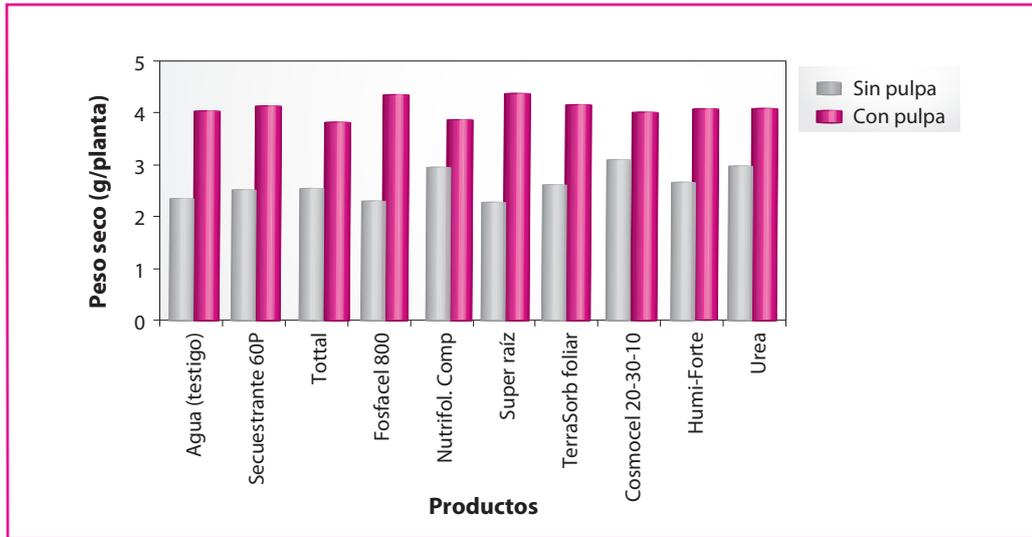


Figura 9. Respuesta del café a la pulpa descompuesta, N y P (peso seco de las plantas 210 días después de aplicados los tratamientos).

Tomado de Parra (29).

Figura 10.

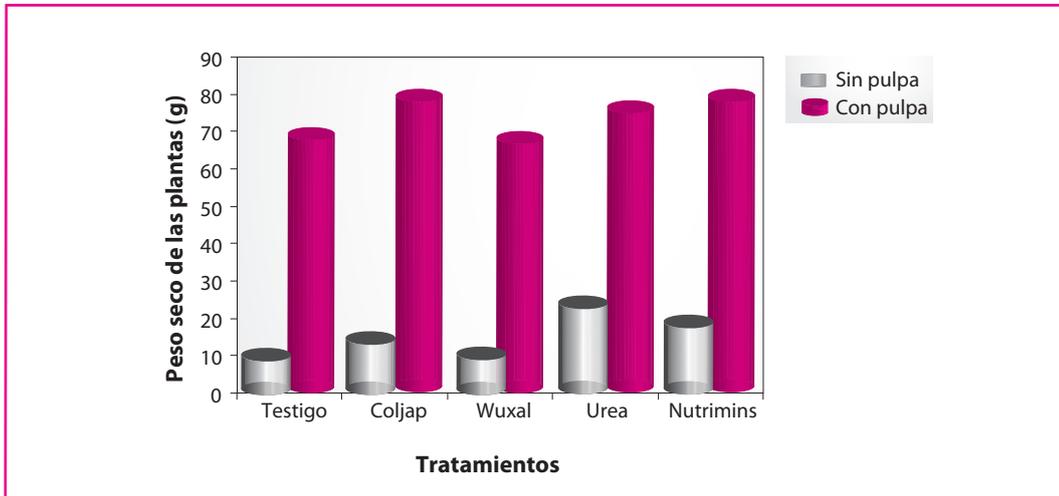
Respuesta de café en la etapa de almácigos a fertilizantes foliares en suelo solo (sin pulpa) y pulpa de café descompuesta en mezcla con el suelo (relación 25:75 en volumen).



Tomado de Guzmán y Riaño (20).

Figura 11.

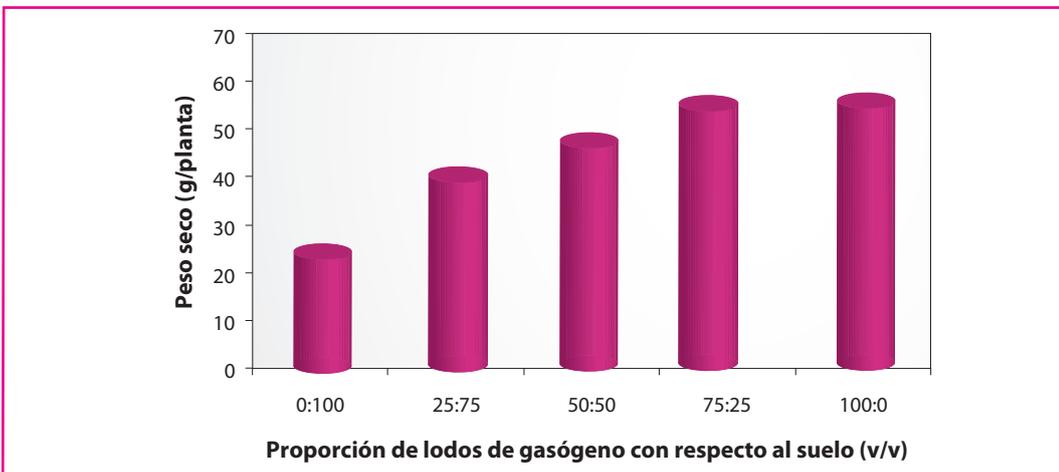
Respuesta de café en la etapa de almácigos a fertilizantes foliares en suelo solo (sin pulpa) y pulpa de café descompuesta en mezcla con el suelo (relación 50:50 en volumen).



Tomado de Valencia (56).

Figura 12.

Efecto de los lodos de la digestión anaeróbica de la pulpa de café sobre el peso seco de las plantas de café en la etapa de almácigo.



Tomado de Bedoya y Salazar (5).

enfermedades. En esta etapa, uno de los problemas más frecuentes es la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke), hongo que ataca las hojas de café y que causa su caída y el debilitamiento de la planta. Cadena (9) determinó la incidencia de esta enfermedad por medio de una investigación en la que se evaluaron tratamientos a base de materia orgánica (mezcla de pulpa:suelo en proporción 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0 v/v) en combinación con el control químico (con y sin aplicación de fungicida captafol). Al emplear pulpa de café descompuesta no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin el control químico de la mancha de hierro; en contraposición, cuando las plantas crecieron en suelo solo sí hubo respuesta a la aplicación del fungicida. El mayor peso seco de la parte aérea se obtuvo mediante la mezcla en proporción 25:75.

5.1.2 Lombrinaza de pulpa de café

El estudio desarrollado por Arango y Dávila (1) dio a conocer que mediante el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.), se puede reducir el tiempo de descomposición de la pulpa del café al 61% del necesario, por medio del sistema de volteos, cada 15 días. De allí el auge que ha tomado este proceso en los últimos años en las diversas regiones cafeteras de Colombia, y los estudios en torno a su uso.

Muchos se refieren a la pulpa de café transformada por la lombriz roja californiana como lombricompuesto, término que según Ávila et al. (4) no es el más adecuado, debido a que en su proceso de producción no se alcanzan temperaturas mayores que 40 °C, que distinguen la etapa termófila, indispensable para la esterilización parcial en el compost. Por esta razón, se propone nombrar a las heces de lombriz como 'lombrinaza', designación que se establece en la mayoría de los excrementos de origen animal en condiciones naturales, como por ejemplo, 'bovinaza', 'gallinaza' y 'porquinaza', entre otros. Sin embargo, se puede realizar un compostaje de excretas de lombriz siempre y cuando el abono alcance la etapa termófila, a partir de la cual sí se denominaría compost de lombrinaza o 'lombricompuesto'.

Salazar (43) estudió el efecto de la lombrinaza de pulpa de café sobre el vigor de las plantas de café en la etapa de almácigo, aplicando las siguientes proporciones de mezcla lombrinaza:suelo (v/v): 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0. Al emplear la proporción de 25% de lombrinaza más 75% de suelo, el peso seco total de las plantas fue mayor que los otros tratamientos (Figura 13).

En La Granja de Cenicafé en Chinchiná, y bajo las mismas condiciones ambientales, Salamanca y Sadeghian (42) evaluaron el efecto de diferentes relaciones de mezcla de lombrinaza de pulpa de café y suelo en el vigor de las plantas para ocho unidades cartográficas de suelo de la región cafetera, contrastantes en su contenido de MO. En todas las unidades, a excepción de la Unidad Chinchiná en Naranjal, la proporción más adecuada fue 1:3 (v/v), es decir, 25% de lombrinaza y 75% de suelo (Figura 14). Mediante esta relación de mezcla se logró aumentar el peso seco total de las plantas (raíz y parte aérea) entre 180% y 1.500% con respecto a las plantas que crecieron en suelo sin lombrinaza, independiente de los contenidos de MO. Las anteriores diferencias entre las unidades del suelo fueron asociadas con los cambios en algunas propiedades del suelo, como el pH del sustrato. Las proporciones del 50% y del 75% de lombrinaza afectaron negativamente el crecimiento de las plantas en todos los suelos.

Figura 13.
Efecto de la lombrinaza de pulpa de café sobre el peso seco de plantas de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar (43).

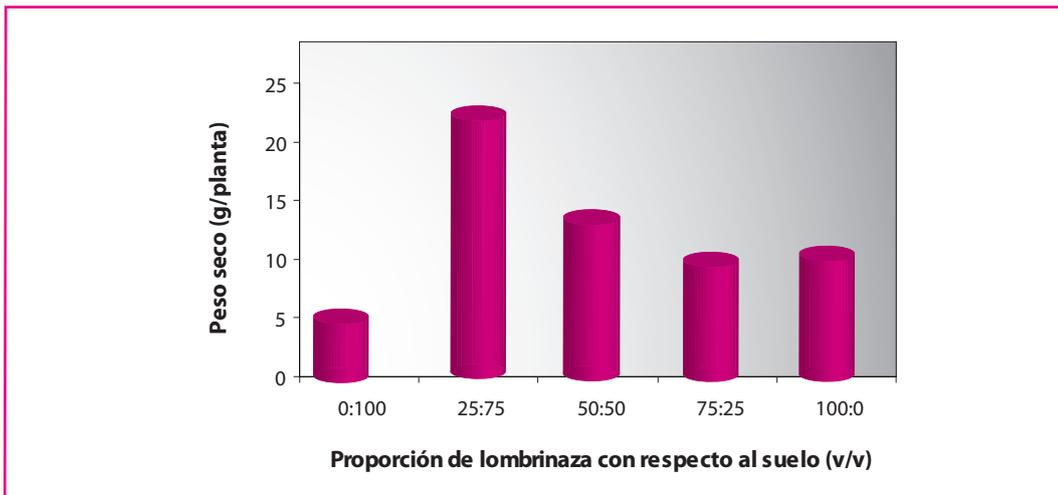
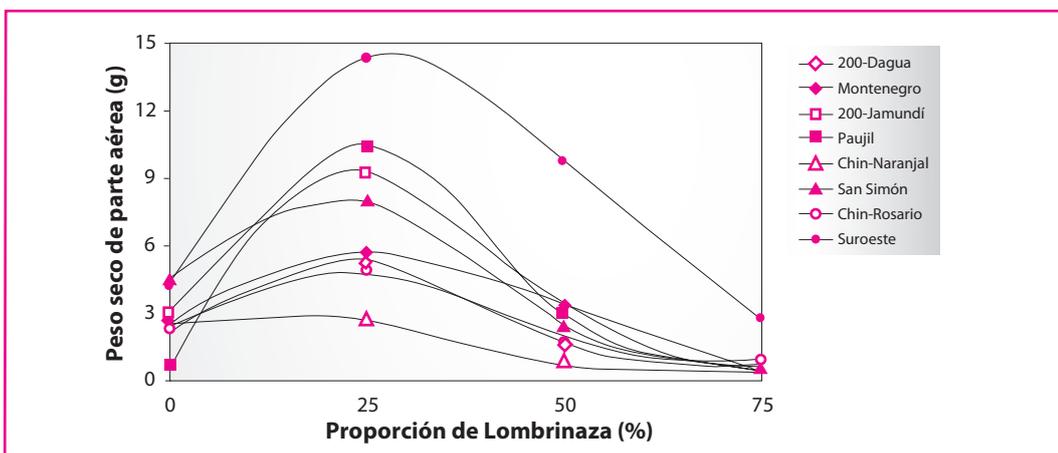


Figura 14.
Respuesta del café en la etapa de almácigo a cuatro proporciones de mezcla suelo:lombrinaza, en suelos de la zona cafetera. Tomado de Salamanca y Sadeghian (42).



Contenido de MO de las unidades cartográficas de suelo: 200-Dagua 6,1%, 200-Jamundí 9,9%, Chinchiná-Naranjal 8,3%, Chinchiná-El Rosario 18%, Montenegro 7,9%, Paujil 12,5%, San Simón 4,3% y Suroeste 9,3%.

