

La materia orgánica en agroecosistemas cafeteros de Colombia

Siavosh Sadeghian Khalajabadi
Investigador Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé

Cómo citar:

Sadeghian, S. (2009). La materia orgánica en agroecosistemas cafeteros de Colombia. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 72–99). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_4

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia que tiene la materia orgánica en los agroecosistemas cafeteros de Colombia, en Cenicafé se ha desarrollado un número considerable de estudios para determinar su influencia sobre el crecimiento y la producción del café en las diferentes regiones del país. Éstos incluyen, por una parte, la acción de la materia orgánica estable del suelo (MO) o el humus, y por otra, el efecto de los diferentes abonos orgánicos que se aplican solos o en combinación con los fertilizantes químicos y enmiendas.

En cuanto a la MO se refiere, los suelos de la región cafetera colombiana difieren en su contenido, pues los factores que gobiernan la formación de los suelos presentan variaciones notables entre un sitio y otro. Adicionalmente, los sistemas en los cuales son mayores los aportes de materiales orgánicos, por ejemplo, los bosques, los guaduales y los cafetales tradicionales bajo sombrío de guamo, tienden a presentar contenidos más altos de MO, lo cual afecta a su vez otras propiedades físicas, químicas y biológicas del medio edáfico donde crecen las raíces de las plantas cultivadas, incluyendo el café.

Con respecto a los abonos orgánicos, las investigaciones desarrolladas por Cenicafé han demostrado que mediante su uso 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 aplicación.

En este documento se hace una revisión breve de los estudios más relevantes sobre el tema. Inicialmente, se presentan 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.

LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN LA ZONA CAFETERA Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES DEL SUELO

En la región cafetera del país existe una gran diversidad de suelos, los cuales 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 1).

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 (2003) y Patiño (2004), quienes midieron dicha variabilidad en seis lotes de café en producción, mediante muestreos sistemáticos que se realizaron cada 10 ó 20 m (Tabla 2). Adicionalmente, cabe resaltar que los contenidos de la MO se reducen con la profundidad (Figura 1), comportamiento que se corroboró en la investigación realizada por Salamanca y Sadeghian (2005).

Tabla 1. Contenido de materia orgánica (MO) en los primeros 20 cm, 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	El Tambo
Salgar	Pizarra	Dystropept	6,9-12,8	Antioquía	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.

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 (Gómez, 1972).

Lo anterior coincide con los reportes de Salamanca y Sadeghian (2005) y Cardona y Sadeghian (2005), quienes evaluaron los contenidos de la MO y su relación con otras propiedades del suelo en algunos agroecosistemas de la zona cafetera. De acuerdo con 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

Tabla 2. 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. La 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.* (2003), **: Datos de Patiño (2004)

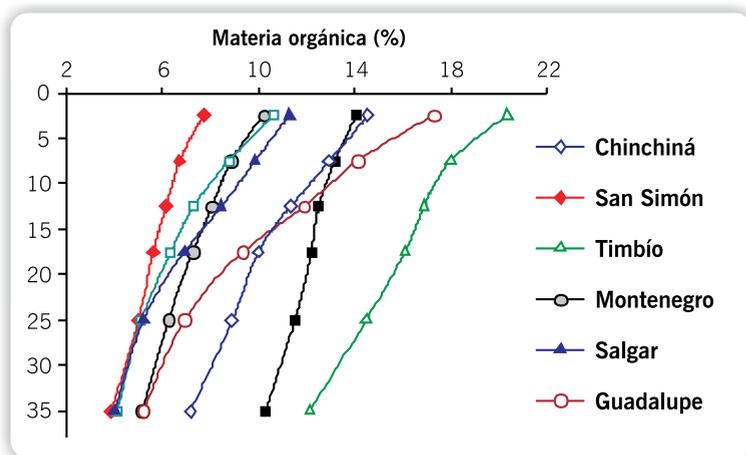


Figura 1. Variaciones de los contenidos de la materia orgánica (MO) con la profundidad, en ocho unidades de suelos de la zona cafetera.

Tomado de Salamanca y Sadeghian (2005).

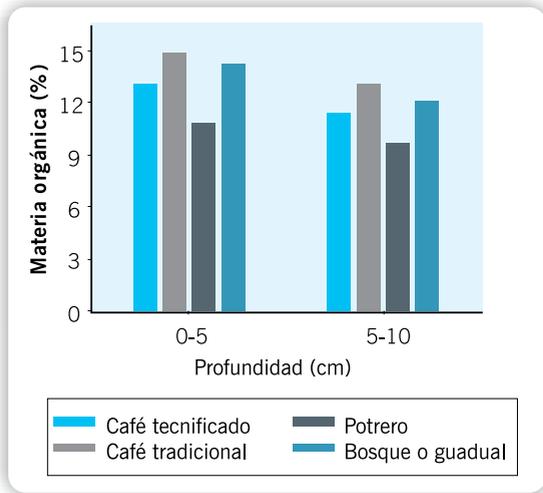


Figura 2. Contenido de la MO en cuatro agroecosistemas de la zona cafetera de Colombia (promedio de ocho unidades de suelo).

Tomado de Salamanca y Sadeghian (2005).

2), 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.

Salamanca y Sadeghian (2004) 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, entre otros, contribuyen a 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.

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 obtenido varios modelos matemáticos, con el fin de estimar el contenido total del N en función de la MO del suelo (Carrillo y Chavez, 1994; Sadeghian, 2003). 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 se presenta 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 3).

LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS

La principal fuente de materia orgánica¹ en las fincas cafeteras es la pulpa fresca de café, ya que en el proceso de la obtención de 1.250 kg de café pergamino seco (c.p.s.)

¹Se 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.

