

Thesis
R763pr
c.3

INSTITUTO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO
INSTITUTO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

PRODUCCION DE ALMACIGO DE CAFE CON ABONOS ORGANICOS

POR

ANA CECILIA ROMERO RAMIREZ

CATIE

Turrialba, Costa Rica
1999

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO**

PRODUCCIÓN DE ALMACIGO DE CAFÉ CON ABONOS ORGÁNICOS

Por

ANA CECILIA ROMERO RAMÍREZ



Turrialba, Costa Rica

1999

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

PRODUCCIÓN DE ALMACIGO DE CAFÉ CON ABONOS ORGÁNICOS

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

por

ANA CECILIA ROMERO RAMÍREZ

TURRIALBA, COSTA RICA
1999

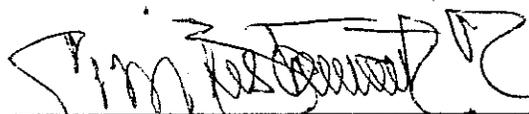
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



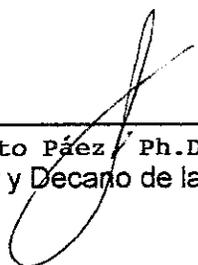
Francisco Jiménez, Ph.D.
Consejero Principal



Elkin Bustamante, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Reinhold Muschler, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D.
Director y Decano de la Escuela de Posgrado



Ana Cecilia Romero Ramírez
Candidato

DEDICATORIA

“A todas aquellas personas visionarias que ven en la agricultura ecológica el camino hacia una producción sostenible”

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por ser luz de inspiración infinita

A mi familia y amigos

A Eduardo Molina y a todo el personal de Posgrado por su apoyo y cariño

A Francisco Jiménez, profesor consejero y amigo

A la familia Bustamante, por compartir su cariño en momentos difíciles

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general.	2
1.1.2. Objetivos específicos.	2
1.3. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Café orgánico	3
2.2. Establecimiento del semillero y el vivero o almacigal	5
El semillero	5
El vivero o almacigal	5
2.3. Abonos orgánicos	7
2.4. Abono orgánico tipo bocashi	8
2.4.1. Desechos de origen animal	10
2.4.2. Fuentes energéticas	11
2.4.3. Mejoradores de la textura	11
2.4.4. Fuente de microorganismos	12
2.4.5. Reguladores de acidez	12
2.5. Pulpa de café como abono orgánico	13
2.6. Lombricompost	14
2.7. Mulch	15
2.8. Micorrizas	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Localización del sitio de estudio.	19
3.2. Metodología experimental.	19
3.3. Materiales experimentales.	19
3.3.1. Especie vegetal	19
3.3.2. Abono verde.	20
3.3.3. Bocashi.	20
3.3.4. Lombricompost y pulpa de café	21

3.3.5. Micorrizas	21
3.3.6. Suelo	21
3.3.7. Siembra	22
3.4. Tratamientos.	22
3.5. Variables evaluadas	26
3.5.1. Crecimiento de la planta.	26
3.5.2. Producción de biomasa.	26
3.5.3. Contenido de nutrientes.	26
3.5.4. Fitosanidad.	27
3.5.5. Caracterización de materiales.	28
3.6. Diseño experimental	28
3.7. Análisis de la información	29
4. RESULTADOS	30
5. DISCUSIÓN	49
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7. BIBLIOGRAFIA	60
8. ANEXOS	69

Romero, A. 1999. Producción de almácigo de café con abonos orgánicos. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 79p.

Palabras claves: café orgánico, bocashi, sustratos orgánicos, pulpa de café, lombricompost, gallinaza, nivel de iluminación.

RESUMEN

La producción de almácigos de buena calidad es una fase crítica en la caficultura ya que determina gran parte del éxito. Con el propósito de evaluar el efecto de abonos orgánicos en la producción de almácigo de café en condiciones de sol y sombra, como alternativa para sustituir el uso de fertilizantes químicos y promover la caficultura ecológica, se llevó a cabo esta investigación en el área experimental Cabiria del CATIE, Turrialba, Costa Rica durante el período comprendido entre febrero y agosto de 1999.