Para cinco suelos de la zona cafetera (cuatro Subestaciones de Cenicafé y una finca del municipio de Jamundí, Valle del Cauca), Díaz (14) determinó el efecto combinado de la lombrinaza y el fósforo, aplicado en forma de DAP, sobre el peso seco total de las plantas de café. En los suelos de todas las localidades, a excepción de Santander sin adición de lombrinaza, hubo incremento en el peso de las plantas cuando se aplicó DAP (Figura 15). En los suelos de Jamundí, El Rosario y Santander, los mayores valores se registraron al combinar la lombrinaza con el DAP.

En una investigación desarrollada en el departamento de Santander por Ávila et al. (4), se demostró que cuando no se empleaban abonos orgánicos, la respuesta a la adición de fósforo estaba sujeta al contenido de este nutriente en el suelo. En este mismo trabajo, se halló que la aplicación de DAP puede contribuir a reducir los efectos nocivos de la lombrinaza cuando está parcialmente descompuesta; en dicho caso, no por el suministro

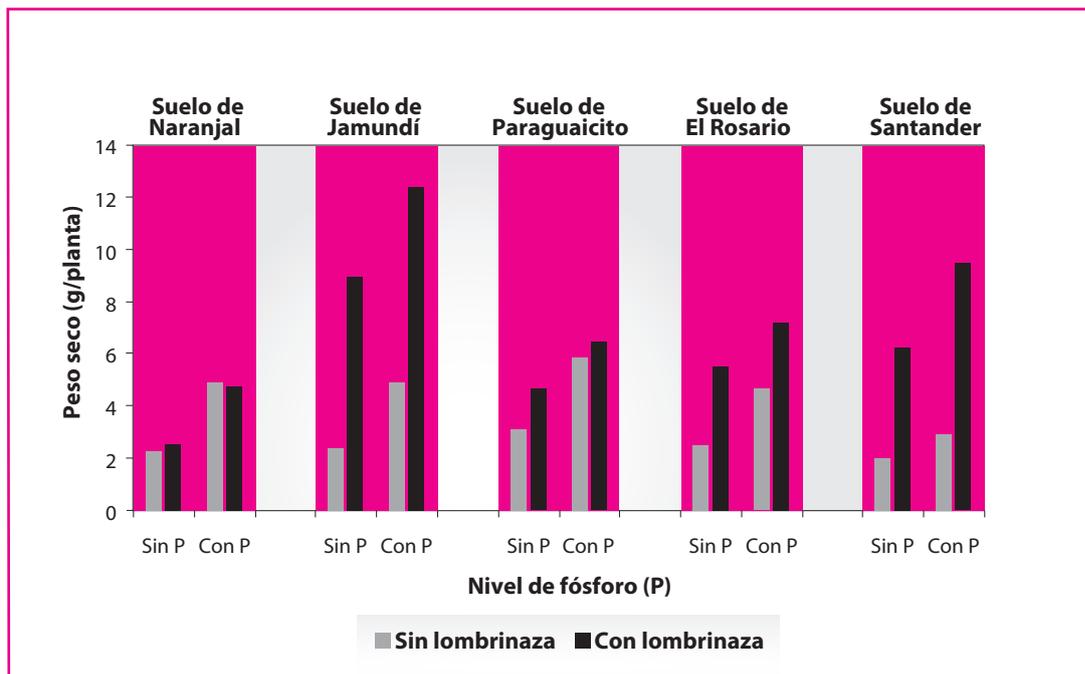


Figura 15. Efecto combinado de la lombrinaza y DAP sobre el peso seco total de las plantas de café, en cinco suelos de la zona cafetera. Adaptado de Díaz (14).

de fósforo sino por la acidez residual que genera esta fuente en el proceso de la nitrificación del amonio, la cual reduce la actividad de las bacterias que realizan la descomposición de la pulpa. Con el Superfosfato triple (SFT) no se generó este efecto (Figura 16).

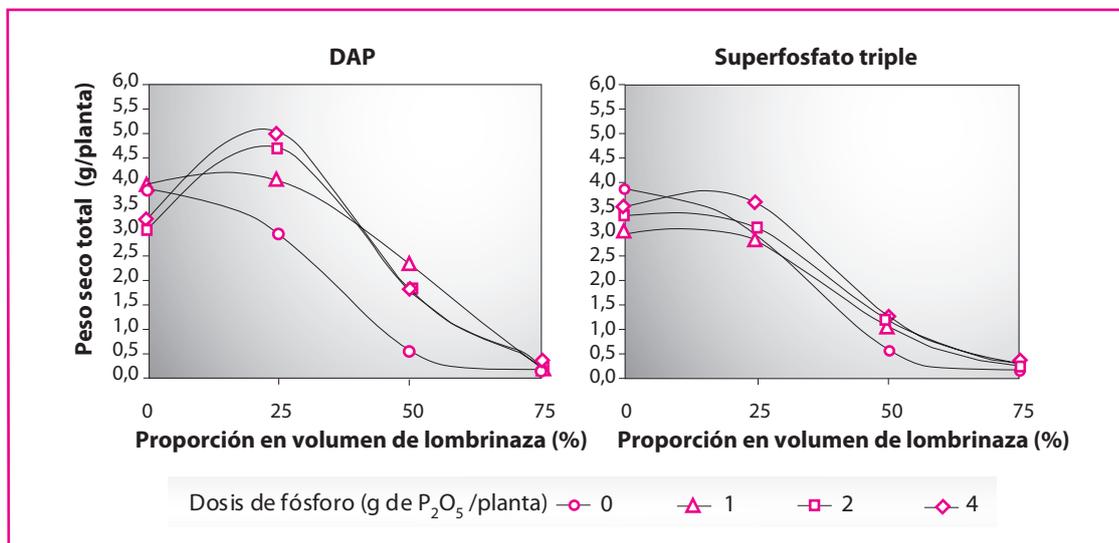


Figura 16. Respuesta de las plantas de café en la fase de almácigo a la aplicación de DAP y SFT, en combinación con lombrinaza. Tomado de Ávila et al. (4).

Para obtener un almácigo de 5.000 plantas, con una relación 3:1 (suelo:lombrinaza), se necesita aproximadamente una producción de 200 a 250 arrobas de café pergamino seco

5.1.3 Fuentes de materia orgánica de origen avícola (gallinaza y pollinaza)

En algunas regiones del país, la industria avícola es un renglón económico importante, no solo por la producción de carne o huevos, sino por que genera grandes volúmenes de materiales orgánicos, que se convierten en una alternativa para la fertilización de diversos cultivos, entre ellos el café.

Los resultados obtenidos por Salazar y Mestre (45), en torno al uso de la gallinaza en los almácigos de café, sugieren que al mezclar este abono con el suelo en relación 25:75 (v/v), se generan incrementos en el peso seco de las plantas, comparables a los obtenidos con la pulpa de café descompuesta en relación 50:50 (Figura 17).

En el departamento de Santander, Ávila et al. (4) utilizaron diferentes combinaciones de gallinaza o pollinaza con adición de dosis crecientes de fósforo (0, 2 y 4 g/planta de P_2O_5) en forma de DAP o SFT, para medir su efecto en el vigor de las plantas en la etapa de almácigo. La aplicación de los abonos orgánicos influyó en el peso de las plantas; en este sentido, los promedios obtenidos se incrementaron con la primera dosis de las dos fuentes en mezcla con el suelo, para luego disminuir con las cantidades más altas (Figura 18). No se halló respuesta al fósforo, cuando se suministró a las plantas que se desarrollaban en suelo sin abono orgánico; resultado que se atribuyó al contenido de este elemento en el suelo (14 mg.kg^{-1}). Al adicionar el fósforo en combinación con los abonos orgánicos, tampoco se presentó efecto alguno.

Figura 17. Efecto de la gallinaza y pulpa descompuesta de café en el peso total de la materia seca de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Mestre (45).

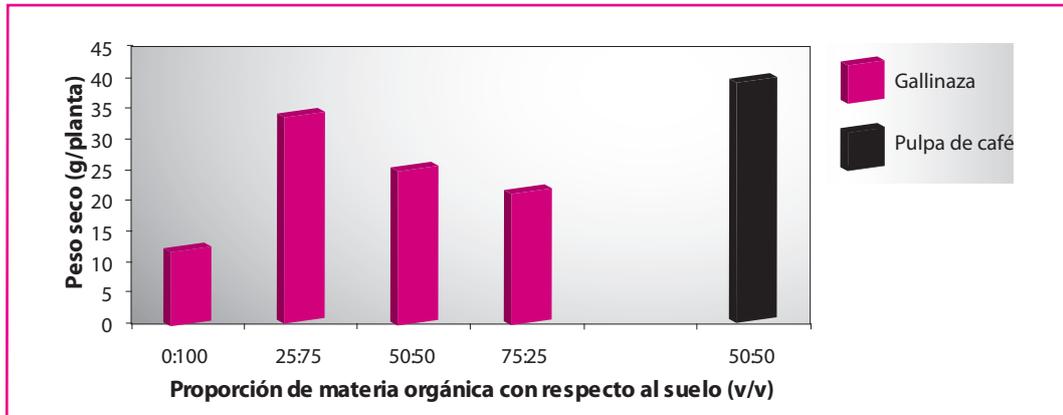
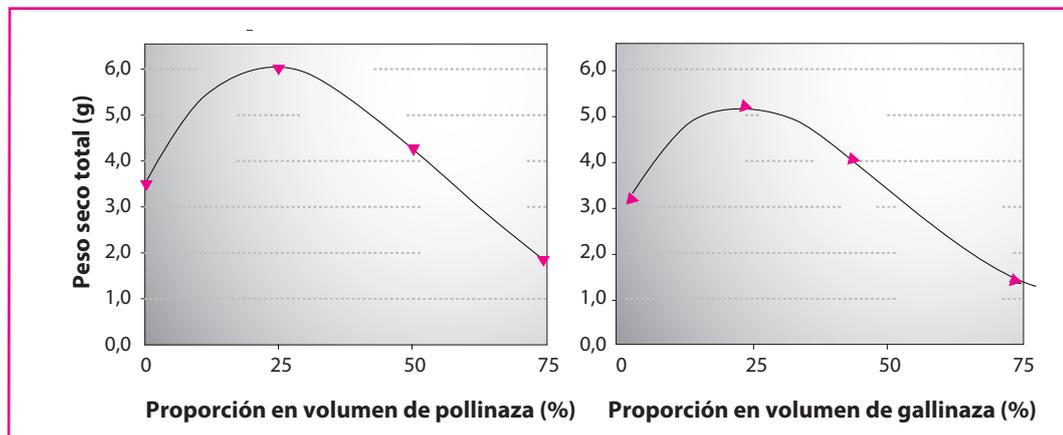


Figura 18. Respuesta de café en la etapa de almácigo en función de la proporción de abonos orgánicos de origen avícola en mezcla con suelo. Tomado de Ávila et al. (4).



5.1.4 Otros abonos orgánicos

Estiércol de ganado. Para las condiciones de Pueblo Bello (Cesar), Salazar y Montesino (47) midieron la respuesta de las plantas de café a diferentes proporciones de mezcla de estiércol de ganado y suelo (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0), tratamientos que se compararon con la pulpa descompuesta en relación 50:50 (v/v). Con la dosis más baja del estiércol se obtuvo un incremento significativo en el peso de las plantas (Figura 19), tendencia que se conservó con las siguientes dos dosis; razón por la cual los autores sugieren mezclar este abono con el suelo en una relación de 1 a 3. Al emplear la pulpa de café, el peso seco de las plantas fue casi el doble del tratamiento 25:75 de estiércol.

Cenichaza. Uno de los subproductos de los ingenios en el proceso industrial de la producción de azúcar es la cenichaza, la cual consiste en una mezcla heterogénea de ceniza y cachaza.

Debido a que la cenichaza puede emplearse como abono orgánico, Salazar y Mestre (46) evaluaron su efecto en almácigos de café. Con la mezcla de una parte de cenichaza y tres partes de suelo (v/v) se registró un incremento significativo en el peso seco de las plantas con respecto al testigo sin este abono (Figura 20); adicionalmente, con esta proporción se incurrieron en los menores costos.



Figura 19. Efecto del estiércol de ganado y pulpa descompuesta de café en el peso seco total de plantas de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Montesino (47).