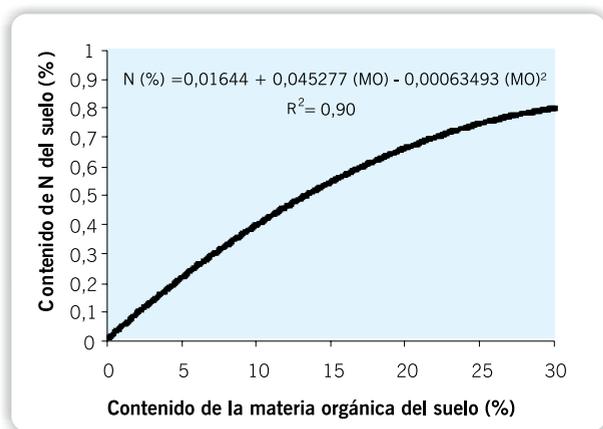


Figura 3. Contenido de N en función de la MO, en suelos de la zona cafetera de Colombia. Tomado de Carrillo y Chávez (1994).

(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 (2006) encontraron los siguientes valores promedios para cinco muestras analizadas de pulpa fresca: N 1,71%, P 0,10%, K 3,30%, Ca 0,26%, Mg 0,08%, S 0,02%, Fe 42,98 mg.kg⁻¹, Mn 24,30 mg.kg⁻¹, Zn 6,58 mg.kg⁻¹, Cu 24,10 mg.kg⁻¹ y B 51,87.mg kg⁻¹. Según 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 (Sadeghian ., 2007).

Hace más de cinco décadas, Uribe (1956) sostenía que los cafeteros de Colombia botaban anualmente “7 millones de pesos”, al no emplear como fertilizante la pulpa que se generaba en ese entonces (860.000 t). Hoy, al hacer los mismos cálculos, 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 Urea, Fosfato diamónico (DAP) y Cloruro de potasio (KCl), su costo estaría cercano a los 80 mil millones de pesos (\$ 80.000.000.000).

Es factible descomponer la pulpa fresca a través de volteos permanentes o mediante el empleo de la lombriz roja californiana. 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 (Dávila y Ramírez, 1996), y ocurren cambios químicos importantes que determinan la calidad del abono resultante, entre los que se pueden resaltar: incremento del pH y los contenidos de proteína, fibra y elementos mayores y menores, y reducción de las grasas, el carbono orgánico, los carbohidratos solubles y la relación C/N (Blandón *et al.*, 1999).

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, la cenichaza, etc. (Tabla 3). Las propiedades químicas de los anteriores abonos también pueden presentar diferencias frente a los reportados en la literatura, lo cual se

Tabla 3. Propiedades de algunos abonos orgánicos analizados en el laboratorio de la Disciplina de Suelos de Cenicafé.

Abono orgánico	No. muestras analizadas	pH	N	P	K	Ca	Mg	Cenizas	Humedad
----- (%) -----									
Pulpa descompuesta	8	5,9	2,99	0,19	2,52	1,74	0,40	19	58
Lombrinaza	17	6,6	2,62	0,41	2,08	1,81	0,40	43	61
Gallinaza	10	8,4	1,49	1,81	2,21	12,28	0,88	45	18
Pollinaza	2	8,7	2,07	2,20	3,03	5,80	0,91	37	39
Bovinaza	3	8,0	1,53	0,69	1,96	1,93	0,81	53	39
Porquinaza	1	SD	2,21	1,65	1,15	5,40	1,00	30	SD
Bocashi	1	7,9	1,31	1,04	0,97	4,02	0,79	64	41

SD: Sin dato

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.

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. Entre las especies más comunes, empleadas en Colombia como sombrío permanente, están los guamos (*Inga* spp.). De acuerdo a los resultados de la investigación realizada por Cardona y Sadeghian (2005), en los municipios de Chinchiná (Caldas) y 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 aportes importantes de nutrientes (Tabla 4).

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.* (2005) 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 5), los autores recomiendan tenerlas en cuenta para ser empleadas dentro de los programas de fertilización orgánica de los cafetales.

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 cantidades importantes de residuos orgánicos y nutrientes, a través del ciclaje. Farfán y Urrego (2007) midieron la producción de biomasa y la transferencia de nutrientes de estas especies en la Subestación Paraguaicito (municipio de Buenavista, Quindío). La materia seca generada durante dos años por el café a libre exposición solar fue de 4,9 t.ha⁻¹, y en asocio con nogal, pino y eucalipto fue de 3,8, 4,6 y 4,1 t.ha⁻¹, respectivamente; así mismo, se reportan los siguientes valores

Tabla 4. Estimación de los aportes anuales de nutrientes (kg.ha⁻¹) del material orgánico, en dos localidades de la zona cafetera.

Nutriente	Chinchiná		El Cairo*	
	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

Tomado de Cardona y Sadeghian (2005). *En el texto original se hace referencia al corregimiento de Albán (El Cairo, Valle del Cauca).

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

Tomado de Jiménez *et al.* (2005).

promedio para la biomasa aportada por las tres especies forestales: nogal 3,5 t.ha⁻¹, pino 6,7 t.ha⁻¹ y eucalipto 6,4 t.ha⁻¹. En la Tabla 6 se observa la tasa de descomposición mensual del follaje, la concentración inicial de nutrientes en las hojas y el porcentaje de nutrientes transferidos durante un año, por cada una de las especies objeto de estudio.

Tabla 6. Tasa de descomposición de la hojarasca (k), concentración inicial de nutrientes en las hojas y porcentaje de nutrientes transferidos al suelo durante un año por café y tres especies forestales en asocio con café en la Subestación Paraguaicito.

	Café al sol	Nogal	Pino	Eucalipto
Tasa de descomposición mensual del follaje	-----($k \cdot \text{año}^{-1}$) -----			
	1,00	0,78	0,26	0,72
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 en un 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 (2007).

LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA DE LOS CAFETALES

Etapa de almácigo

Pulpa de café descompuesta

Mestre (1973) llevó a cabo una investigación para determinar la respuesta de café a la pulpa descompuesta en la fase de almácigo. Los tratamientos consistieron en las siguientes cuatro proporciones de la mezcla de pulpa:suelo: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 (v/v). Al incrementar la proporción de la pulpa con relación al suelo, el promedio del peso seco y la altura las plantas se incrementó (Figura 4); sin embargo, el autor considera que la mejor proporción es la de 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 invernadero como en el campo, Valencia (1972) 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 trasplante 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

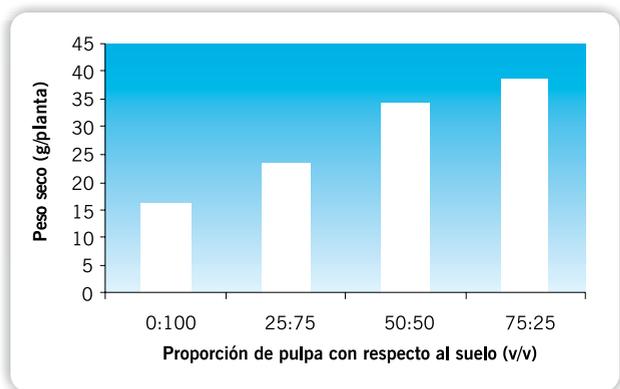


Figura 4. Efecto de la pulpa de café descompuesta en el peso total de la materia seca de café en la etapa de almácigo. Tomado de Mestre (1973).

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 7).

En un experimento conducido por Mestre (1977), se 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 afectó negativamente el crecimiento de las plantas; presentando así el menor promedio de todos los tratamientos (Figura 5); 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 (1959), 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 6); 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

Tabla 7. Respuesta de café en invernaderos y en el campo, a la adición de pulpa descompuesta, seis meses después de la siembra de la plántula.

	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

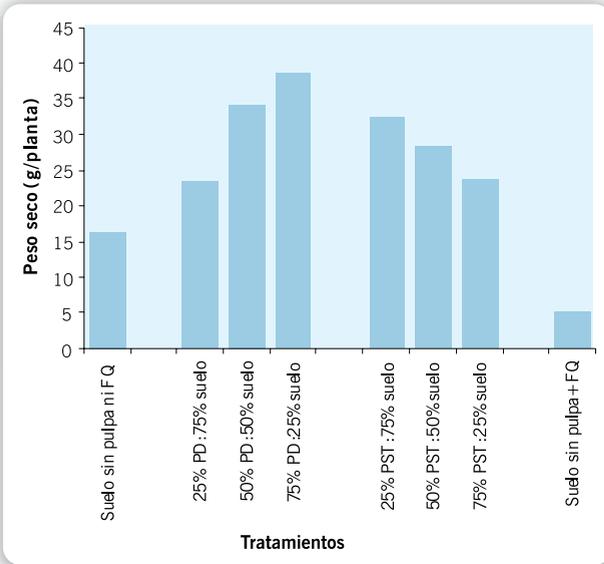


Figura 5. Efecto de la pulpa de café descompuesta, la pulpa seca triturada y la fertilización química sobre el peso total de la materia seca de café en almácigos a plena exposición solar.

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
Tomado de Mestre (1977).

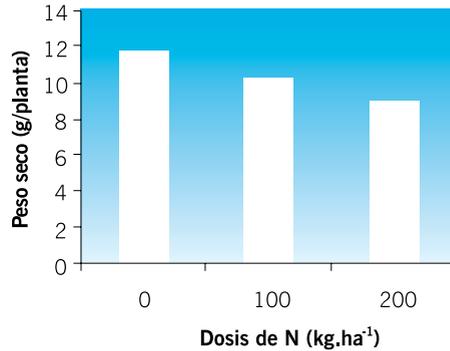
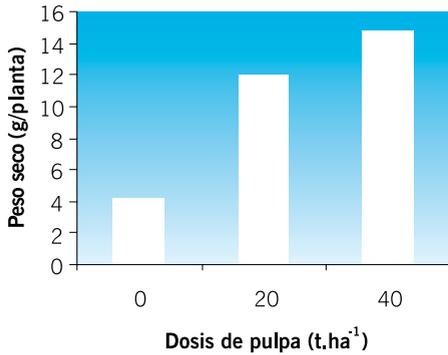
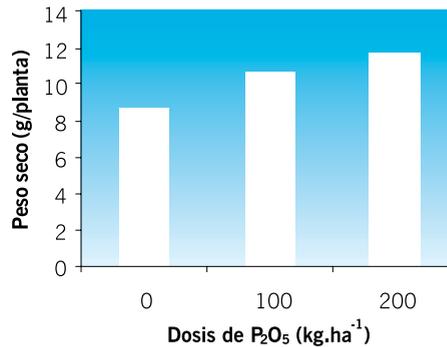


Figura 6. Respuesta del café a la pulpa descompuesta, N y P (peso seco de las plantas 210 días después de aplicados los tratamientos).
Tomado de Parra (1959).



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 (1996) y Valencia (1965), evaluaron para esta fase, la respuesta de café a diferentes productos disponibles en el mercado, los cuales fueron suministrados a las plantas, 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.

Al utilizar la pulpa de café para la producción de biogás o gas combustible, mediante la digestión anaeróbica, el material de desecho que resulta del gasógeno puede ser empleado como abono orgánico, razón que condujo a Bedoya y Salazar (1985) a evaluar su potencial para almácigos de café en diferentes proporciones de mezcla con el suelo. Con base en los resultados obtenidos (Figura 7), los autores sugieren como la proporción más adecuada, utilizar 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 enfermedades. En esta etapa, uno de los problemas más frecuentes es la mancha de hierro (Berk y Cooke), hongo que ataca las hojas de café, causando su caída y el debilitamiento de la planta. Cadena (1982) determinó la incidencia de esta enfermedad a través 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 hubo 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.

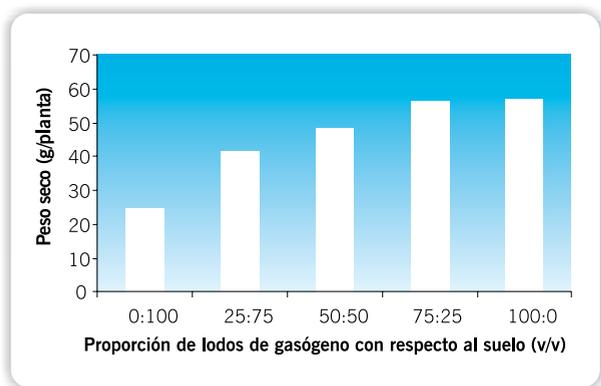


Figura 7. Efecto de los lodos de la digestión anaeróbica de la pulpa de café sobre el peso seco de las plantas de café en la etapa de almácigo.