Los tratamientos constaron de tres niveles de abono verde de *Erythrina poeppigiana*, tres tipos de abono bocashi en diferentes proporciones de mezcla, abono de pulpa de café, gallinaza y lombricompost, así como también la asociación micorrízica y fertilización química. Todos los tratamientos se dispusieron de manera aleatoria en el campo siguiendo el diseño experimental de parcelas divididas con dos niveles de intensidad lumínica: plena exposición solar y sombreamiento artificial de 50%, utilizando sarán. A los seis meses del transplante se evaluaron las siguientes variables: altura de planta (cm), vigor, número de nudos, porcentaje de defoliación, incidencia de chasparria, contenido de materia seca y contenido de nutrientes. Bajo la condición de 50% de sombreamiento, las plantas de café tuvieron mayor crecimiento en la mayoría de los tratamientos con abonos orgánicos, excepto con biomasa de poró donde se observaron los menores valores. En general en los tratamientos con bocashi fueron más evidentes las diferencias estadísticas entre condiciones de iluminación, lo que refuerza la suposición de una interacción positiva entre la sombra y el efecto del abono tipo bocashi. El manejo convencional generalmente tuvo un comportamiento similar a los tratamientos con bocashi,

gallinaza y pulpa de café, que fueron donde las plantas de café tuvieron mejor crecimiento; esto indica que estas enmiendas son capaces de sustituir la fertilización química. No hubo interacción estadísticamente significativa entre tratamientos y condición de iluminación para las variables defoliación e incidencia de chasparria. La adición de micorriza al suelo no difiere del suelo solo usado como testigo, además, estas plantas mostraron poco desarrollo y vigor. Los análisis foliares solo mostraron deficiencias de zinc, a pesar de ser su nivel en el suelo y en todos los sustratos alto. El hecho de que los sustratos contengan buen contenido de nutrientes no garantiza la absorción de éstos, ya que los análisis foliares mostraron deficiencia de zinc en la mayoría de los tratamientos orgánicos, a pesar de que los sustratos tenían buen contenido de este elemento.

En la iluminación 50% de sombra los resultados mostraron que no hay diferencias para todas las variables entre la fertilización química y orgánica. El crecimiento de las plantas en el sustrato suelo fue menor que en la mayoría de los tratamientos orgánicos. Con los resultados obtenidos en este trabajo se comprueba que los abonos orgánicos como bocashi, gallinaza y pulpa de café son eficientes sustitutos de los fertilizantes químicos debido al comportamiento mostrado por las plantas. El lombricompost aunque tuvo un efecto significativo respecto al testigo no fue de los tratamientos orgánicos más destacados. Para la preparación de abono tipo bocashi para almácigo de café se puede sustituir la granza de arroz por cascarilla de café sin afectar la calidad del abono ni su efecto favorable sobre las plantas. La mejor proporción de mezcla de abono : suelo fue 25:75.

Romero, A. 1999. Production of coffee nursery stock with organic fertilizers. Mag. Sc. Thesis. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 79p.

Key words: organic coffee, bocashi, organic substrates, coffee pulp, earthworm compost, chicken manure, lighting level.

ABSTRACT

The production of good quality nursery stock is a critical phase of coffee cultivation, since it determines to a large extent, production success. Research was conducted in the Cabiria Experimental Station in CATIE, Turrialba, Costa Rica, from February to August, 1999 in order to evaluate the effect of organic fertilizers on the production of coffee nursery stock under sunlight and shade conditions, as an alternative to the use of chemical fertilizers and to promote ecological coffee production.

The treatment included three levels of green fertilizer from *Erythrina poeppigiana*, three types of bocashi fertilizer in different mixture proportions, coffee pulp fertilizer, chicken manure and earthworm compost, as well as the mycorrhizic association and chemical fertilization. All of the treatments were distributed randomly in the field, following a divided plot experimental design, with two levels of lighting intensity: complete sunlight and 50% artificial shading, using saran. At six months after transplanting, the following variables were evaluated: plant height (cm), hardiness, number of knots, percentage of defoliation, incidence of "chasparria" disease, dry material content and nutrient content.

Under 50% shade conditions, coffee plants showed greater growth in the majority of the treatments with organic fertilizers, except with *Erythrina* biomass, where the lowest values were observed. In general, in the treatments with bocashi, the statistical differences between lighting were more evident, which supports the supposition about a management practices generally demonstrated behavior similar to treatments with bocashi, chicken manure and coffee pulp, and were where the coffee plants showed greater growth; this indicates that these amendments can be used in place of

chemical fertilization. There was no statistically significant interaction between treatments and lighting conditions for the defoliation and "chasparria" disease incidence variables. Results with the addition of mycorrhizas to the soil do not differ from those obtained with soil alone, as was used the control. In addition, these plants showed poor development and lack of hardiness. Foliar analyses only showed zinc deficiencies, even though zinc levels in the soil and in all of the substrates were high. The fact that the substrates contain good nutrient content, does not guarantee that the plant will absorb them, since foliar analyses showed zinc deficiencies in the majority of the organic treatments.