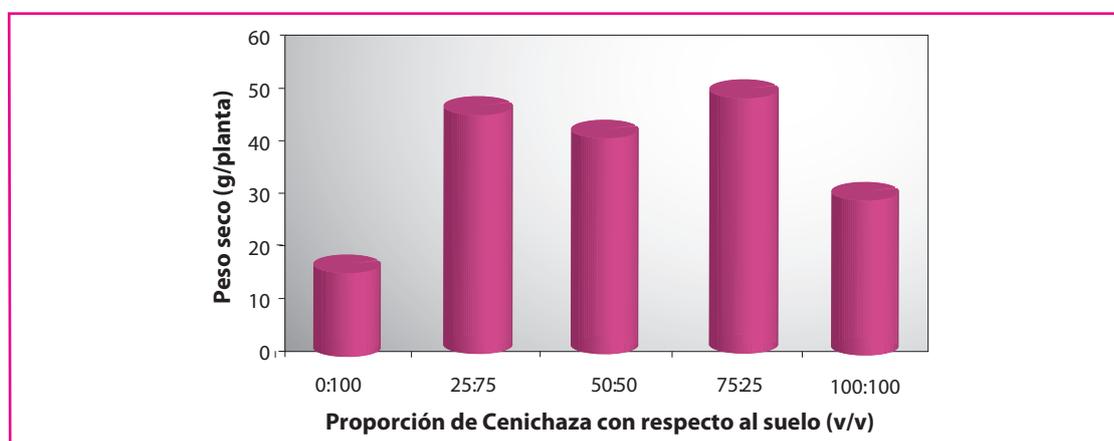
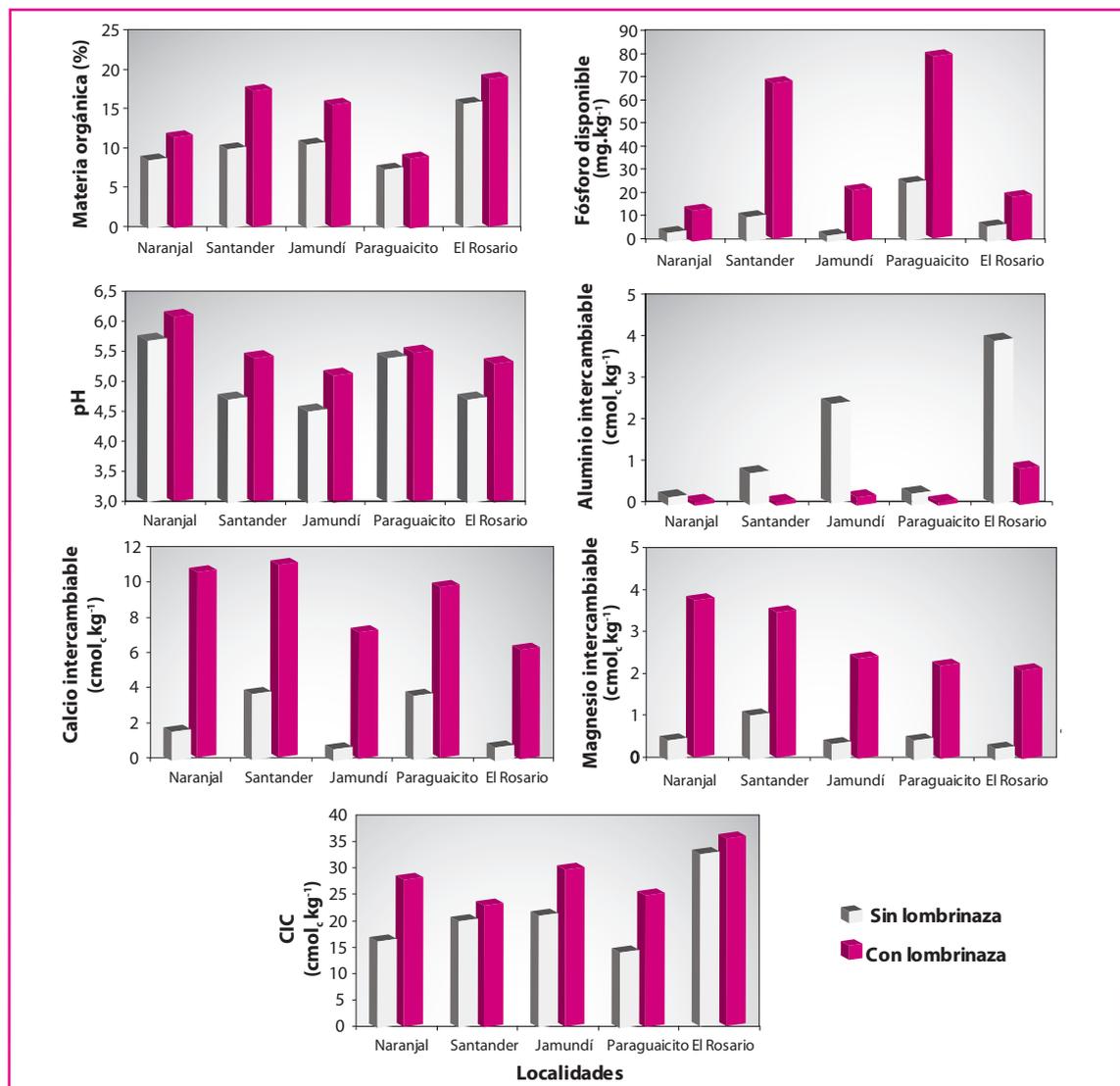


Figura 20. Efecto de diferentes proporciones de cenichaza en el peso seco total de plantas de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Mestre (46).

5.1.5 Los abonos orgánicos y su relación con las propiedades del suelo

En una investigación desarrollada por Díaz (14) para la etapa de almácigo, se midieron los cambios químicos generados en los suelos de cinco localidades de la zona cafetera de Colombia, seis meses después de haberlos mezclado con la lombrinaza de pulpa de café en relación 3:1 (v/v) (75% de suelo más 25% de lombrinaza). Los resultados de este trabajo permitieron saber que: con la adición de esta fuente se elevó el pH y se redujo el aluminio intercambiable hasta niveles menores a $1 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$; se incrementaron los contenidos del fósforo y los de calcio y magnesio; así mismo, se aumentó la Capacidad de Intercambio Catiónica, CIC (Figura 21). Con respecto a la MO, los datos obtenidos señalan que sus niveles se elevaron con la adición de la lombrinaza; sin embargo, se puede presumir que este resultado no es del todo cierto, pues el método empleado mide realmente el carbono orgánico total contenido en la muestra analizada, sin distinguir la fracción estable, la que correspondería al humus propiamente dicho.

Figura 21. Cambios químicos generados en cinco suelos de la zona cafetera por la adición de lombrinaza de pulpa de café en relación 3:1 (v/v). Adaptado de Díaz (14).



Para las anteriores condiciones, Díaz (14) también determinó el efecto combinado de la lombrinaza y la cal en la acidez del suelo, incorporando estos materiales al suelo seis y siete meses antes de su valoración, respectivamente. Con el encalamiento se incrementó el pH en todos los suelos, conforme a la dosis empleada (Figura 22), efecto que en general fue mayor cuando se utilizó lombrinaza. Con la incorporación de la lombrinaza sola (sin cal), se logró elevar el pH en cuatro de los suelos objeto de estudio, mientras que Paraguaicito fue la excepción.

Una de las propiedades de los abonos orgánicos se relaciona con su capacidad para retener la humedad, la cual no siempre es una ventaja, pues en ocasiones se generan encharcamientos que afectan el crecimiento de raíces, e incluso la muerte de las plantas en períodos lluviosos. Ávila et al. (4) midieron la retención de humedad del sustrato para diferentes proporciones de mezcla de suelo con gallinaza, pollinaza y lombrinaza. Al incrementar la cantidad de la materia orgánica también aumentó la humedad, siendo mayores los incrementos para la lombrinaza (Figura 23).

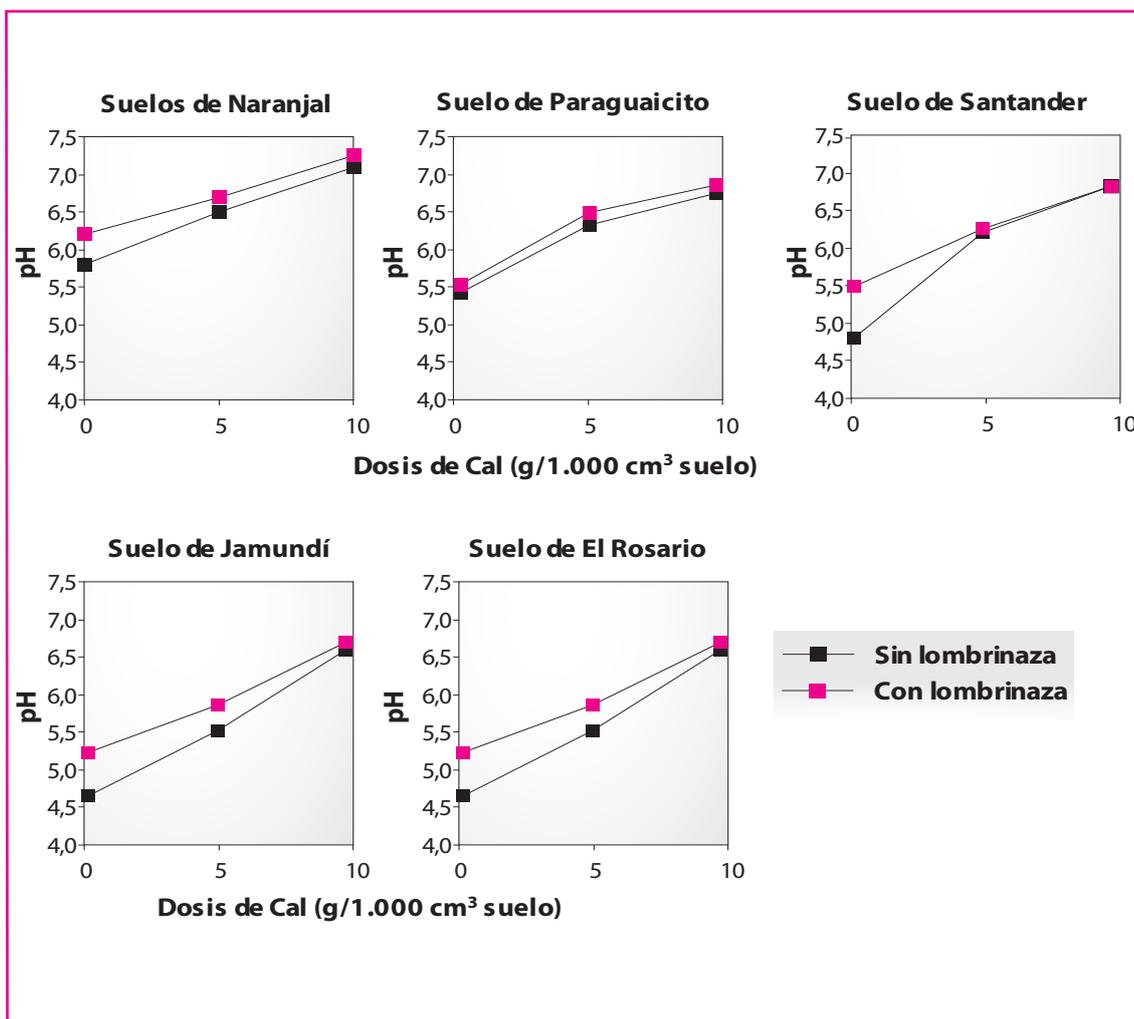
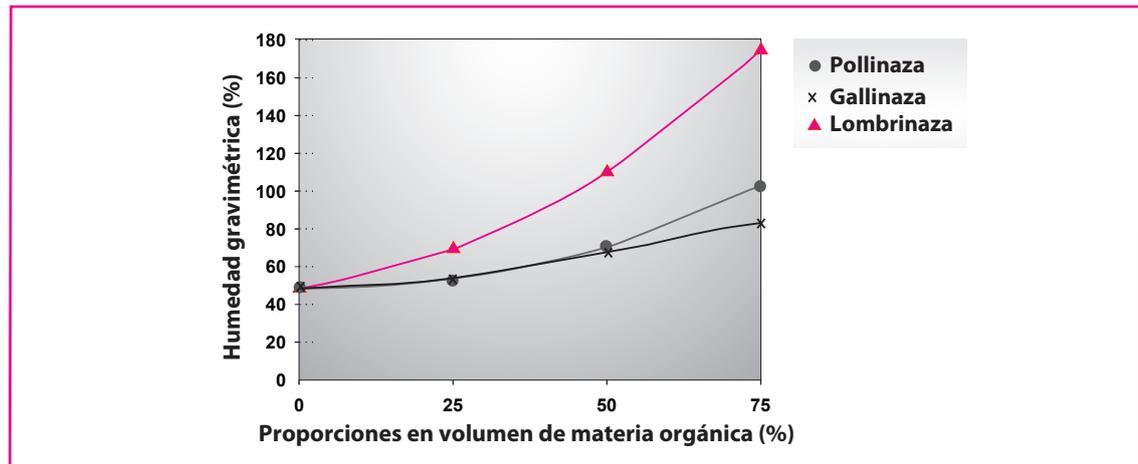


Figura 22. Cambios en el pH en cinco suelos de la zona cafetera por la adición de lombrinaza de pulpa de café en relación 3:1 (v/v) y el encalamiento. Adaptado de Díaz (14).

Figura 23.
Efecto de la fuente y proporción de abonos orgánicos mezclada con suelo sobre la humedad gravimétrica del sustrato. Tomado de Ávila et al. (4).