Tomado de Bedoya y Salazar (1985).

Lombrinaza de pulpa de café

La investigación desarrollada por Arango y Dávila (1991) dio a conocer la posibilidad de acelerar la descomposición de la pulpa de café mediante el uso de la lombriz roja californiana (Sav.); 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.

Salazar (1992) 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 de las plantas (parte aérea y raíces), fue mayor que los otros tratamientos (Figura 8).

En La Granja de Cenicafé, y bajo las mismas condiciones ambientales, Salamanca y Sadeghian (2008) 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 Chinchiná en Naranjal, la proporción más adecuada fue 1:3 (v/v), es decir, 25% de lombrinaza y 75% de suelo (Figura 9). 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 estuvieron 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.

Para cinco suelos de la zona cafetera (cuatro Subestaciones de Cenicafé y una finca del municipio de Jamundí, en el Valle del Cauca), Díaz (2006) 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 10). En los suelos de Jamundí, El Rosario y Santander, los mayores valores se registraron al combinar la lombrinaza con el DAP.

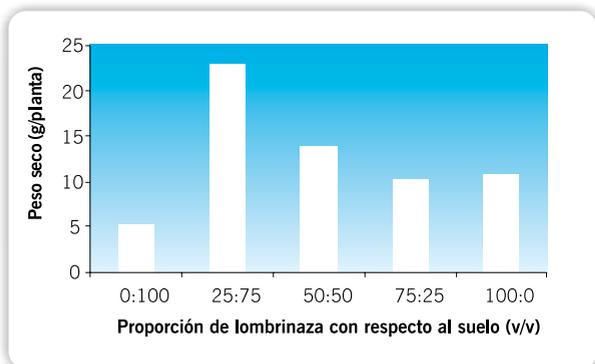


Figura 8. Efecto de la lombrinaza de pulpa de café sobre el peso seco de plantas de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar (1992).

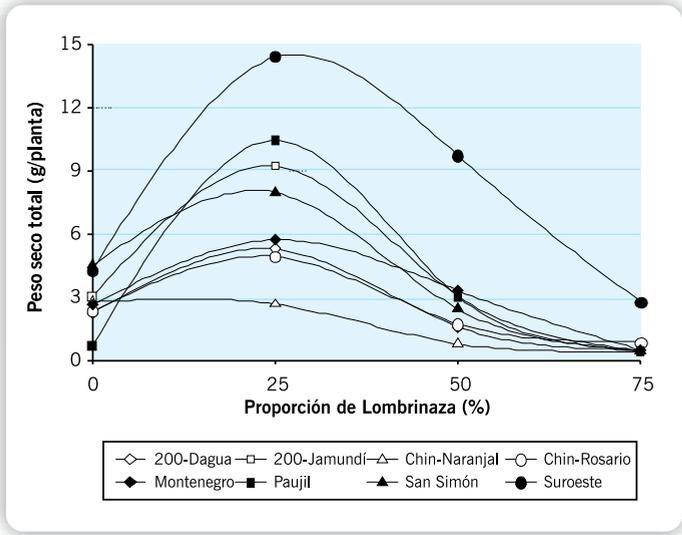


Figura 9. Respuesta del café en la etapa de almácigo a cuatro proporciones de mezcla suelo:lombrinaza, en suelos de la zona cafetera.

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% Tomado de Salamanca y Sadeghian (2008).

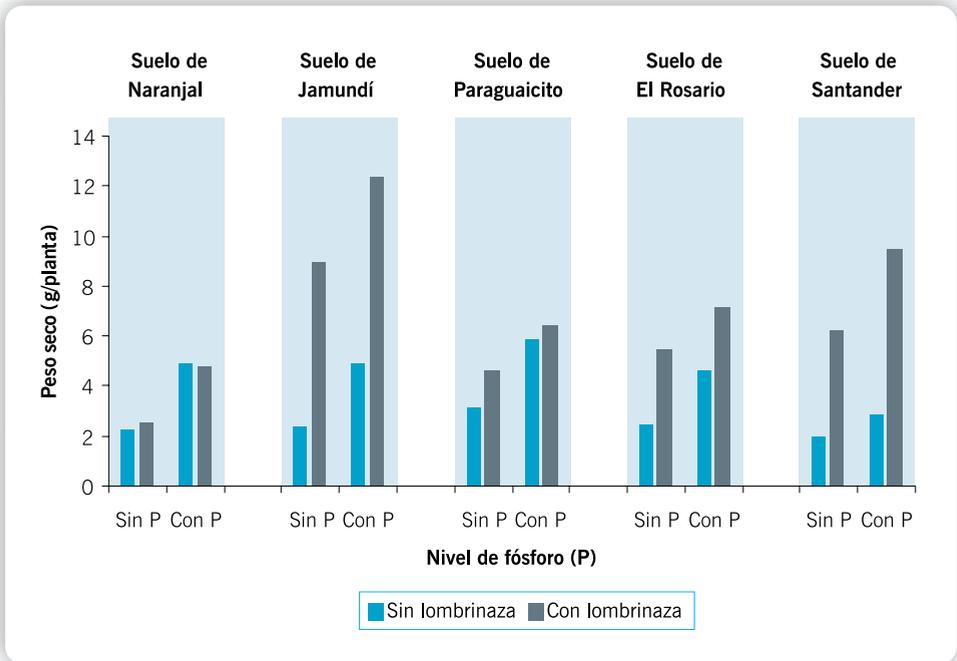


Figura 10. Efecto combinado de la lombrinaza y DAP sobre el peso seco total de las plantas de café en cinco suelos de la zona cafetera. Adaptada de Díaz (2006).

En una investigación desarrollada en el departamento de Santander por Ávila (2007), 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 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 11).

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 abonar diversos cultivos, entre ellos el café.

Los resultados obtenidos por Salazar y Mestre (1990), 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 12).