In the 50% treatments, results showed that there are no differences for all the variables between chemical and organic fertilizers. Plant growth in substrate soil was lowest that the majority of the treatments with organic fertilizers. With the results obtained in this study, it was proven that organic fertilizers such as bocashi chicken manure and coffee pulp are efficient substitutes for chemical fertilizers, according to the behavior shown by the plants. The earthworm compost, even though it had a significant effect compared to the control, was not one of the most outstanding treatments. Coffee husks can be substituted for rice hulls in the preparation of the bocashi fertilizer for the coffee nursery stock, without affecting the fertilizer quality nor its favorable effect on the plants. The best ratio of fertilizer mixture to soil was 25:75.

LISTA DE CUADROS

No	TITULO	PAGINA
1	Receta estándar para la preparación de bocashi	9
2	Composición mineral del bocashi	10
3	Composición de estiércol de origen animal	11
4	Composición química (%) de siete materiales utilizados en la preparación de abonos orgánicos	12
5	Tratamientos y niveles utilizados en el estudio	23
6	Índice de agallamiento de nemátodos	27
7	Fertilidad del suelo utilizado como sustrato para plantas de café	31
8	Análisis de los sustratos orgánicos (una muestra compuesta por cinco submuestras) utilizados como enmiendas para las plantas de café.	32

LISTA DE FIGURAS

No	TITULO	PAGINA
1	Altura de plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos	35
2	Indice de vigor de plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos	37
3	Número de nudos en plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos	39
4	Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en diferentes sustratos y bajo una sombra de 50%	42
5	Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en diferentes sustratos y a plena exposición solar	42
6	Producción de materia seca en plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos	45

LISTA DE ANEXOS

No	TITULO	PAGINA
1	Crecimiento de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en 18 diferentes sustratos y bajo 50% de sombra	70
2	Crecimiento de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en 16 diferentes sustratos y a plena exposición solar	71
3	Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en 18 diferentes sustratos y bajo 50% de sombra	72
4	Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en 16 diferentes sustratos y a plena exposición solar	73
5	Defoliación e incidencia de chasparria en plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en 16 diferentes sustratos	74
6	Crecimiento y producción de materia seca de plantas de café variedad Caturra bajo sombra de 50% y a plena exposición solar a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos	75
7	Análisis foliares de las plantas de café a los seis meses de edad	76
8	Valores críticos para interpretar análisis foliares de café	77
9	Tablas de análisis de varianza para las variables altura, vigor, número de nudos, peso seco total, porcentaje de defoliación e incidencia de chasparria.	78

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica, a pesar de ser todavía una pequeña rama de la actividad económica, está adquiriendo creciente importancia en el sector agrícola de muchos países. El Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre Alimentación reconoció la importancia de métodos sostenibles apropiados, como la agricultura orgánica, para contribuir a que las operaciones agrícolas sean rentables, reduciendo la degradación del medio ambiente, creando al mismo tiempo recursos financieros dentro de la actividad agrícola. La demanda de productos orgánicos ha creado nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo (FAO, 1999).

Con la ruptura del convenio de la Organización Internacional del Café en 1989, la producción cafetalera entró en una severa crisis debido a la caída en los precios internacionales y al aumento del capital necesario para mantener la cultura tecnológica convencional. Esta problemática provocó que surgiera con mayor fuerza la opción tecnológica de producción de café orgánico, actividad que se podría convertir en un sector productivo bastante prometedor en la región centroamericana. El consumo de café ecológico ha venido aumentando de manera constante desde inicios de la presente década, especialmente en los mercados de Estados Unidos y Europa; en los últimos tres años el consumo de café ecológico en el mercado mundial aumentó 300% (Boyce *et al.* 1994).

Sin embargo, existen fuertes limitaciones tecnológicas para el manejo del cultivo del café orgánico. Uno de los aspectos claves es la sustitución de fertilizantes químicos por abonos orgánicos para reducir la dependencia de insumos externos de altos costos económicos y ambientales.

Asimismo, con el uso de abonos orgánicos se pretende mejorar y mantener la productividad del suelo, utilizar los recursos locales disponibles para el productor y hacer más eficiente el ciclaje de nutrientes.

La producción de almácigos de buena calidad (vigor, crecimiento y sanidad) es una fase crítica en la caficultura ya que determina gran parte del éxito en el establecimiento o renovación de los cafetales y de la plantación futura. El reto científico y tecnológico es, entonces, encontrar y diseñar opciones prácticas que permitan cumplir con ese objetivo hacia la producción de café orgánico.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de abonos orgánicos en la producción de almácigo de café, como alternativa al uso de fertilizantes químicos y promover la caficultura ecológica.