5.2 Etapa de crecimiento vegetativo

Para tener éxito en el establecimiento de los cafetales es necesario llevar a cabo ciertas labores, entre las cuales se pueden mencionar: seleccionar un lote agroecológicamente apto para café, establecer sombrío en localidades con períodos prolongados de déficit hídrico o donde existan limitantes edáficos, contar con almácigos vigorosos, ejecutar prácticas tendientes a mejorar las propiedades físicas del suelo cuando sea necesario, realizar desyerbas oportunas, controlar la erosión, manejar oportunamente las plagas y las enfermedades, corregir la acidez y nutrir de manera adecuada las plantas mediante fertilizaciones balanceadas.

Muchas de las labores anteriores se alcanzan con la ayuda de la materia orgánica o son secundadas de alguna manera con su uso, por ejemplo, al incorporar suficiente abono orgánico en el hoyo de la siembra, se mejora la aireación del suelo, la retención de humedad y la compactación; al mismo tiempo, se aumenta la población y la diversidad de la flora y la fauna que contribuyen a propiciar un ambiente más sano para el crecimiento de las raíces, se proporcionan y se retienen algunos nutrientes y, se controla el aluminio y otros elementos o sustancias tóxicas.

Si las aplicaciones de los abonos orgánicos continúan luego del transplante y/o se establecen asociaciones con árboles que aportan residuos ricos en compuestos resistentes a la degradación microbiológica (tipo lignina), se crean condiciones más duraderas y se mejoran ciertas características del suelo como es la estabilidad de los agregados estructurales. Otras labores, como la puesta en marcha de prácticas para evitar al máximo la pérdida del suelo por erosión, el establecimiento de árboles que promuevan el ciclaje de nutrientes y el aprovechamiento de todo tipo de residuos orgánicos de café o cultivos asociados, también favorecen el establecimiento de los cafetales, al mismo tiempo que aumenta la MO del suelo.

Los primeros resultados obtenidos en materia de la nutrición de cafetales en Colombia son presentados por Machado (23), quien reporta los resultados con algunos abonos

orgánicos en la Subestación Blonay (Norte de Santander), durante el primer año de establecimiento del cultivo (Tabla 17). En éstos se vislumbraba la importancia de la pulpa de café como insumo indispensable en el establecimiento de los cafetales y su efecto en la productividad.

Como se mencionó anteriormente, Valencia (55) determinó el efecto de la incorporación de la pulpa de café descompuesta en el hoyo sobre el crecimiento de café en el campo. Con el uso de la pulpa en relación 1:3 con respecto al suelo, el peso fresco de las plantas fue mayor en 64%.

Para un suelo de la Unidad Chinchiná, López (22) midió in situ el crecimiento de café, un año después de haber aplicado 0, 2, 4, 8, 16 y 32 t.ha⁻¹ de pulpa de café descompuesta, molida y tamizada. Las cantidades mencionadas se aplicaron en dos formas: superficialmente e incorporadas en los primeros 10 cm de profundidad. Para las variables número de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo a los 10 cm del suelo y peso seco de la parte aérea, no se registró diferencia entre los tratamientos con pulpa frente al testigo sin fertilizar. Este comportamiento se relacionó con la fertilidad natural del suelo para soportar los requerimientos nutricionales de la planta durante el primer año. En la Tabla 18 se presentan los promedios de peso seco obtenidos.

Tratamientos	Producción de café cereza (g/parcela)
Testigo sin fertilizar	1.541
Pulpa de café descompuesta (9 L/árbol/año)	4.999
Harina de hueso (500 g/árbol/año)	2.735
Harina de hueso + 15% de azufre (500 g/árbol/año)	2.788
Abono de establo (9 L/árbol/año)	2.802

Tabla 17. Efecto de algunas fuentes orgánicas y azufre en la producción de café variedad Típica, establecido bajo sombra de guamo (*Inga spp.*) en la Subestación Blonay (Norte de Santander). Tomado de Machado (23).

Dosis de pulpa (t.ha ⁻¹)	Sistema de aplicación de pulpa		Promedio
	Superficial	Incorporada	
0	341,2	291,0	316,1
2	310,0	362,6	336,3
4	327,4	294,6	311,0
8	341,4	337,8	339,6
16	334,0	368,6	351,3

Tabla 18. Efecto de la aplicación de pulpa descompuesta sobre el peso seco (g) de plantas de café de un año de edad (los datos corresponden a la suma de dos plantas por parcela). Tomado de López (22).

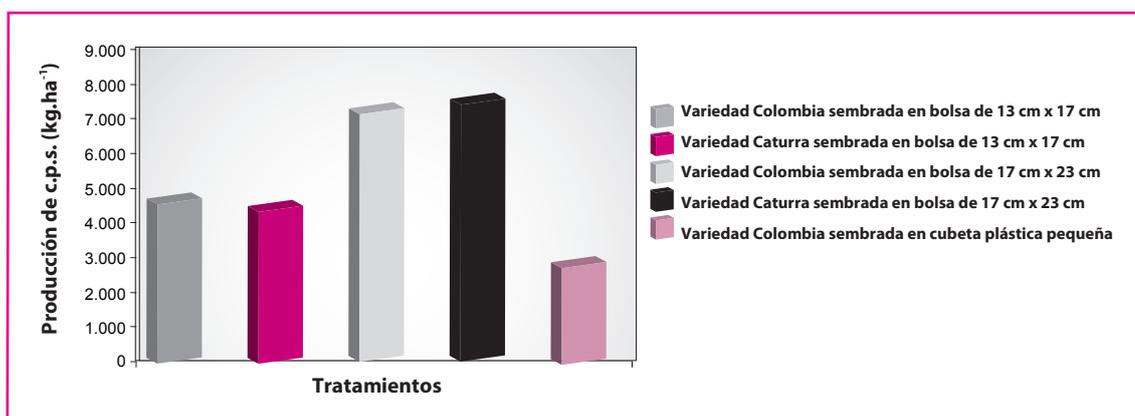
Cuando se emplean bolsas grandes para la siembra de la chapola (17 cm x 23 cm), en lugar de bolsas pequeñas (13 cm x 17 cm), en el momento de la siembra se incorpora al suelo cerca de 80% más de abono orgánico; además, se llevan al campo plantas de mayor edad (seis meses), dado su tiempo de permanencia en el almácigo. Esta práctica puede contribuir a un mejor desarrollo de las plantas en el campo y, por ende, a una producción más alta. Lo anterior fue corroborado por Salazar (44), quien mediante cinco tratamientos determinó la influencia del tamaño de la bolsa sobre la producción de café de las variedades Colombia y Caturra durante los primeros dos años de establecimiento (Figura 24).

Uribe y Salazar (54) demostraron que se pueden obtener efectos benéficos en la producción si se incorporan 6 kg de pulpa de café en el hoyo de la siembra, en suelos con bajos niveles de MO. Esta cantidad puede resultar costosa cuando no se dispone del abono orgánico en la finca, especialmente en plantaciones con densidades medianas y altas, pues la cantidad requerida resulta muy elevada, así: 24 t para 4.000 plantas/ha, 36 t para 6.000 plantas/ha, 48 t para 8.000 plantas/ha y 60 t para 10.000 plantas/ha.

Con la finalidad de estimar los requerimientos de abono orgánico al momento de la siembra y sus implicaciones prácticas y económicas, en la Tabla 19 se presentan las cantidades por planta y por hectárea, de acuerdo con el tamaño del hoyo, la densidad de siembra y la relación de mezcla con el suelo. Al construir hoyos pequeños (25 x 25 x 30 cm), la cantidad de abono orgánico por hoyo será de 4.688 cm³ (4,7 dm³), si la relación de mezcla con el suelo es de 1:3; ahora bien, al extrapolar este dato para una hectárea, se necesitarán entre 9,4 y 46,9 m³ según la densidad empleada. En el caso de hacer una mezcla en la proporción de 1:6, se necesitarán 2.679 cm³ (2,7 dm³) por hoyo, y entre 5,4 y 26,8 m³ de abono orgánico por hectárea.

Sadeghian (33) recomienda tener en cuenta el nivel de la MO para la recomendación de N en esta etapa de desarrollo del cultivo, dada la alta relación entre los contenidos de estos dos (Tabla 20). Para lo anterior se establecen dos categorías: i) Suelos con contenidos bajos a medios (MO ≤ 8%) y, ii) suelos con contenidos medios a altos (MO > 8%). Para la primera se sugiere una dosis más alta (desde 7,0 g/planta de N en el mes 1 ó 2, hasta 16 g/planta de N en el mes 18) que para la segunda (de 5 a 14 g/planta de N).

Figura 24. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. Tomado de Salazar (44).



Dimensiones del hoyo	Tamaño del hoyo (cm ³)	Por hoyo (cm ³)	Cantidad de abono orgánico según la densidad de siembra (m ³ /ha)				
			2.000 plantas/ha	4.000 plantas/ha	6.000 plantas/ha	8.000 plantas/ha	10.000 plantas/ha
			Relación de mezcla abono orgánico:suelo = 1:3 (v/v)				
25x25x30 cm	18.750	4.688	9,4	18,8	28,1	37,5	46,9
25x25x35 cm	21.875	5.469	10,9	21,9	32,8	43,8	54,7
30x30x30 cm	27.000	6.750	13,5	27,0	40,5	54,0	67,5
30x30x35 cm	31.500	7.875	15,8	31,5	47,3	63,0	78,8
35x35x30 cm	36.750	9.188	18,4	36,8	55,1	73,5	91,9
35x35x35 cm	42.875	10.719	21,4	42,9	64,3	85,8	107,2
40x40x30 cm	48.000	12.000	24,0	48,0	72,0	96,0	120,0
40x40x35 cm	56.000	14.000	28,0	56,0	84,0	112,0	140,0
			Relación de mezcla abono orgánico:suelo = 1:4 (v/v)				
25x25x30 cm	18.750	3.750	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5
25x25x35 cm	21.875	4.375	8,8	17,5	26,3	35,0	43,8
30x30x30 cm	27.000	5.400	10,8	21,6	32,4	43,2	54,0
30x30x35 cm	31.500	6.300	12,6	25,2	37,8	50,4	63,0
35x35x30 cm	36.750	7.350	14,7	29,4	44,1	58,8	73,5
35x35x35 cm	42.875	8.575	17,2	34,3	51,5	68,6	85,8
40x40x30 cm	48.000	9.600	19,2	38,4	57,6	76,8	96,0
40x40x35 cm	56.000	11.200	22,4	44,8	67,2	89,6	112,0
			Relación de mezcla abono orgánico:suelo = 1:5 (v/v)				
25x25x30 cm	18.750	3.125	6,3	12,5	18,8	25,0	31,3
25x25x35 cm	21.875	3.646	7,3	14,6	21,9	29,2	36,5
30x30x30 cm	27.000	4.500	9,0	18,0	27,0	36,0	45,0
30x30x35 cm	31.500	5.250	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
35x35x30 cm	36.750	6.125	12,3	24,5	36,8	49,0	61,3
35x35x35 cm	42.875	7.146	14,3	28,6	42,9	57,2	71,5
40x40x30 cm	48.000	8.000	16,0	32,0	48,0	64,0	80,0
40x40x35 cm	56.000	9.333	18,7	37,3	56,0	74,7	93,3
			Relación de mezcla abono orgánico:suelo = 1:6 (v/v)				
25x25x30 cm	18.750	2.679	5,4	10,7	16,1	21,4	26,8
25x25x35 cm	21.875	3.125	6,3	12,5	18,8	25,0	31,3
30x30x30 cm	27.000	3.857	7,7	15,4	23,1	30,9	38,6
30x30x35 cm	31.500	4.500	9,0	18,0	27,0	36,0	45,0
35x35x30 cm	36.750	5.250	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
35x35x35 cm	42.875	6.125	12,3	24,5	36,8	49,0	61,3
40x40x30 cm	48.000	6.857	13,7	27,4	41,1	54,9	68,6
40x40x35 cm	56.000	8.000	16,0	32,0	48,0	64,0	80,0

Tabla 19. Cantidad de abono orgánico requerido por planta y hectárea, según el tamaño del hoyo, la densidad de siembra y la relación de mezcla con el suelo.

Tabla 20. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada en la etapa de crecimiento vegetativo del café con base en el contenido de la materia orgánica del suelo (MO). Tomado de Sadeghian (33).

Contenido de MO	Dosis de nitrógeno (g/planta)				
	Mes 1 ó 2*	Mes 6	Mes 10	Mes 14	Mes 18
MO ≤ 8%	7	9	12	14	16
MO > 8%	5	7	9	12	14

* Mes después de siembra

5.3 Etapa de producción

5.3.1 Efecto de abonos orgánicos en la producción

Las investigaciones desarrolladas por Cenicafé han demostrado que en esta etapa la fertilización química puede ser sustituida por la orgánica parcial o totalmente, sin afectar la producción, siempre y cuando se suministren las cantidades adecuadas. Revisten mayor importancia las altas dosis requeridas, la disponibilidad del abono, y por lo tanto, los mayores costos en los que se incurren, tanto del producto como los relacionados con su transporte y aplicación (34).