En el departamento de Santander, Ávila *et al.*, (2007) 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

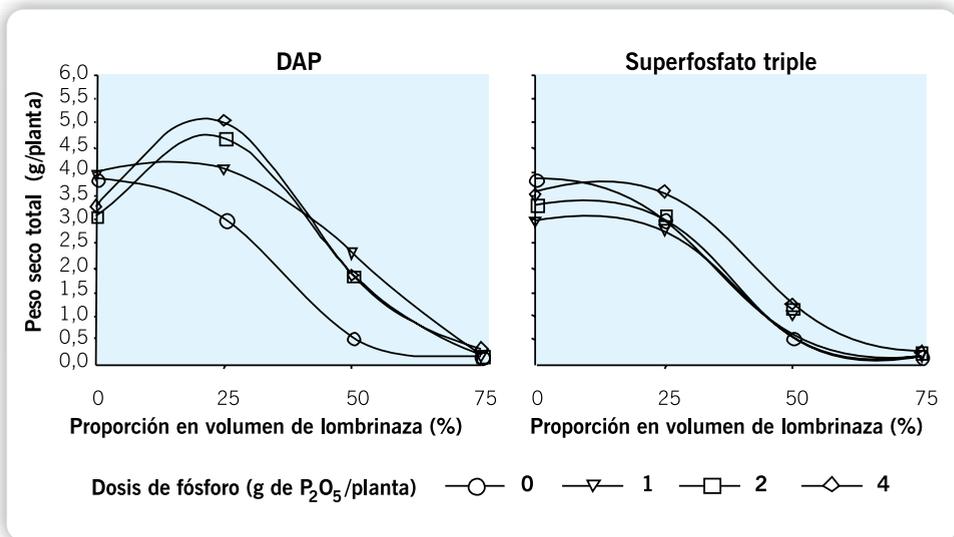


Figura 11. Respuesta de las plantas de café en la fase de almácigo a la aplicación de DAP y SFT, en combinación con lombrinaza. Tomado de Ávila *et al.* (2007).

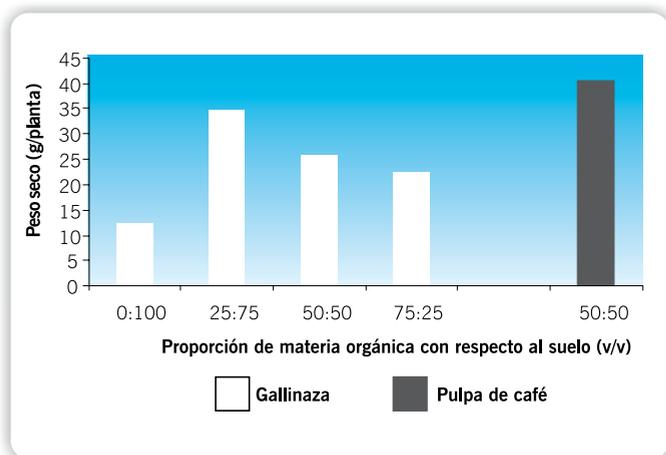


Figura 12. Efecto de la gallinaza y pulpa descompuesta de café en el peso total de la materia seca de café, en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Mestre (1990).

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 13). 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 hubo efecto.

Otros abonos orgánicos

Estiércol de ganado. Para las condiciones de Pueblo Bello (departamento de Cesar), Salazar y Montesino (1994) midieron la respuesta de las plantas de café a diferentes

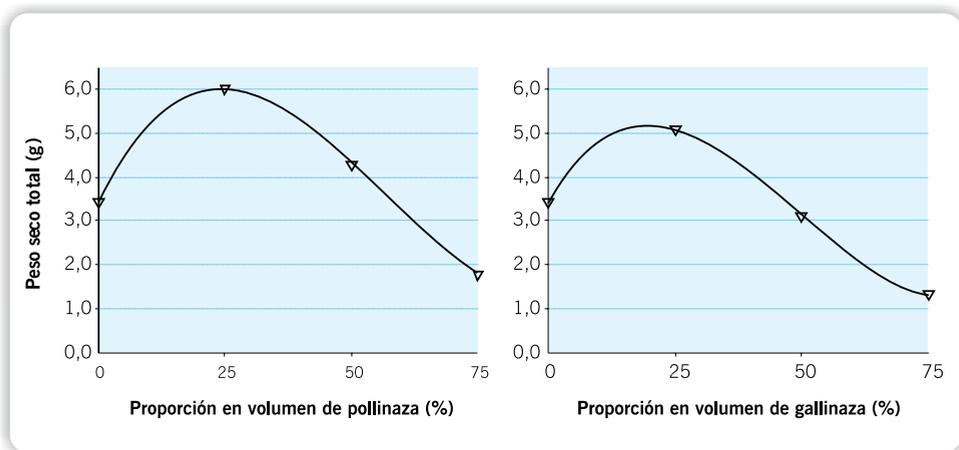


Figura 13. Respuesta de café en la etapa de almácigo en función de la proporción de abonos orgánicos de origen avícola en mezcla con suelo. Tomado de Ávila *et al.* (2007).

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 14), 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 mejor tratamiento 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 no homogénea de ceniza y cachaza. Debido a que la cenichaza puede emplearse como abono orgánico, Salazar y Mestre (1993) 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 15). Adicionalmente, con esta proporción se incurrieron en los menores costos.

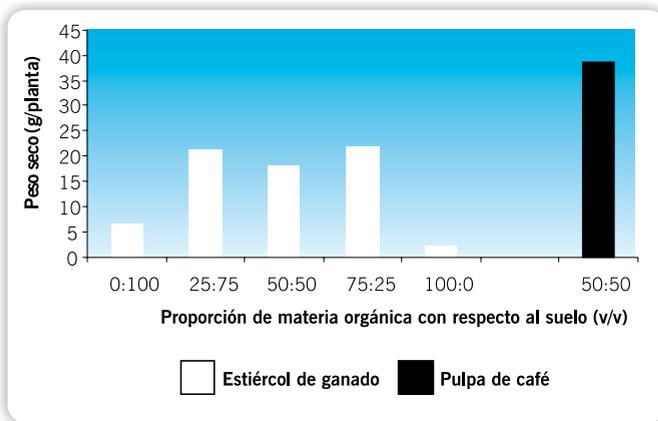


Figura 14. Efecto del estiércol de ganado y pulpa descompuesta de café en el peso seco total de plantas de café en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Montesino (1994).