1.1.2. Objetivos específicos

Evaluar en plantas de café en la etapa de vivero, en condiciones de plena exposición solar y 50% de sombrero:

- El efecto de diferentes abonos orgánicos.
- El efecto de variaciones en los componentes del abono tipo bocashi.
- El efecto de variaciones de la proporción volumétrica de mezcla suelo: abonos orgánicos.
- El efecto de los abonos orgánicos con respecto a los fertilizantes químicos.

1.2. Hipótesis

El crecimiento, vigor, producción de materia seca y ataque de enfermedades en plantas de café variedad caturra en la etapa de vivero, no son afectados por:

- El grado de sombrío.
- El cambio en componentes del abono orgánico tipo bocashi.
- La variación en la proporción de mezcla suelo : abono orgánico.
- Uso de fertilización orgánica con respecto a la fertilización química.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo de café es uno de los productos agrícolas más importantes en el mercado internacional; en América Latina es una de las principales actividades agrícolas. En Costa Rica, el café ha desempeñado un papel clave en la economía y la democracia del país, al generar divisas e impuestos por medio de la exportación; además genera empleo y bienestar social (Boyce *et al.* 1994).

2.1. *Café orgánico*

Entre los consumidores de café en los países occidentales se está produciendo un cambio en las exigencias de consumo, debido al temor a los alimentos contaminados y al aumento de la contaminación ambiental (Lutzeyer *et al.* 1994). Esto ha motivado e influenciado la voluntad de los consumidores para pagar precios más altos por el café orgánico (Boyce *et al.* 1994).

El café orgánico es producto de una forma de cultivo que recurre a diversas tecnologías de abono, control de malezas y control de plagas y manejo en general,

sin utilizar agroquímicos. Se considera que este sistema de producción favorece la conservación y el mejoramiento de la fertilidad del suelo, el uso apropiado de la energía y el estímulo a la biodiversidad animal y vegetal (Mendoza y López, 1999).

Entre los elementos característicos del café orgánico se tiene el uso de árboles de sombra para proteger el cultivo y mejorar el suelo, el control mecánico o manual de malezas, mientras que para la fertilización y el control de plagas se aprovechan todos los recursos naturales disponibles en la zona, como plantas con características insecticidas y desechos orgánicos como abono (Boyce, 1994).

Frente al consumo total de café de los principales países occidentales, que alcanzó aproximadamente 2.9 millones de toneladas, en 1991 se produjeron sólo 5200 toneladas de café orgánico certificado. De acuerdo a un pronóstico de la demanda de café orgánico, ésta se incrementaría en un 40% para el año 2000 (Lutzeyer *et al.* 1994). El mercado más grande es el de Estados Unidos que se estima en 5000 toneladas al año; las cantidades demandadas en Europa son menores, aproximadamente 2500 toneladas por año, debido a las exigencias más rigurosas del mercado Europeo (Figuerola *et al.* 1996).

Se puede caracterizar el café orgánico como una forma de cultivar que valora a las futuras generaciones, sin visión cortoplacista. No es sólo no aplicar insumos químicos, sino tener una mentalidad positiva para mantener y mejorar todo el ambiente que rodea esta producción agrícola (Boyce *et al.* 1994).

2.2. Establecimiento del semillero y el vivero o almacigal

El semillero

Previo al establecimiento del vivero de café, se debe preparar el semillero. Este debe ubicarse en un lugar con agua disponible para poderlo regar con la frecuencia que sea necesaria y de preferencia, en un sitio de fácil acceso. Debe considerarse que en esta etapa la semilla no requiere de condiciones de fertilidad de suelo, por el hecho de que ella va a germinar utilizando la reserva de alimento que está almacenada en la propia semilla. No obstante requiere un suelo suelto, fino, que no ofrezca resistencia al desarrollo del pivote (raíz inicial), para que brote del suelo con facilidad y formar el tallito y obtener así manguitos de formación erecta (CAFESA, 1990).

La siembra del semillero debe hacerse de ocho a nueve semanas antes del transplante del "manquito" a las bolsas. La distribución de la semilla se hace al voleo en una sola capa, a razón de un kilogramo por metro cuadrado y se coloca una cubierta vegetal como hojas de plátano para mantener la humedad y temperatura en el semillero (ICAFE, 1989).

Cuando cerca del 70% de las semillas están fuera de la superficie, se procede a levantar la cubierta de hojas hasta cerca de 1 m de altura y ralearla para dejar pasar de 40 a 50% de la radiación solar (CAFESA, 1990).