Los primeros estudios sobre la nutrición de cafetales en Colombia fueron orientados por Machado (24), quien determinó el efecto de algunos nutrientes en mezcla con la pulpa descompuesta y otros abonos orgánicos en la producción de los cafetales jóvenes y viejos al sol y bajo sombra. Los resultados de estas investigaciones permitieron conocer las bondades de la materia orgánica cuando se empleaba en altas cantidades (entre 9 y 18 L/planta); razón por la cual se sugiere aprovechar toda la pulpa de café, “basuras”, residuos de establo, etc. con el fin de mejorar los suelos más pobres. Además, se enfatiza la conveniencia de conservar un cierto nivel de MO en los cafetales. A continuación se presentan algunos de estos trabajos.

Fertilizantes y abonos orgánicos para café. En este trabajo Machado (24) evaluó el efecto de la aplicación de fertilizantes solos y en mezcla con materia orgánica, sobre la producción de cafetales viejos en dos localidades (la hacienda Bethania y Campo de Cooperación de Misiones). Los tratamientos (Tabla 21) se aplicaron durante tres años y luego se suspendieron con el fin de determinar su efecto residual sobre la producción. De acuerdo con los resultados (Figura 25), se concluye que “casi siempre” la producción obtenida con los fertilizantes químicos en mezcla con materia orgánica fue mayor que el fertilizante solo; además, el comportamiento de la producción a través del tiempo, sugirió un efecto residual de tres a cuatro años de la materia orgánica, posiblemente como resultado de las altas dosis aplicadas.

Fertilizantes para el cafeto. En esta investigación realizada por Machado (24), en el Campo de Cooperación de Bethania (Fusagasugá, Cundinamarca), se estudió la respuesta de cafetales jóvenes a la aplicación de ocho tratamientos a base de materia orgánica, mulch de las hojas secas de plátano, Sulfato de amonio-SAM (20% de N) y Superfosfato-SFT (45%

de P_2O_5). Los resultados en producción no revelaron efecto de los tratamientos (Tabla 22), comportamiento que dio lugar para que en el sistema de fertilización recomendado se disminuyeran las dosis de fósforo y aumentaran las de potasio y nitrógeno.

Código del tratamiento	Descripción del tratamiento
A	Sulfato de amonio (500 g/planta/año)
B	Superfosfato (100 g/planta/año)
C	Sulfato de potasio(300 g/planta/año)
D	Nifoscal-Café:7-14-14,7 (500 g/planta/año)
E	Fosforita (150 g/planta/año)
F	Abono mixto: 5-7-9 (150 g/planta/año)
G	Testigo (sin fertilizantes ni materia orgánica)
FK, BK, AK, DK, CK y EK	Fertilizante químico + 18 L de abono orgánico/planta/año (pulpa de café descompuesta y mezclada con otros desperdicios de la finca como estiércol de ganado y basuras).

Tabla 21.
Descripción de los tratamientos a base de fertilizantes químicos solos y en mezcla con materia orgánica

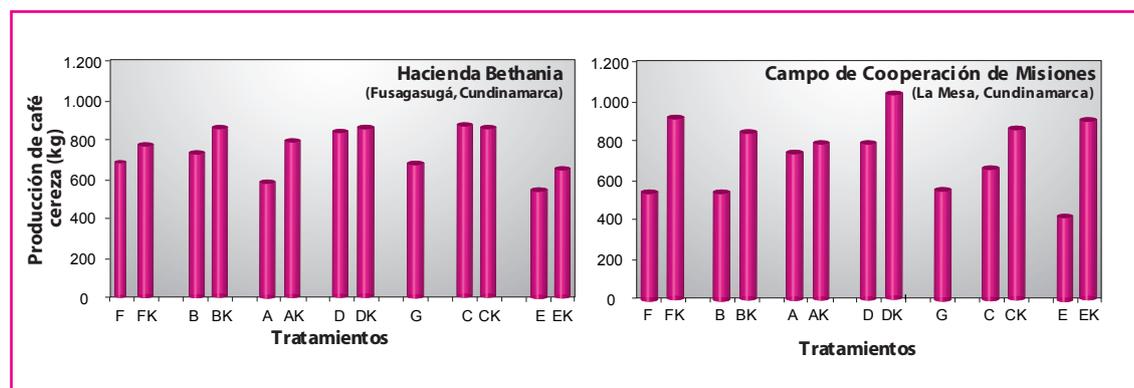


Figura 25.
Efecto de fertilizantes químicos y materia orgánica sobre la producción de café variedad Típica con sombrío de guamo (producido por 48 plantas en ocho años). Tomado de Machado (24).

Tratamiento	Producción de café cereza*
Materia orgánica sola (9 L/planta/año)	773,3
SAM (50 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	853,7
SAM (75 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	728,0
SAM (100 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	814,9
Mulch de 15 hojas secas de plátano por cafeto (2 veces/año)	669,7
SFT (50 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	652,1
SFT (75 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	714,5
SFT (100 g/planta/año)+Materia orgánica (9 L/planta/año)	818,3

Tabla 22.
Efecto de fertilizantes químicos y materia orgánica sobre la producción de café variedad Típica con sombrío de guamo y plátano (producido por 48 plantas en seis años). Tomado de Machado (24).

*producido por 48 plantas en seis años.

Abonos orgánicos para el cafeto. En el experimento desarrollado por Machado (24), se tuvo como objetivo evaluar la respuesta de café a tratamientos de abonos orgánicos (Tabla 23), aplicados a plantaciones de variedad Típica bajo sombra de guamo y plátano. En el Campo de Cooperación de Las Vegas, la producción obtenida con pulpa, abono de establo y compost fue mayor que los demás tratamientos, y el testigo presentó los menores valores. En Blonay el mayor promedio correspondió a la pulpa, y el menor al abono de establo, seguido por el testigo sin fertilizar; pese a ello, el autor aclara que las diferencias para esta localidad no fueron muy grandes.

Tabla 23. Respuesta de café a la aplicación de abonos orgánicos en el Campo de Cooperación de Las Vegas (Rionegro, Santander) y Subestación Blonay (Chinácota, Norte de Santander). Tomado de Machado (24).

Tratamientos	Producción de café cereza (kg/parcela*)	
	Las Vegas	Blonay
Pulpa de café descompuesta (18 L/planta/año)	515,2*	749,2*
Abono de establo (18 L/planta/año)	432,4	334,6
Compost, sistema Indore (18 L/planta/año)	486,9	-
Harina de hueso (1.000 g/planta/año)	336,0	590,0
Harina de hueso + 15% de azufre (1.000 g/planta/año)	301,4	574,2
Testigo (sin abonos)	117,7	477,2

* Producción correspondiente a plantas a 60 plantas durante 6 años.

En seis Subestaciones de Cenicafé, y durante cuatro a cinco cosechas, Uribe (52) estudió la respuesta de café variedad Caturra a la aplicación de las siguientes combinaciones de fósforo y pulpa descompuesta:

Tratamiento 1. Fertilizante comercial 12-6-22

Tratamiento 2. Fertilizante preparado 12-0-22

Tratamiento 3. Fertilizante preparado 12-6-22 + 17% de pulpa

Tratamiento 4. Fertilizante preparado 12-0-22 + 17% de pulpa

Los fertilizantes se aplicaron a razón de 200 y 600 g/planta en el primero y segundo año, lo que corresponde a 900 y 2.666 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente. La pulpa se adicionó descompuesta y con 12% de humedad.

Solo en algunos casos, el fósforo tuvo un efecto positivo en la producción de café, pero éste fue de baja magnitud (Figura 26). En ninguna de las localidades la pulpa descompuesta influyó en la producción, comportamiento que se relacionó con las bajas dosis utilizadas (aproximadamente 100 g/planta/año).

Uribe y Salazar (54) determinaron la influencia de la pulpa de café en la producción de cafetales en cinco Subestaciones de Cenicafé. Los tratamientos consistieron en las siguientes seis alternativas de fertilización:

1. Testigo. Sin aplicaciones de pulpa ni de fertilizante químico
2. Pulpa de café (6 kg) incorporada al hoyo de siembra

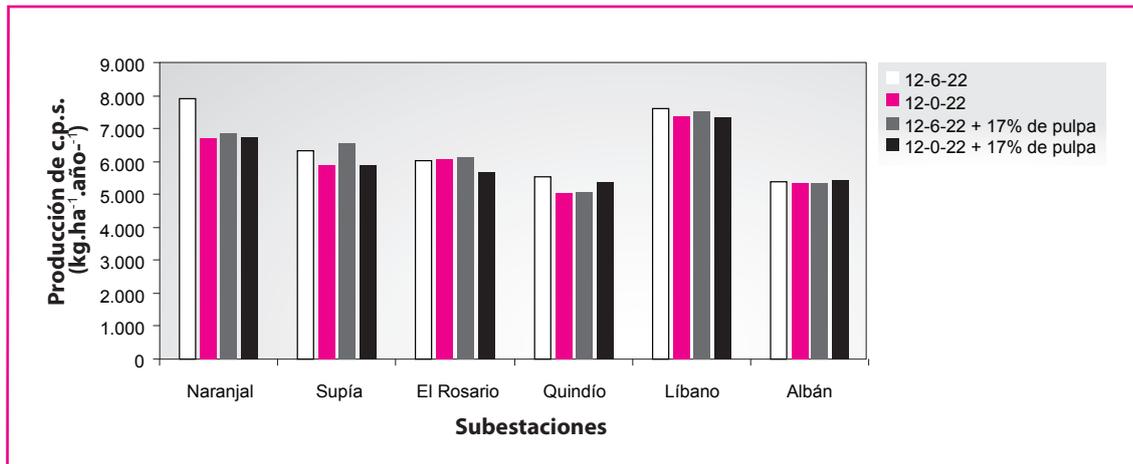


Figura 26. Efecto de la pulpa de café descompuesta y la fertilización química en la producción de cafetales en cinco sitios de Colombia. Tomado de Uribe (52).



- Pulpa de café (6 kg) incorporada al hoyo de siembra. Aplicación superficial de pulpa, 6 kg/planta/año
- Pulpa de café (6 kg) incorporada al hoyo de siembra. Aplicación superficial de pulpa, 12 kg/planta/año
- Pulpa de café (6 kg) incorporada al hoyo de siembra. Fertilizante químico cada tres meses, el primer año 50 g/planta y 150 g/planta del segundo año en adelante
- Fertilizante químico cada tres meses, el primer año 50 g/planta y 150 g/planta del segundo año en adelante

Los resultados demostraron la bondad de la pulpa, pues en todas las localidades hubo efecto positivo de este fertilizante orgánico, aun en aquellas con alto contenido de MO (Figura 27). En general, la aplicación de 6 y 12 kg de pulpa/planta/año ocasionó incrementos en la producción, comparables a los obtenidos con el fertilizante químico; sin embargo, en algunas ocasiones la producción con la dosis más alta fue mayor a la obtenida con el fertilizante químico, y en otras, la dosis más baja fue menor a éste. La incorporación de la pulpa al hoyo en el momento de la siembra sólo se justificó en suelos con bajo contenido de MO; en este mismo sentido, el efecto residual de la pulpa fue

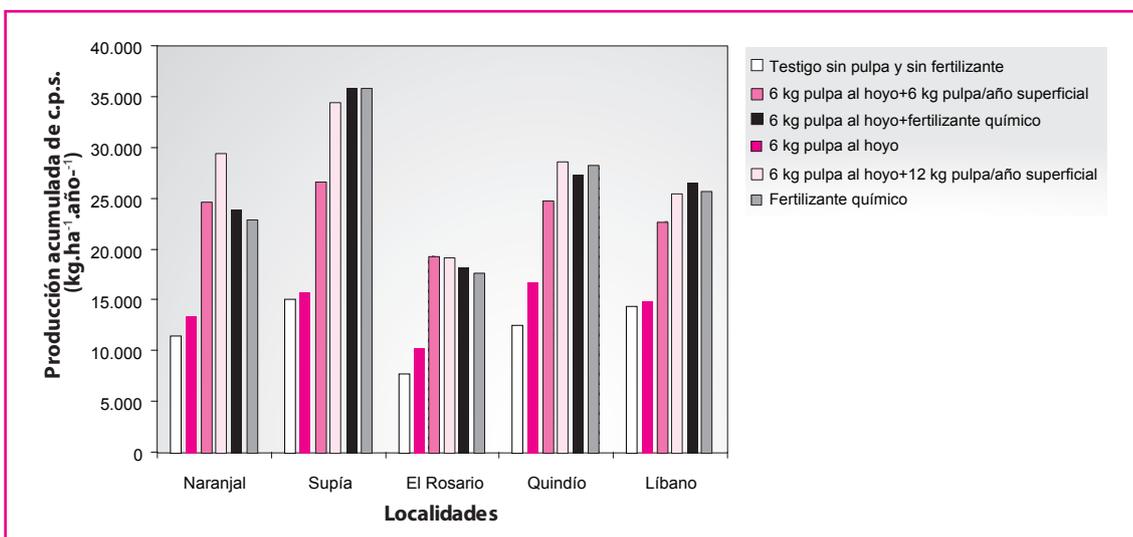


Figura 27. Efecto de la pulpa de café descompuesta y fertilización química en la producción de cafetales en cinco sitios de Colombia (Producción acumulada de tres cosechas en Naranjal y El Rosario, y cuatro cosechas en Líbano, Supía y Quindío). Tomado de Uribe y Salazar (54).

relativamente corto, por lo tanto se sugiere aplicarlo de manera continua todos los años, si se quiere conservar su efectividad como fertilizante en los cafetales.