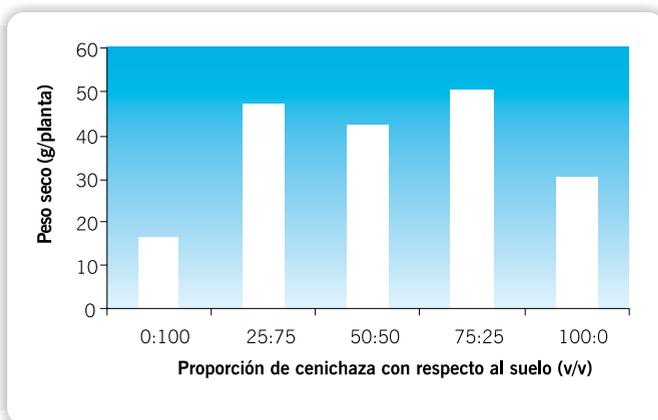


Figura 15. Efecto de diferentes proporciones de cenichaza en el peso seco total de plantas de café, en la etapa de almácigo. Tomado de Salazar y Mestre (1993).

ETAPA DE CRECIMIENTO VEGETATIVO

Los primeros resultados obtenidos en materia de nutrición de cafetales en Colombia fueron presentados por Machado (1952), quien encontró efecto de algunas fuentes orgánicas en la producción de café, en la Subestación Blonay (Norte de Santander), durante el primer año (Tabla 8). Desde un inicio, se vislumbra la importancia de la pulpa de café como insumo indispensable en el establecimiento de los cafetales y su efecto en la productividad.

Para un suelo de la unidad Chinchiná, López (1966) midió 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 registraron diferencias 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 9 se presentan los promedios de peso seco obtenidos.

Tabla 8. 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 (1952).

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 9. 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 (1966).

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

Una investigación desarrollada por Uribe y Salazar (1983) demostró 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 medianas y altas densidades de siembra, 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 10 se presenta la cantidad por planta y hectárea, de acuerdo con el tamaño del hoyo, la densidad de siembra y la relación de mezcla con el suelo. Al construir hoyos pequeños (25x25x30 cm), la cantidad de abono orgánico por hoyo será de 4.688 cc (4,7 L), 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 L) por hoyo, y entre 5,4 y 26,8 m³ de abono orgánico.

Sadeghian (2008) 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. 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) (Tabla 11).

ETAPA DE PRODUCCIÓN

Efecto de abonos orgánicos en la producción

Los primeros estudios sobre la nutrición de cafetales en Colombia fueron orientados por Machado (1958), 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 cantidades altas, razón por la cual se sugiere aprovechar toda la pulpa de café, 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.

En seis Subestaciones de Cenicafé, y durante cuatro o cinco cosechas, Uribe (1983) estudió la respuesta de café a la aplicación de cuatro combinaciones de fósforo y pulpa descompuesta. En algunos casos aislados el fósforo fue contraproducente para la producción de café, mientras que en otros generó un efecto positivo, pero de baja magnitud (Figura 16). 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 (1983) determinaron la influencia de la pulpa de café en la producción de cafetales en cinco Subestaciones de Cenicafé. Los resultados demostraron la bondad

Tabla 10. 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.

Dimensiones del hoyo	Tamaño del hoyo (cm ³)	Cantidad de abono orgánico					
		Por hoyo (g)	Por hectárea según la densidad de siembra (m ³)				
			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
25x25x30 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
25x25x30 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
25x25x30 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

Continúa...

...Continuación

Dimensiones del hoyo	Tamaño del hoyo (cm ³)	Por hoyo (g)	Cantidad de abono orgánico				
			Por hectárea según la densidad de siembra (m ³)				
			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 = 1:6 (v/v)							
25x25x30 cm	18.750	2.679	5,4	10,7	16,1	21,4	26,8
25x25x30 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

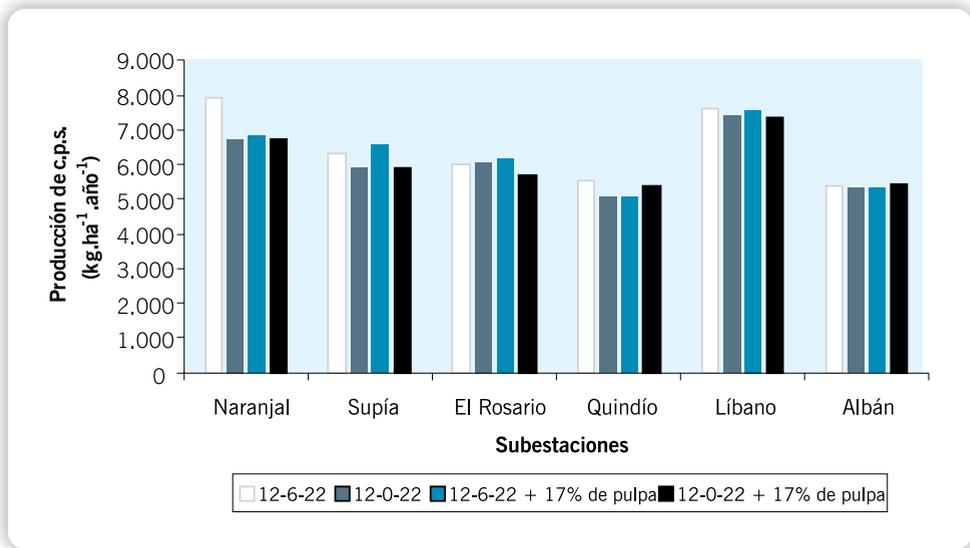


Figura 16. Efecto de la pulpa de café descompuesta y la fertilización química en la producción de cafetales en cinco sitios de Colombia. Tomado de Uribe (1983).

Tabla 11. 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).