El vivero o almacigal

El almácigo se puede realizar directamente en el suelo o en bolsas de polietileno negro con agujeros. Las proporciones para llenar las bolsas suelen ser de una parte de tierra por una de pulpa, si se utiliza gallinaza se toman de 3 a 4 partes de suelo por una de gallinaza. Las bolsas se colocan en hileras dobles con calles de 40 cm de ancho. La profundidad, la textura del suelo, el agua de lluvia o de riego y la exposición al sol determinan el grado de compactación del suelo, lo cual afecta los

cafetos; por lo tanto el suelo debe mantenerse suelto y la bolsa ceder a la presión de los dedos (Hernández, 1988). El vivero debe mantenerse con una sombra natural o artificial que deje pasar 50% de la radiación solar (CAFESA, 1990).

El crecimiento del cafeto está determinado por el efecto combinado de varios factores tales como: altitud, temperatura, precipitación, viento y radiación solar. La influencia de la luz en el crecimiento de las plantas es un aspecto de interés en la investigación, debido a la importancia que tiene ésta en los procesos fisiológicos (Aldazábal y Alarcón, 1994). El café tiene su origen en el bosque sombrío de la selva tropical africana, siendo por lo tanto, una especie que crece bien bajo sombra y que necesita de 4 a 5 horas luz al día para desarrollarse plenamente (Mendoza y López, 1999).

El efecto de la sombra sobre el crecimiento del café ha sido investigado por algunos autores, unos han encontrado que el crecimiento es mejor cuando las plantas se encuentran bajo sombra y otros han llegado a la conclusión contraria. El café requiere la mayor densidad de sombra durante su etapa de desarrollo, ya que la planta tiene poco follaje y por ende está expuesta a las variaciones climáticas que le son adversas. El número de árboles de sombra por unidad de superficie está determinado por las características ecológicas del lugar, la naturaleza de la especie sombreada y hábitos de crecimiento, la fase de desarrollo del cultivo y el grado de iluminación deseado (López *et al.* 1992; Muschler, 1999).

Para la producción de café orgánico es imprescindible cultivar bajo sombra, constituyéndose en uno de los requisitos principales dentro de las normas de certificación. La sombra disminuye el efecto de irradiación solar sobre el suelo, lo cual beneficia la actividad biológica del mismo. Así mismo disminuye la evaporación del agua del suelo y la transpiración del cafeto, mejorando sus reservas durante el verano (Mendoza y López, 1999).

Se ha observado que la sombra se usa en las regiones cálidas, aparentemente con el objetivo de mantener un equilibrio en lo que se refiere al suministro de nutrientes por parte del sustrato. Además se ha documentado que la sombra reduce el requerimiento de la planta de café por nutrientes, debido a que es responsable de una disminución de la actividad fotosintética de la planta y del desarrollo en general (Kimemia y Njoroge, 1988).

2.3. Abonos orgánicos

Se define como todo material o sustancia de origen animal y/o vegetal que aplicados al suelo ponen a disposición nutrientes esenciales y secundarios que las plantas requieren para su normal desarrollo (Cruz, 1990). Las enmiendas orgánicas pueden aumentar los rendimientos agrícolas, mejoran las propiedades físicas del suelo y su fertilidad, agregan nutrientes y humus, mejorando así la capacidad de retención de agua, el drenaje y la aireación (Jiménez, 1996).

La materia orgánica se define como la fracción del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por ellos. Las fuentes de materia orgánica son muy diversas tales como estiércol de animales, abonos verdes y residuos de compuestos orgánicos. Se consideran muy importantes los desechos de origen vegetal, ya que éstas se transforman en sustancias húmicas en el suelo, suministrando elementos nutritivos por mineralización, en particular, la liberación de nitrógeno, fósforo y azufre, que son tres de los elementos de mayor importancia que se reciclan cuando la materia orgánica se humifica (Kass, 1996).

La disponibilidad de nutrimentos en la fracción orgánica es muy variable y su disponibilidad no es inmediata, ya que requiere de una mineralización previa. La liberación lenta y progresiva es garantía de que los elementos móviles en el suelo, como el nitrógeno, permanecen retenidos y no se pierden fácilmente por lavado.

(Kass, 1996). La adición de materia orgánica al suelo favorece la fitosanidad, no sólo porque fortalece la estructura sino porque ayuda a la diversificación microbiana terrestre. Así mismo es importante en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los cuales la mayoría de las cargas negativas están en los radicales orgánicos (López, 1989).

La descomposición de la materia orgánica constituye un elemento clave del ciclaje de nutrientes, y por lo tanto, de la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres. Este proceso se puede resumir en dos fases: la humificación y la mineralización, que transforman la materia orgánica en elementos minerales solubles. En estos procesos participan grupos de desintegradores (hongos, bacterias, etc) y detritívoros como las lombrices. Los primeros están constituidos por una diversidad de microorganismos que en sucesión aprovechan moléculas orgánicas simples y luego descomponen los materiales estructurales. La participación de los detritívoros consiste en fragmentar los tejidos y aumentar la superficie de contacto para que actúen los desintegradores (Cruz, 1990).