Para cafetales a plena exposición solar y con alta densidad de siembra (10.000 plantas/ha), Arcila y Farfán (2) presentan los registros de producción de c.p.s. en tres Subestaciones Experimentales de Cenicafé, al emplear diferentes dosis de lombrinaza, cuyos resultados se comparan frente a un testigo sin fertilizar y un tratamiento de fertilización con base en el análisis de suelos (Tabla 24). En este estudio se demostró que con la aplicación de 2 a 3 kg/planta/año de lombrinaza es posible obtener una producción igual o mayor que la obtenida con la fertilización química realizada con base en el análisis de suelos.

Tabla 24.
Respuesta de café a la lombrinaza y fertilización química en tres Subestaciones de Cenicafé. Tomado de Arcila y Farfán (2).

Tratamiento	Promedio de producción de c.p.s. (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)		
	Paraguaicito (4 cosechas)	La Catalina (5 cosechas)	Naranjal (5 cosechas)
0,5 kg/planta/año de lombrinaza	3.272,5 bc	3.011,3 b	3.255,0 b
1,0 kg/planta/año de lombrinaza	3.388,8 abc	3.546,3 ab	3.871,3 ab
2,0 kg/planta/año de lombrinaza	3.717,5 ab	3.766,3 a	4.133,8 a
3,0 kg/planta/año de lombrinaza	3.782,5 a	3.965,0 a	4.296,3 a
Fertilización con base en análisis de suelo	3.633,8 ab	3.972,5 a	3.198,8 b
Testigo sin fertilización	2.973,8 c	3.267,5 ab	2.115,0 c

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios según prueba Tukey al 5%.

Es pertinente aclarar que al igual que para los fertilizantes químicos, la cantidad del abono orgánico se debe expresar en kilogramos por hectárea (kg.ha⁻¹), si de un cafetal en producción se trata. Lo anterior, debido a que en esta etapa existe competencia entre las plantas y, por lo tanto, el manejo va dirigido a las poblaciones y no a los individuos (36). Caso contrario ocurre con la etapa de crecimiento vegetativo (levante), en la cual las cantidades de los abonos se expresan por planta o por sitio, más no en kilogramos por hectárea, dado que para esta fase se considera poca la competencia entre las plantas, y de allí que, el manejo va dirigido a individuos y no a poblaciones. Adicionalmente, cuando las recomendaciones de fertilización se dan por planta, y se obvian los requerimientos por unidad de área (por ejemplo, por hectárea), la información transferida queda incompleta para fines económicos y prácticos. Este hecho reviste mayor importancia si de abonos orgánicos se trata, pues su cantidad es mucho mayor que los fertilizantes químicos; por ejemplo, en el trabajo de Uribe y Salazar (54), la dosis más baja de la pulpa de café a la que se obtuvo respuesta (6 kg/planta/año para plantaciones con 4.444 plantas/ha), representa 26,7 t.ha⁻¹.año⁻¹ de abono orgánico. En el caso del trabajo de Arcila y Farfán (2), la cantidad de lombrinaza por planta podrá ser de 2 a 3 kg/planta si la densidad es de 10.000 árboles/ha, mientras que para una plantación de 5.000 árboles/ha la dosis por planta será el doble de este valor o un poco menos si se tiene en cuenta el ajuste propuesto por Sadeghian (33), en relación con el nivel de sombra y la densidad de siembra.

En la Tabla 25 se consigna la cantidad total del abono orgánico por hectárea, para diferentes densidades de siembra, partiendo de una cantidad por planta. Por ejemplo, si se requiere aplicar 2 kg de fertilizante por árbol en un lote con 4.000 plantas/ha, se necesitarían 8 t de abono, mientras que para una densidad de 10.000 plantas/ha se debe contar con 20.000 t.

Lo anterior reviste mayor importancia al considerar el precio del insumo (Tabla 26). Para el caso de 8 t, el costo puede variar entre \$ 400.000 y \$ 2.400.000 por hectárea, de acuerdo al precio del abono en el mercado (entre \$ 50 y \$ 300 por kilogramo). Referente a los costos de la aplicación, en general, se necesitan entre 2 y 3 jornales/ha/semestre para esta labor, cuando de productos de síntesis se trata, mientras que los abonos orgánicos pueden demandar entre 5 y 6 jornales, dependiendo de la cantidad total.

Dosis de abono orgánico (kg/planta)	Cantidad de abono orgánico según la densidad de siembra (t/ha)			
	4.000 plantas/ha	6.000 plantas/ha	8.000 plantas/ha	10.000 plantas/ha
0,5	2	3	4	5
1,0	4	6	8	10
1,5	6	9	12	15
2,0	8	12	16	20
2,5	10	15	20	25
3,0	12	18	24	30
3,5	14	21	28	35
4,0	16	24	32	40
4,5	18	27	36	45
5,0	20	30	40	50
5,5	22	33	44	55

Tabla 25. Requerimientos totales de abono orgánico por hectárea, de acuerdo a la dosis de abono y la densidad de plantas.

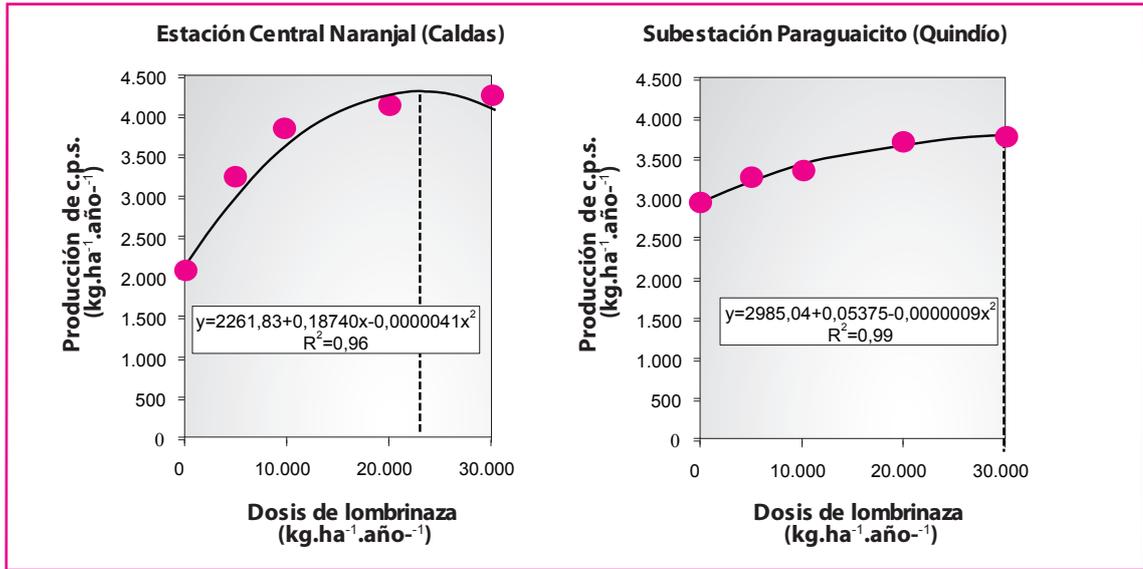
Cantidad de abono orgánico (t/ha)	Costo del abono orgánico/ha (miles de pesos)					
	\$50/kg	\$100/kg	\$150/kg	\$200/kg	\$250/kg	\$300/kg
2	100	200	300	400	500	600
4	200	400	600	800	1.000	1.200
6	300	600	900	1.200	1.500	1.800
8	400	800	1.200	1.600	2.000	2.400
10	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000
12	600	1.200	1.800	2.400	3.000	3.600
14	700	1.400	2.100	2.800	3.500	4.200
16	800	1.600	2.400	3.200	4.000	4.800
18	900	1.800	2.700	3.600	4.500	5.400
20	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
22	1.100	2.200	3.300	4.400	5.500	6.600
24	1.200	2.400	3.600	4.800	6.000	7.200
26	1.300	2.600	3.900	5.200	6.500	7.800
28	1.400	2.800	4.200	5.600	7.000	8.400
30	1.500	3.000	4.500	6.000	7.500	9.000

Tabla 26. Costo del abono orgánico por hectárea de acuerdo a la cantidad y el precio de éste.

Con base en los datos presentados por Arcila y Farfán (2) (Tabla 24), se determinaron las funciones de respuesta a dosis crecientes de lombrinaza, en kilogramos por hectárea, para Naranjal y Paraguaicito (Figura 28); ejercicio que permite estimar los óptimos biológicos y económicos. De acuerdo a las ecuaciones cuadráticas descritas, para la Estación Central Naranjal la máxima producción, es decir el óptimo biológico (4.414 kg de c.p.s.), se obtiene al aplicar 22.966 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de lombrinaza; en el caso de Paraguaicito este punto óptimo (3.787,4 kg de c.p.s.) ocurre con 29.859 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de lombrinaza. Nótese que la magnitud de la respuesta es relativamente mayor en Naranjal, pues con las primeras dosis se generan incrementos más altos que en Paraguaicito. Esta condición es debida tanto al contenido de los elementos en el material orgánico aplicado como a la fertilidad de los suelos.

Figura 28.

Respuesta del café a dosis crecientes de lombrinaza en las Subestaciones Naranjal y Paraguaicito. Datos originales tomados de Arcila y Farfán (2).



De acuerdo con las funciones presentadas en la Figura 28, es posible calcular una serie de óptimos económicos, basados en un rango relativamente amplio de precios de café y de lombrinaza (Tabla 27). Debido a que en este experimento en particular, la respuesta a la lombrinaza tiene una mayor magnitud en Naranjal, es muy rentable realizar la práctica de fertilización con este abono orgánico aun con altos precios de lombrinaza (\$ 200/kg) y bajos precios de c.p.s. (\$ 3.200/kg). En contraposición, al aplicar este mismo análisis a Paraguaicito, el balance se hace negativo.

Tabla 27.

Cantidad de lombrinaza a aplicar (kg.ha⁻¹.año⁻¹) para alcanzar el óptimo económico, de acuerdo a los precios de café y lombrinaza.

Precio de c.p.s. (\$)		Estación Central Naranjal				Subestación Paraguaicito			
		Precio de lombrinaza (\$/kg)				Precio de lombrinaza (\$/kg)			
Arroba	kg	50	100	150	200	50	100	150	200
40.000	3.200	21.051	19.136	17.221	15.307	21.179	12.498	3.817	-4.863
50.000	4.000	21.434	19.902	18.370	16.838	22.915	15.970	9.026	2.081
60.000	4.800	21.689	20.413	19.136	17.860	24.072	18.285	12.498	6.711
70.000	5.600	21.872	20.777	19.683	18.589	24.899	19.938	14.978	10.018
80.000	6.400	22.008	21.051	20.094	19.136	25.519	21.179	16.838	12.498

Otro aspecto importante a tener en cuenta al momento de tomar la decisión de aplicar un fertilizante orgánico es la cantidad total de nutrientes que éste llegaría a aportar a través de tiempo; lo anterior sin considerar las pérdidas a las cuales estaría sujeto, como cualquier otro fertilizante (por ejemplo, volatilización, lixiviación, fijación e inmovilización). Con base en los datos de la Tabla 5 se calcularon los aportes de los nutrientes proporcionados por la lombrinaza y la gallinaza para diferentes cantidades de estos abonos (Tablas 28 y 29 respectivamente). Nótese que para una misma cantidad de fertilizante, son mayores los aportes de nutrientes de la gallinaza, en especial los de fósforo y calcio; condición que resulta de la concentración de fósforo en el alimento de las aves y del uso de la cal para el manejo de los problemas sanitarios en los galpones. Dado el alto contenido del fósforo

en la gallinaza, su uso sería más conveniente en la etapa de almácigo y levante que en la producción; además, el uso continuado de este abono podría eventualmente generar desbalances nutricionales como resultado del incremento del pH, dado el contenido de la cal; por ejemplo, al aplicar 10 t.ha⁻¹ se suministrarían 1.410 kg.ha⁻¹ de CaO, equivalentes a 3,5 t.ha⁻¹ de cal agrícola.

De acuerdo a Sadeghian (34), una recomendación general de fertilizantes para cafetales tecnificados a libre exposición solar, incluye las siguientes cantidades de nutrientes: 240 a 300 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de nitrógeno (N) y potasio (K₂O), y entre 30 y 60 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de fósforo (P₂O₅), magnesio (MgO) y azufre (S). Teóricamente, para suplir los anteriores requerimientos en términos de nitrógeno y potasio, se debería aplicar entre 25 y 30 t.ha⁻¹.año⁻¹ de lombrinaza y entre 20 y 25 t.ha⁻¹.año⁻¹ de gallinaza, valores que coinciden con los reportados por Arcila y Farfán (2).