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

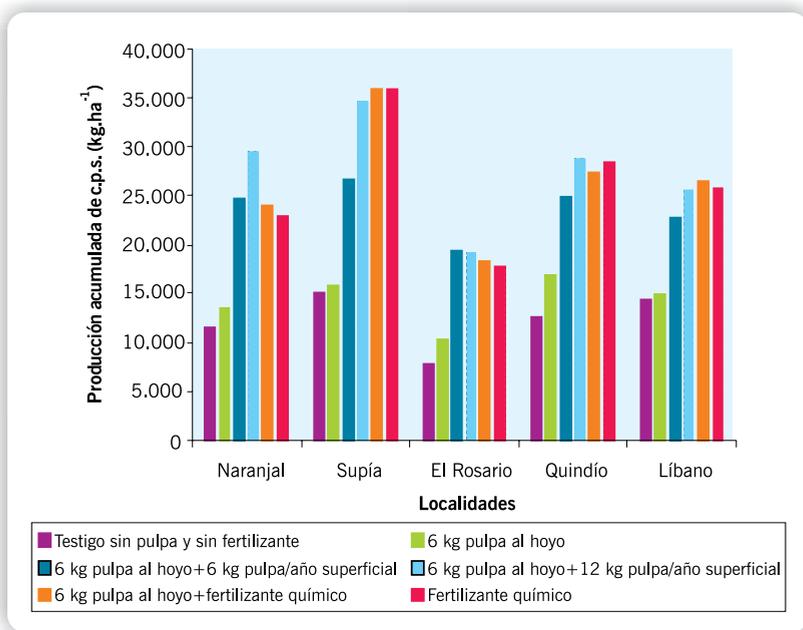


Figura 17. Efecto de la pulpa de café descompuesta y fertilización química en la producción de cafetales, en cinco sitios de Colombia (Producción acumulada de tres cosechas en Naranjal y El Rosario, y cuatro cosechas en Líbano, Supía y Quindío). Tomado de Uribe y Salazar (1983).

de la pulpa, pues en todas las localidades se encontró efecto positivo de este fertilizante orgánico, aun en aquellas con alto contenido de MO (Figura 17). En general, la aplicación de pulpa de 6 y 12 kg/planta/año ocasionó incrementos en la producción comparables con el fertilizante químico; sin embargo, en algunas ocasiones la dosis más alta resultó mayor al fertilizante químico, y en otras la dosis más baja fue inferior 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 relativamente corto, por lo tanto se sugiere aplicarlo de manera continuada 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 (2007) presentan los registros de producción de c.p.s. de 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 12). 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.

Es pertinente aclarar que al igual que para los fertilizantes químicos, la cantidad del abono orgánico se debe expresar en kilogramos por hectárea ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), 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 (Sadeghian y Gaona, 2005). 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, dado que para esta fase se considera poca la competencia entre las plantas, y por lo tanto, 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 (1983) 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), lo cual representa 26,7 t/ha/año de abono orgánico.

En el caso del trabajo de Arcila y Farfán (2007), 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 (2008), en relación con el nivel de sombra y la densidad de siembra.

Con base en los datos presentados por Arcila y Farfán (2007), consignados en la Tabla 12, se determinaron las funciones de respuesta a dosis crecientes de lombrinaza, para Naranjal y Paraguaicito (Figura 18). Este ejercicio 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 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.

Tabla 12. Respuesta de café a la lombrinaza y fertilización química en tres Subestaciones de Cenicafé. Tomado de Arcila y Farfán (2007).

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

De acuerdo a las funciones presentadas en la Figura 18, es posible calcular una serie de óptimos económicos, basándose en un rango relativamente amplio de precios de café y de cantidades de lombrinaza (Tabla 13). 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 del café pergamino seco (\$ 3.200/kg). En contraposición, al aplicar este mismo análisis a Paraguaicito, el balance es negativo.

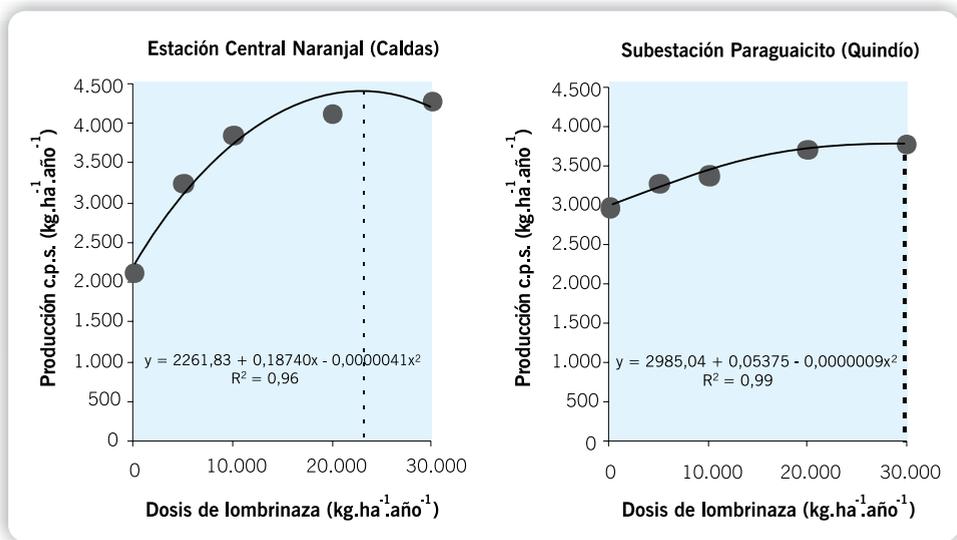


Figura 18. Respuesta del café a dosis crecientes de lombrinaza en las Subestaciones Naranjal y Paraguaicito. Datos originales tomados de Arcila y Farfán (2007).

Tabla 13. Cantidad de lombrinaza a aplicar (kg.ha⁻¹.año⁻¹) para alcanzar el óptimo económico, de acuerdo a los precios de café y la cantidad de 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

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

En dos fincas del departamento del Quindío, Sadeghian *et al.*, (2005) 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 se disminuyó significativamente en los dos sitios (Figura 19), 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%.