2.4. Abono orgánico tipo bocashi

El término bocashi que significa **abono fermentado** proviene del idioma japonés (Sasaki, 1994). Es un abono orgánico parcial o totalmente descompuesto, elaborado con materiales de origen animal o vegetal, que bajo condiciones de temperatura y humedad adecuadas, favorece la población de microorganismos nativos del suelo (Restrepo, 1996).

Este abono posee características que hacen su uso muy ventajoso y competitivo. El proceso es rápido (de 6 a 7 días), es de fácil manejo, requiere de una infraestructura sencilla en la finca, utiliza materias primas de fácil obtención o que pueden producirse en la finca. Contribuye a una reproducción rápida de microorganismos benéficos, aporta nutrientes y permite modificaciones en su fórmula básica (Sasaki, 1994).

El efecto principal del bocashi se debe al aumento de microorganismos asociados en la rizosfera que favorecen la solubilización de las sustancias químicas y sus acciones antagonistas contra enfermedades de las raíces y de los tallos de las plantas. Es una fuente de humus, ácidos húmicos, una serie de elementos trazas y un alto número de organismos benéficos al suelo (López, 1989).

Los materiales básicos utilizados en la preparación de abono tipo bocashi incluyen suelo de áreas poco disturbadas o boscosas, semolina de arroz, miel de purga o tapa de dulce, carbón vegetal en polvo, granza de arroz y gallinaza. Estos ingredientes se mezclan y se llevan a una humedad del 50%, la cual debe mantenerse durante el proceso de fermentación para mejorar el desarrollo de organismos benéficos. Durante el proceso la temperatura aumenta aproximadamente hasta 50 °C. (Blanco, 1994). La receta original para la preparación del bocashi se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Receta estándar para la preparación de bocashi.

Cantidad	Material
2 sacos	tierra
1 saco	semolina
1 saco	carbón mineral
1 saco	granza de arroz
1 saco	gallinaza
1 litro	melaza
8 kg	cal

Fuente: Sasaki, 1994

En algunas comunidades, muchos de los materiales orgánicos usados en la elaboración de bocashi pueden tener un uso más importante; por ejemplo, la semolina y la melaza son utilizados para la alimentación animal; de igual forma, el estiércol es fuente de combustible (Mendoza, 1997).

Por estas razones se recomienda elaborar el abono tipo bocashi utilizando productos orgánicos que se puedan producir dentro de la finca (FAO, 1991). En el cuadro 2 se presenta la composición mineral de una mezcla de bocashi elaborado con la receta estándar.

Cuadro 2. Composición mineral de una mezcla de bocashi

Componente	Concentración
Nitrógeno %	1.18
Fósforo %	0.7
Potasio %	0.5
Calcio %	2.8
Magnesio %	0.21
Hierro mg/kg	3204
Cobre mg/kg	19
Zinc mg/kg	61
Aluminio mg/kg	366
Boro mg/kg	14

Fuente: Blanco, 1994.

2.4.1. Desechos de origen animal

Varían ampliamente en su composición, dependiendo de la especie animal, el alimento que consume y el manejo que recibe el estiércol durante el almacenamiento y aplicación. El estiércol es considerado la principal fuente de nitrógeno, mejora las características de la fertilidad del suelo aportando nutrimentos en cantidades significativas como se muestra en el cuadro 3 (Prichett, 1986). Según el trabajo de Mendoza (1997), el bocashi preparado a partir de estiércol de cerdo (cerdaza) tendrá más fósforo, nitrógeno y magnesio, que los bocashi preparados a partir de estiércol vacuno (bovinaza) y poró. Pero si se prepara un bocashi con cerdaza presentará bajos contenidos de K, por lo tanto, este elemento debe ser adicionado.

Cuadro 3. Composición de estiércol de origen animal

Animales	Humedad %	N kg/t	P kg/t	K kg/t	S kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Fe kg/t	Sólidos volátiles	Grasa
Ganado lechero	79	5.6	1.0	5.0	0.5	2.8	1.1	0.04	161	3.5
Ganado engorde	80	7.0	2.0	4.5	0.8	1.2	1.0	0.04	198	3.5
Cerdos	75	5.0	1.4	3.8	1.4	5.7	0.8	0.28	200	4.5
Equinos	60	6.9	1.0	6.0	0.7	7.8	1.4	0.14	193	3.0
Ovejas	65	14.0	2.1	10.0	0.9	5.8	1.8	0.16	284	7.0
Pollos	25	17.0	8.1	12.5	---	---	---	---	---	---

Fuente Prichett (1986).