Nutriente	Aporte de nutrientes según la cantidad de lombrinaza (kg.ha ⁻¹)*								
	1 t.ha ⁻¹	5 t.ha ⁻¹	10 t.ha ⁻¹	15 t.ha ⁻¹	20 t.ha ⁻¹	25 t.ha ⁻¹	30 t.ha ⁻¹	35 t.ha ⁻¹	40 t.ha ⁻¹
N	10,5	52	105	157	210	262	314	367	419
P ₂ O ₅	3,8	19	38	56	75	94	113	131	150
K ₂ O	10,0	50	100	150	200	250	300	349	399
CaO	10,1	51	101	152	203	253	304	355	405
MgO	2,7	13	27	40	53	66	80	93	106

Tabla 28.
Aporte de nutrientes por la aplicación de cantidades crecientes de lombrinaza.

* Cantidades corregidas por el contenido de la humedad (60%).

Nutriente	Aporte de nutrientes según la cantidad de gallinaza (kg.ha ⁻¹)*								
	1 t.ha ⁻¹	5 t.ha ⁻¹	10 t.ha ⁻¹	15 t.ha ⁻¹	20 t.ha ⁻¹	25 t.ha ⁻¹	30 t.ha ⁻¹	35 t.ha ⁻¹	40 t.ha ⁻¹
N	12,2	61	122	183	244	305	367	428	489
P ₂ O ₅	34,0	170	340	510	680	850	1.020	1.190	1.360
K ₂ O	21,7	109	217	326	435	544	652	761	870
CaO	141,0	705	1.410	2.115	2.819	3.524	4.229	4.934	5.639
MgO	12,0	60	120	180	240	299	359	419	479

Tabla 29.
Aporte de nutrientes por la aplicación de cantidades crecientes de gallinaza.

* Cantidades corregidas por el contenido de humedad (18%).

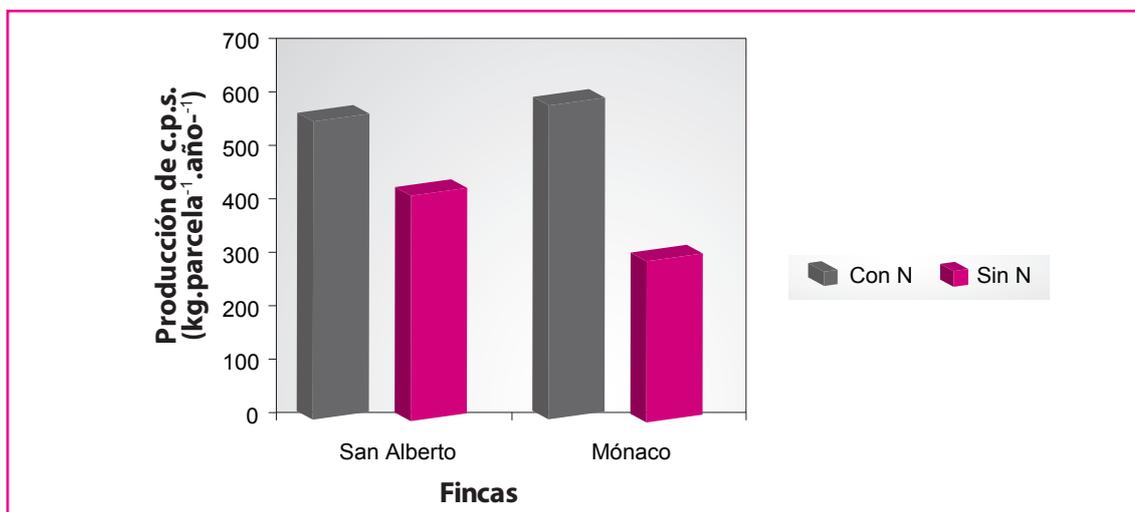
5.3.2 Materia orgánica del suelo (MO) y su relación con la producción

Como ya se ha mencionado, la materia orgánica estable del suelo (MO), se descompone por la acción de los microorganismos del suelo mediante el proceso llamado mineralización; de esta manera, quedan disponibles para las plantas elementos minerales, principalmente el nitrógeno.

En una investigación conducida por Uribe y Mestre (53), y desarrollada en ocho localidades de la zona cafetera de Colombia, se evaluó la respuesta del café al suministro de nitrógeno fósforo y potasio, mediante 27 combinaciones posibles de 0, 120 y 240 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N, K₂O y P₂O₅. El efecto de nitrógeno fue contundente en todos los sitios; pese a ello, los autores señalan no haber encontrado una relación entre este elemento y el contenido de la MO del suelo.

En dos fincas del departamento del Quindío, Sadeghian et al. (37) midieron la respuesta del café al suministro de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, y su relación con los niveles de estos elementos en el suelo. Cuando se eliminó el nitrógeno de los planes de fertilización, la producción disminuyó en los dos sitios (Figura 29), pero con implicaciones diferentes, pues mientras que en la finca San Alberto, con 9% de MO, la producción bajó en 21% al eliminar el N de los planes de fertilización, en Mónaco, con 4% de MO, la disminución fue del 47%.

Figura 29. Efecto del nitrógeno sobre la producción de café en dos fincas del departamento del Quindío (producción acumulada de cuatro cosechas).



En el tratamiento "Con N" se aplicaron cantidades equivalentes a 240 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N y K₂O, 80 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de P₂O₅ y 60 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de MgO. En el tratamiento "Sin N" se excluyó este elemento, pero se aplicaron los demás nutrientes. Tomado de Sadeghian et al. (37).

Con el propósito de determinar el efecto de la fertilidad del suelo sobre la producción de café, Sadeghian (35) llevó a cabo una investigación en 32 lotes cafeteros, ubicados en diez departamentos de Colombia. De acuerdo con los resultados de esta investigación, el comportamiento de la producción de café en función de los niveles de la MO, como indicador de la disponibilidad de nitrógeno (N), se ajusta a una tendencia cuadrática (Figura 30). A medida que aumentan los contenidos de MO también se incrementan los rendimientos hasta alcanzar un nivel máximo (18%), después del cual el rendimiento desciende en respuesta a la disminución de la tasa de mineralización. De acuerdo con esto, en suelos con niveles de MO menores al 8% o mayores al 30%, el rendimiento se reduce en más del 50% al eliminar el N de los planes de fertilización.

Con base en la anterior investigación, Sadeghian (33) recomienda tener en cuenta el nivel de MO del suelo para la recomendación de N (Tabla 30); en este sentido, se sugiere aplicar entre 240 y 300 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N para cafetales con altas densidades y con poca sombra, según el nivel de MO. Adicionalmente, estas dosis se ajustan de acuerdo al nivel de sombrío y la densidad de siembra.

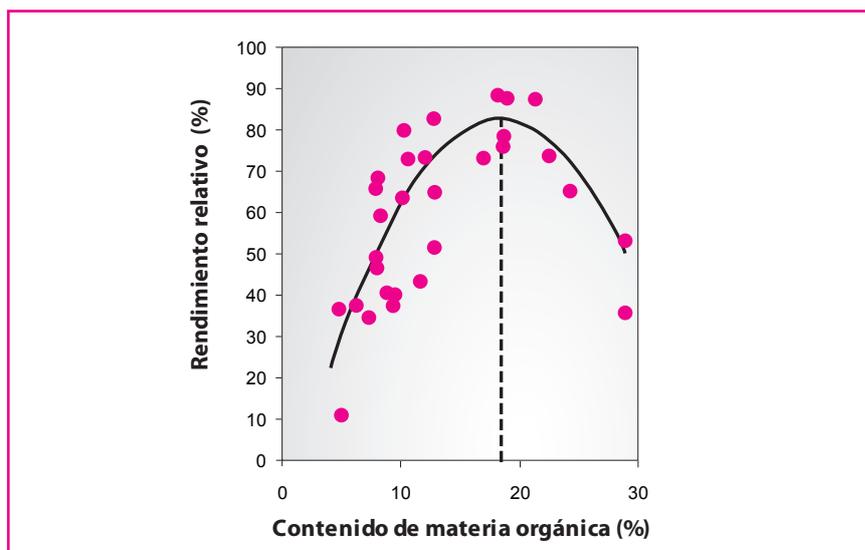


Figura 30. Efecto de la materia orgánica del suelo (MO), sobre el rendimiento de café. Tomado de Sadeghian (35)

Contenido de MO (%)	Nivel de sombra					
	Menor de 35%			Entre 35 y 45%		Entre 45 y 55%
	Densidad mayor de 7.500*	Densidad entre 5.000 y 7.500	Densidad menor de 5.000	Densidad entre 5.000 y 7.500	Densidad menor de 5.000	Densidad menor de 5.000
MO ≤ 8	300	285	255	255	225	150
8 < MO ≤ 12	280	266	238	238	210	140
12 < MO ≤ 16	260	247	221	221	195	130
16 < MO ≤ 20	240	228	204	204	180	120
MO > 20	260	247	221	221	195	130

Tabla 30. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de café ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), con base en los contenidos de la materia orgánica del suelo (MO), el nivel de sombra y la densidad de siembra.

*Plantas/ha



6

Consideraciones y recomendaciones

Con base en lo expuesto, se sugiere tener en cuenta los siguientes aspectos, antes de iniciar cualquier práctica relacionada con la materia orgánica:

- En un sentido amplio, la fracción orgánica del suelo comprende la biomasa del suelo, los restos reconocibles de los organismos en diferentes estados de descomposición, y una mezcla de sustancias amorfas y coloidales, sintetizadas por los microorganismos.
- El humus, es decir la materia orgánica del suelo (MO), comprende todos los compuestos orgánicos en el suelo, excluyendo los tejidos vegetales y animales sin descomponer, sus productos de “descomposición parcial”, y la biomasa del suelo. El humus propiamente dicho se forma únicamente en el suelo.
- Los materiales orgánicos empleados en la agricultura contienen algunas sustancias que se asemejan a las estructuras identificadas en las sustancias húmicas, más no son humus. Por lo tanto, no es correcto referirse a las heces de los animales, los abonos provenientes de compostaje y a las sustancias extraídas de éstos como humus.

- Los suelos de la zona cafetera de Colombia difieren considerablemente en sus contenidos de MO. Algunas unidades cartográficas como Mandivá, Doscientos, San Simón, La Cristalina y Montenegro, normalmente presentan niveles relativamente bajos, mientras que otras, entre ellas Chinchiná y Timbío, son ricas en este componente.
- Es posible incrementar la MO en los primeros centímetros de profundidad, mediante prácticas de conservación de suelo y el aporte continuo de materiales orgánicos provenientes de árboles como el guamo y de ciertos abonos ricos en lignina.
- Es importante conocer, mediante análisis de laboratorio, el contenido de MO y otras propiedades del suelo, con el fin de tomar las decisiones necesarias acerca de la nutrición de los cafetales y la conservación de los suelos.
- La MO, al igual que las demás propiedades del suelo, puede presentar una alta variabilidad aun a cortas distancias. Lo anterior debe tenerse en cuenta al momento de tomar las muestras para el análisis de laboratorio; en este sentido, entre mayor sea la heterogeneidad se debe tomar un número más alto de submuestras. En general, se recomienda tomar de cinco a seis submuestras por hectárea.
- Cuando en un mismo lote se presentan sectores contrastantes en el contenido de MO es necesario separarlos con fines de muestreo; en el caso de que sólo una pequeña parte del lote exhiba diferencias en el nivel de MO, ésta no se debe tener en cuenta al momento de realizar dicha labor.
- Para tener una idea más detallada acerca de las variaciones en el contenido de MO del lote, se puede llevar a cabo un muestreo sistemático. Una forma sencilla consiste en medir con barreno la profundidad del horizonte A o la capa arable, como indicador de los procesos de erosión dentro del lote. Adicionalmente, se podrán generar mapas que permitan identificar sectores con problemas, en los cuales se deban llevar a cabo tratamientos de conservación, tales como la siembra de árboles, el establecimiento barreras vivas y la aplicación de abonos orgánicos, entre otros.
- El establecimiento de árboles como sombrío permanente en los cafetales, por ejemplo el guamo, contribuye a incrementar los niveles de MO a través de tiempo, en respuesta al aporte significativo de materiales orgánicos, principalmente hojarasca y raíces. Esto también ayudará a mejorar otras propiedades del suelo.
- La siembra de árboles debe planearse con suficiente anterioridad (preferiblemente antes de sembrar el café); por lo tanto, es necesario definir un modelo de producción según las condiciones agroclimáticas del sitio y los intereses en el sistema.
- El punto de partida para una adecuada nutrición de café es el análisis de suelo. Esta herramienta permite conocer la fertilidad del medio en donde crecen las raíces de las plantas de café, y de donde extraen los nutrientes que necesitan para crecer.