Con el propósito de determinar el efecto de la fertilidad del suelo sobre la producción de café, Sadeghian (2008) llevó a cabo una investigación en 32 lotes cafeteros, ubicados en diez departamentos de Colombia. De acuerdo a 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 20). A medida que aumentan los contenidos de la MO también se incrementan los rendimientos hasta alcanzar un nivel máximo (18%), después del cual el rendimiento descende en respuesta a la disminución de la tasa de mineralización. De acuerdo a este autor, 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 *et al.* (2008) recomienda tener en cuenta el nivel de la MO del suelo para la recomendación de N (Tabla 14). En este sentido, se sugiere aplicar entre 240 y 300 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N para cafetales con altas densidades y muy poco sombreados, según el nivel de la MO. Adicionalmente, estas dosis se ajustan de acuerdo al nivel de sombra y la densidad de siembra.

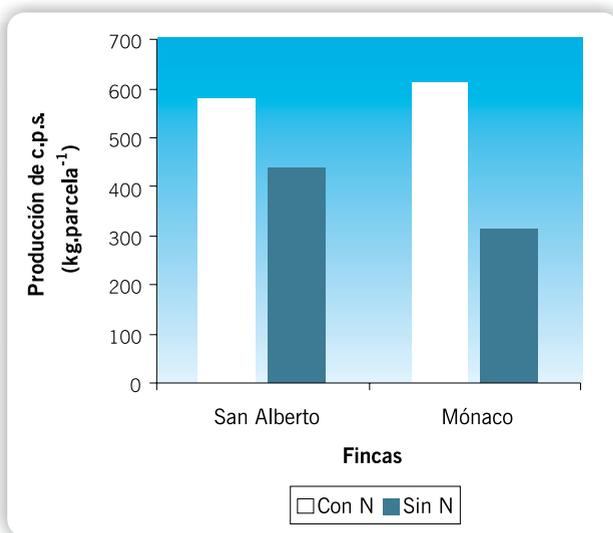


Figura 19. Efecto del nitrógeno sobre la producción de café en dos fincas del departamento del Quindío (producción acumulada de 4 cosechas).

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.* (2005).

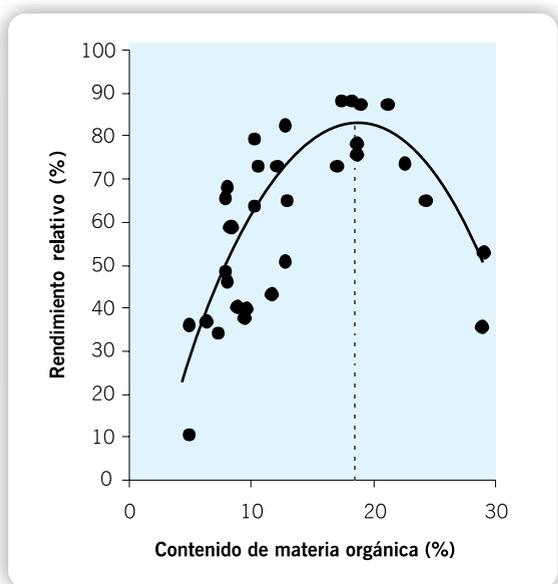


Figura 20. Efecto de la materia orgánica del suelo (MO), sobre el rendimiento de café. Tomado de Sadeghian (2008).

Tabla 14. 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.

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

* Plantas/ha

Literatura citada

- ARANGO B., L.G.; DÁVILA A., M.T. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. *Avances Técnicos Cenicafé (Colombia)* No. 161:1-4. 1991.
- 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.
- 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.
- 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.
- CADENA G., G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro Berk y Cooke, en almácigos. *Cenicafé* 33(3):76-90. 1982.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de spp. *Cenicafé* 56(2):127-141. 2005.
- 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.
- 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 (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994.
- DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 225:1-11. 1996.
- DIAZ M., C. Efecto del enclamiento 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).
- FARFÁN V. F.; URREGO J. B. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de , y , en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 58(1):20-39. 2007.
- GÓMEZ A., A. Erosión en cafetales, bajo diferentes sistemas de manejo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 19:1-4. 1972.
- 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.
- JIMÉNEZ S., A.M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C.S. Descomposición y transferencia de nutrientes de , y como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* 56(3):216-236. 2005.
- 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.

- MACHADO S., A. Experimentos sobre fertilizantes químicos y orgánicos en los cafetales. *Cenicafé* 3(32):37-39. 1952.
- MACHADO S., A. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. *Cenicafé* 9(7-8):157-198. 1958.
- MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 28:1-2. 1973.
- MESTRE M., A. Evaluación de la pulpa de café como abono para almácigos. *Cenicafé* 28(1):18-26. 1977.
- OCHOA M., W.A.; SUÁREZ V., S.; SADEGHIAN K., S. Variabilidad espacial del Nitrógeno disponible en andisoles de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé (Colombia)* 54(2):179-189. 2003.
- PARRA H., J. El valor fertilizante de la pulpa de café. *Cenicafé* 10(10):441-460. 1959.
- PATÍÑO G., M.A. Caracterización de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas, 2005. 195 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
- 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.
- SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. *Boletín Técnico Cenicafé No. 32*:1-43. 2008.
- SADEGHIAN K., S. Respuesta a N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. In: CONGRESO Colombiano de la Ciencia del Suelo, 14. Villavicencio (Colombia), Octubre 29-31, 2008. Villavicencio (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2008.
- 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.
- 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.
- 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.
- SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé (Colombia)* 56(4):381-397. 2005.
- 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.
- SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. Almácigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Cenicafé* 59(2):91-102 2008.
- SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 178: 1-2. 1992.

- SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé 148: 1-2. 1990.
- SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Uso de la cenichaza como sustrato en almácigos de café. Cenicafé (Colombia) 44(1):20-28. 1993.
- 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.
- URIBE H., A. Los cafeteros colombianos botan anualmente siete millones de pesos. Agricultura Tropical (Colombia) 12(3):183-185. 1956.
- URIBE H., A. Efecto del fósforo en la producción de café. Cenicafé 34(1):3-15. 1983.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. Cenicafé 34(2):44-58. 1983.
- VALENCIA A., G. Utilización de la pulpa de café en los almácigos. Avances Técnicos Cenicafé No. 17:1-2. 1972.
- VALENCIA A., G. Fertilización foliar en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 49:1-2. 1975.