2.4.2. Fuentes energéticas

Los carbohidratos representan una importante fuente energética que favorecen la fermentación de los abonos. Tradicionalmente se ha utilizado la semolina de arroz; sin embargo, en muchos casos se dificulta adquirirla, razón por la cual se hace necesario sustituirla por otras fuentes de carbohidratos como los concentrados para ganado y/o cerdos que aportan nutrimentos como fósforo, potasio, calcio y magnesio (Restrepo, 1996). Otro producto energético muy usado es la melaza, que favorece el crecimiento de los microorganismos responsables de la fermentación de los materiales (Sasaki, 1994).

2.4.3. Mejoradores de la textura

Materiales como la cascarilla de arroz, la broza de café, la paja seca y desechos de madera, mejoran las características físicas del bocashi, al mismo tiempo que mantienen un aporte prolongado de nutrimentos por su lenta descomposición. La cascarilla de arroz aporta potasio y fósforo, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez del suelo (FAO, 1991). Según Sasaki (1994), el carbón mejora

considerablemente las características físicas de los abonos orgánicos como la aireación, absorción de humedad y calor, al mismo tiempo que retiene, filtra y libera gradualmente nutrimentos útiles a las plantas. En el cuadro 4 se presenta la composición química de algunos materiales utilizados en la preparación de abonos.

Cuadro 4. Composición química (%) de siete materiales utilizados en la preparación de abonos orgánicos.

MATERIAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Mg	SO ₄
Broza de Café	2.5	0.3	1.9	1.9	0.3	—
Bagazo de caña	1.2	2.0	0.3	0.6	3.1	3.5
Vinaza	0.5	0.2	3.1	0.5	1.2	2.7
Granza de arroz	0.5	0.2	1.5	0.4	0.1	—
Cenizas de madera	—	2.0	5.0	32.5	3.5	1.0
Harina de soya	7.0	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5
Harina de pescado	9.5	7.0	—	8.5	0.5	0.5

Fuente Bertsch, 1995.

2.4.4. Fuente de microorganismos

Las levaduras, la tierra forestal virgen, y el abono tipo bocashi constituyen la principal fuente de inoculación microbiológica para la fabricación de abonos fermentados (Restrepo, 1996). El manejo de la fertilidad del suelo activa la nutrición de la planta y tiene un efecto directo sobre su crecimiento y rendimiento, así como en su resistencia a las enfermedades (Hoitink *et al.* 1997).

2.4.5. Reguladores de acidez

El carbonato de calcio o cal agrícola se usa para regular la acidez generada durante la fermentación y para aportar calcio al abono (Bertsch, 1995).

2.5. Pulpa de café como abono orgánico

La pulpa de café es la parte carnosa externa, roja o amarilla, del fruto maduro del café. Está constituida por el exocarpio y parte del mesocarpio del fruto y representa alrededor del 40% de su peso fresco total. La pulpa contiene 84% de agua y cantidades variables de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro, manganeso y boro (Uribe y Salazar, 1983).

Se estudia con gran interés el uso de la pulpa de café como abono orgánico debido a que año tras año se generan miles de toneladas de pulpa de café que ocasionan un grave problema de contaminación de ríos y terrenos junto a los beneficios. Además los análisis químicos han mostrado que poseen concentraciones aceptables de nutrientes (Rodríguez, 1992).

La pulpa de café constituye un excelente abono orgánico para almácigos de café, ilustrado por el mayor vigor y desarrollo de plántulas de almácigos con pulpa comparado con almácigos hechos únicamente con suelo y aún de almácigos tratados con fertilizantes químicos (Mestre, 1977). La descomposición se lleva a cabo por la actividad de microorganismos aeróbicos naturalmente presentes en la materia prima o sustrato como las bacterias del género *Bacillum* (Montero, 1992).

Cáceres (1995) menciona que el potasio es el elemento que se encuentra en mayor cantidad en la pulpa de café, seguido por el nitrógeno. La importancia de la pulpa radica en su alto porcentaje de materia orgánica, lo cual conlleva a efectos benéficos para el suelo, mejorando la textura, reteniendo más humedad, aumentando la fertilidad potencial del suelo y ayudando al control de nemátodos al mantener microorganismos que los parasitan.

Concepción (1982), al evaluar porcentajes de pulpa, con suelo de textura franca, por un período de siete meses y medio; observó que aquellos tratamientos que incluían

en la mezcla pulpa de café, fueron los que incrementaron significativamente, tanto el diámetro como la altura de las plantas, concluyendo que la fertilización orgánica con base en pulpa de café satisface los requerimientos nutricionales de las plantas de café a nivel de vivero. Sin embargo, experiencias aisladas en algunos cafetaleros indican que aplicar la pulpa fresca no es recomendable, ya que los cafetos se quemaron (Barrientos, 1991).