- La MO guarda una relación estrecha con el contenido de los nutrientes como el nitrógeno, fósforo y azufre; por lo tanto, es muy importante proteger el suelo de la erosión y realizar prácticas tendientes a incrementar su contenido.
- Se deben aprovechar todos los residuos orgánicos que se generan en la finca, en especial para recuperar los sectores con problemas físicos de suelo o aquellos que presentan signos visibles de erosión.
- La principal fuente de materia orgánica en las fincas cafeteras es la pulpa de café, la cual puede aplicarse fresca en los cafetales que están en la etapa de producción, o descomponerla para luego utilizarla en los almácigos.
- La descomposición de la pulpa fresca mediante el uso de la lombriz roja californiana es una excelente alternativa, tanto por la calidad del producto final como por sus bajos costos.
- En algunas regiones de Colombia se puede disponer de otras fuentes de materia orgánica como la gallinaza, pollinaza, estiércol vacuno, equinaza y cenichaza, además de productos que se preparan a base de éstas y enmiendas, principalmente cales.
- Los requerimientos nutricionales de café varían de acuerdo a la etapa del desarrollo, los factores climáticos, las condiciones del suelo y el manejo de las plantaciones (densidad, nivel de sombra, incidencia de plagas y enfermedades, etc.). Para suplir la demanda de nutrientes se pueden emplear fertilizantes químicos (por ejemplo, urea, KCl, DAP, flor de azufre, yeso, óxido de magnesio, etc.), abonos orgánicos o una combinación de los dos. En general, se acepta que los fertilizantes químicos se pueden reemplazar de manera parcial o total por los orgánicos, siempre y cuando se suministren en cantidades suficientes.
- Es pertinente contar con la mayor información posible acerca de los fertilizantes y enmiendas a emplear; su origen, la composición de los elementos que contienen y la forma química en que éstos están presentan, su efecto sobre la acidez del suelo, las precauciones que se deben tener en cuenta para mezclarlos con otros productos (por ejemplo, los abonos orgánicos que contienen cales pueden contribuir a la pérdida de nitrógeno ureico o nitrógeno en forma de amoníaco), el tiempo y las condiciones en las que se deben almacenar, la cantidad total requerida, el costo del producto y de la mano de obra requerida para su aplicación.
- En la etapa de almácigo, una mezcla de suelo y pulpa de café bien descompuesta, en relación 1:1 (v/v), es suficiente para suplir las necesidades nutricionales de la planta. En el caso que se disponga de otras fuentes, como lombrinaza de pulpa de café, gallinaza, estiércol vacuno, pollinaza o cenichaza, se puede emplear una relación de 3:1 (v/v), independiente de los contenidos de MO del suelo. Cuando se utilizan las anteriores proporciones no será necesario aplicar fertilizantes de síntesis química ni cales.

- La aplicación de DAP puede contribuir a reducir los efectos nocivos de la lombrinaza parcialmente descompuesta.
- La aplicación de la materia orgánica en la siembra puede resultar beneficiosa siempre que se apliquen cantidades suficientes, según el tamaño del hoyo. Lo anterior reviste mayor importancia en suelos con problemas físicos y/o bajo contenido de MO.
- El efecto de la materia orgánica sólo se conserva durante un período relativamente corto (entre cuatro y seis meses), de allí la necesidad de repetir la aplicación de manera continuada.
- Se sugiere aplicar entre 1 y 2 kg/planta/año de lombrinaza o su equivalente en otros abonos orgánicos durante los primeros dos años de establecimiento del cultivo (etapa de crecimiento vegetativo o levante). Estas cantidades deben fraccionarse en tres aplicaciones anuales, de acuerdo a las épocas de lluvia.
- En la etapa de producción, las dosis de los fertilizantes se deben calcular por área (por ejemplo, kg/ha), más no por planta. Una vez definido lo anterior, se podrán expresar las cantidades por planta.
- Las dosis de los abonos orgánicos, al igual que los fertilizantes químicos, se pueden ajustar de acuerdo a la densidad de siembra y el nivel de sombra (Tabla 31).

Nivel de sombra	Densidad de siembra (plantas o ejes/ha)		
	Mayor de 7.500	Entre 5.000 y 7.500	Menor de 5.000
Inferior a 35%	1,00	0,95	0,85
Entre 35 y 45%		0,85	0,75
Entre 45 y 55%			0,50
Mayor de 55%			0

Tabla 31. Factores para ajustar los requerimientos nutricionales de acuerdo al nivel de sombra y la densidad de siembra.

Nota: Se deben multiplicar las recomendaciones sugeridas para cafetales con altas densidades y muy bajo sombrío por el factor de ajuste.

- La dosis de nitrógeno se puede ajustar según el contenido de MO del suelo.
- Tratándose de lombrinaza, en cafetales a plena exposición solar y con altas densidades (10.000 plantas/ha), las mayores producciones (óptimos biológicos) se han obtenido con la aplicación de 20 a 30 t/ha. En el caso de la pulpa descompuesta, las cantidades a emplear son mayores a las mencionadas (hasta cerca de 50 t/ha).
- Siempre se debe realizar un ejercicio económico para tomar las mejores decisiones en torno al uso de los abonos orgánicos. Las principales variables a tener en cuenta se relacionan con el costo de los insumos y el precio del café.
- Se recomienda fraccionar los abonos orgánicos en dos o tres aplicaciones anuales, teniendo siempre en cuenta las épocas de lluvia.



7 Literatura citada

1. ARANGO B., L.G.; DÁVILA A., M.T. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. Avances Técnicos Cenicafé No. 161:1-4. 1991.
2. ARCILA P., J.; FARFÁN V., F. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. In: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé - FNC, 2007. p. 201-232.
3. ÁVILA R., W.E. Efecto de diferentes fuentes de materia orgánica y Fósforo en almácigos de café variedad Colombia Coffea arabica en el municipio de Floridablanca-Santander. Tunja (Colombia), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2007.
4. ÁVILA R., W.E.; SADEGHIAN K., S.; SÁNCHEZ A., P.M.; CASTRO F., H.E. Producción de almácigos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y de fósforo. Avances Técnicos Cenicafé 356:1-12. 2007.
5. BEDOYA M., H.J.; SALAZAR A., J.N. Los lodos de la digestión anaeróbica de la pulpa del fruto del cafeto como abono para almácigos. Cenicafé 36(4):112-124. 1985.
6. BLANDÓN C., G.; DÁVILA A., M. T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. Cenicafé 50(1):5-23. 1999.
7. BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. Química del suelo. Editorial Limusa. S.A. México. 370 p. 1993.
8. BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 12 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1999. 881 p.

9. CADENA G., G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke, en almácigos. *Cenicafé* 33(3):76-90. 1982.
10. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de Inga spp. *Cenicafé* 56(2):127-141. 2005.
11. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., 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.
12. CARRILLO P., I.F.; CHAVES C., B. La materia orgánica y su relación con el nitrógeno. In: CONGRESO Colombiano de la Ciencia del Suelo, 7. Bucaramanga (Colombia), Octubre 5-8, 1994. Resúmenes. Bucaramanga, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994.
13. DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 225:1-11. 1996.
14. DIAZ M., C. Efecto del enclavamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. 246 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
15. FARFÁN V. F.; URREGO J. B. 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.
16. FOTH, H.D.; ELLIS, B.G. Soil fertility. 2. ed. Boca Raton, Lewis Publishers, 1997. 290 p.
17. GARCÍA L., J.C. Respuesta del café variedad Tabi a la fertilización, en un sistema agroforestal con *Erythrina fusca*, en la zona norte de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 382:1-4. 2009.
18. GÓMEZ A., A. Erosión en cafetales, bajo diferentes sistemas de manejo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 19:1-4. 1972.
19. GUERRERO R., R. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. In: Silva M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994. p. 247 - 281.
20. GUZMÁN G., C.A.; RIAÑO H., N.M. Respuesta de plantas de café en etapa de almácigo a la fertilización foliar. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 232:1-4. 1996.
21. JIMÉNEZ S., A.M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C.S. Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* 56(3):216-236. 2005.
22. LÓPEZ A., M. Cambios químicos en el suelo ocasionados por adición de materia orgánica: su valor residual y su efecto sobre plántulas de café hasta un año de edad. *Cenicafé* 17(4):121-131. 1966.
23. MACHADO S., A. Experimentos sobre fertilizantes químicos y orgánicos en los cafetales. *Cenicafé* 3(32):37-39. 1952.
24. MACHADO S., A. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. *Cenicafé* 9(7-8):157-198. 1958.
25. MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 28:1-2. 1973.
26. MESTRE M., A. Evaluación de la pulpa de café como abono para almácigos. *Cenicafé* 28(1):18-26. 1977.

27. OCHOA M., W.A.; SUAREZ V., S.; SADEGHIAN K., S. Variabilidad espacial del Nitrógeno disponible en andisoles de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 54(2):179-189. 2003.
28. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S. Propiedades de la materia orgánica y capacidad complejante sobre el aluminio en algunos suelos ándicos en Colombia. *Cenicafé* 57(1):51-57. 2006.
29. PARRA H., J. El valor fertilizante de la pulpa de café. *Cenicafé* 10(10):441-460. 1959.
30. PATIÑO G., M.A. Caracterización de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca. Manizales, Universidad de Caldas, 2005. 195 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
31. RODRÍGUEZ G., A. Abono y fertilizantes. *Cenicafé* 1(10):33-40. 1950.
32. SADEGHIAN K., 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.
33. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. *Boletín Técnico Cenicafé* No. 32:1-43. 2008.
34. SADEGHIAN K., S. Actualización y tendencia en la fertilización de café. In: ACTUALIZACIÓN en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Bogotá (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2008. p. 41-57.
35. SADEGHIAN K., S. Calibración de análisis de suelo para N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. *Cenicafé* 60(1):7-24, 2009.
36. SADEGHIAN K., S.; GAONA J., S. El suelo: formación, fertilidad y conservación. In: AULA virtual cafetera. Programa de capacitación virtual. Nivel 1: Fundamentos agronómicos. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-FNC-Fundación Manuel Mejía-SENA, 2005.
37. SADEGHIAN K., S.; GARCÍA L., J.C.; MONTOYA R., E.C. Respuesta del cafeto a la fertilización con N, P, K y Mg en dos fincas del departamento del Quindío. *Cenicafé* 57(1):58-69. 2005.
38. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4):251-261. 2006.
39. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 364:1-8. 2007.
40. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente en suelos de la zona cafetera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 326:1-8. 2004.
41. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397. 2005.
42. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. Almacigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Cenicafé* 59(2):91-102. 2008.
43. SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almacigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 178: 1-2. 1992.
44. SALAZAR A., J.N. Efecto del tamaño de la bolsa del almacigo sobre la producción de café. *Cenicafé* 47(3):115-120. 1996.
45. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almacigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 148: 1-2. 1990.

46. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Uso de la cenichaza como sustrato en almácigos de café. *Cenicafé* 44(1):20-28. 1993.
47. 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.
48. SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. Academic Press. 1995. 267 p.
49. STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry. Genesis, composition, reaction*. Ney York, Wiley, 1982. 443 p.
50. SUÁREZ V., S.; CARRILLO P., I.F. Descomposición biológica de leguminosas y otros materiales de la zona cafetera. *Cenicafé* 27(2):67-77. 1976.
51. URIBE H., A. Los cafeteros colombianos botan anualmente siete millones de pesos. *Agricultura Tropical* 12(3):183-185. 1956.
52. URIBE H., A. Efecto del fósforo en la producción de café. *Cenicafé* 34(1):3-15. 1983.
53. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el Potasio sobre la produccion de café. *Cenicafé* 27(4):158-173. 1976.
54. URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. *Cenicafé* 34(2):44-58. 1983.
55. VALENCIA A., G. Utilización de la pulpa de café en los almácigos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 17:1-2. 1972.
56. VALENCIA A., G. Fertilización foliar en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 49:1-2. 1975.



8 Abreviaturas y equivalencias

%: Porcentaje. Equivalente a dag.kg^{-1} (decagramo por kilogramo)

@: Arroba

Al: Aluminio

Ca: Calcio

cm^3 : Centímetro cúbico

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

$\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$: centimol carga por kilogramo de suelo.

dm^3 : Decímetro cúbico. En volumen equivale a 1 litro

g: Gramo

ha: Hectárea

K: Potasio

L: Litro

kg: Kilogramo

mg.kg^{-1} : Miligramo por kilogramo

Mg: Magnesio

MO: Materia orgánica del suelo, también denominado humus

N: Nitrógeno

P: Fósforo

pH: Potencial de iones hidrógeno

ppm: Partes por millón, equivalente a mg.kg^{-1}

S: Azufre

t: Tonelada

Agradecimientos

El autor expresa sus mas sinceros agradecimientos a las siguientes personas que contribuyeron con sus valiosos aportes en la revisión de este libro

Dr. Jaime Arcila Pulgarín, I.A. Sandra Milena Marín, I.A. M.Sc. Hernán González O., I.A. Luis Fernando Salazar G., Sr. Gonzalo Hoyos S., Diseñadora Carmenza Bacca R., Dr. Nelson Rodríguez V.