2.6. Lombricompost

El lombricompostaje consiste en la crianza masiva de lombrices en altas densidades de población bajo condiciones controladas (Edwards, 1998). Las lombrices son alimentadas con residuos orgánicos como la pulpa de café, para convertirlos y transformarlos en biofertilizantes, lombricompostas o humus de lombriz de gran calidad y utilidad para el crecimiento de las plantas (Aranda, 1995).

El lombricompost es un conjunto estable de componentes orgánicos humificados, macro y micronutrientes y microorganismos del suelo, resultado de la transformación de la materia orgánica ingerida por las lombrices. La apariencia del lombricompost es similar a un suelo fértil, es inodoro, de estructura granular, de coloración café oscura a casi negra, uniforme, ligerezo y poroso, pH neutro, libre de semillas y de patógenos. Además contiene una importante carga de microflora y microfauna de organismos que son de primordial importancia para los procesos biológicos y ecológicos de los suelos (Aranda, 1995).

A diferencia de otras técnicas convencionales de compostaje, el proceso de lombricompostaje aprovecha las características biológicas y fisiológica de las lombrices para potenciar al máximo la descomposición microbiana aeróbica (Tineo, 1994). Durante este proceso no se generan malos olores, ni se atraen insectos u organismos indeseables, lográndose obtener un bioabono de gran calidad.

Según Edwards (1998), un aspecto importante del lombricompost es que, durante el procesamiento de residuos orgánicos por las lombrices, muchos de los nutrientes que contienen son transformados a formas que son más disponibles para las plantas, tales como nitratos o nitrato de amonio, fósforo cambiante, potasio, calcio y magnesio solubles. El contenido de nutrientes en el lombricompost está relacionado con el sustrato que le da origen. El análisis físico químico de la pulpa de café fresca, procesada por lombrices, muestra un pH de 4.3, % cenizas de 14.03, % nitrógeno de 1.85 y una relación de C/N de 26.95 (Dávila y Arango, 1991).

Cualquier sustrato orgánico se puede convertir en abono natural mediante el lombricompostaje. La transformación de tejidos fibrosos y secos es más lenta que la de tejidos de condición blanda. Una relación C/N cercana a los 30:1 permite una eficiente transformación; un exceso de nitrógeno podría dar lugar a condiciones de toxicidad, mientras que una deficiencia provoca una inadecuada alimentación de las lombrices y microorganismos presentes (Aranda, 1995). Los sustratos más comunes y utilizados son los estiércoles animales; residuos agroindustriales, domésticos, de jardinería, afluentes de fosas sépticas, lodos y basuras municipales (Martínez, 1996).

Todas las actividades de las lombrices están reguladas por la temperatura y la humedad. Otro factor limitante es el alimento; la cantidad y calidad correctas son las herramientas más importantes de la lombricultura para obtener una máxima producción (Aranda, 1989). El pH debe oscilar entre 6.5 a 7.5, ya que si se pasa de estos valores puede matar las lombrices (Mendoza y López, 1999).

2.7. Mulch

Es todo material orgánico que se usa para cubrir el suelo con el fin de mantener los nutrientes y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Pueden emplearse diversos materiales como rastrojos de cultivos, follaje de árboles, abonos verdes o secos, etc. (Ariaza, 1995). Por lo general, se adiciona nuevo material apenas la actividad biológica haya transformado el material inicial, teniendo cuidado

de no formar capas demasiado gruesas que impiden una aireación adecuada del suelo y del mulch (Kolmans, 1996).

Los residuos de las plantas cubren el suelo y lo protegen de los cambios bruscos de temperatura, humedad y de los efectos de las gotas de lluvia. Los residuos vegetales proporcionan la base alimenticia de los microorganismos del suelo y así mismo la descomposición del material aumenta la cantidad de materia orgánica (Kass, 1996).

La descomposición es un proceso principalmente microbiano, los microorganismos requieren de un sustrato con cantidades adecuadas de carbono. La relación C/N del sustrato, la relación lignina/celulosa y el contenido de minerales son los factores más importantes en el proceso de descomposición (Fassbender, 1982).

La fuente de nitrógeno se encuentra principalmente en hojas verdes de cualquier planta, estiércol de animales y desechos de hortalizas. Si el material orgánico tiene poca cantidad de nitrógeno con relación al carbono la descomposición va a ser lenta (Mendoza y López, 1999).

La composición bioquímica de los restos vegetales varía según la especie, la edad y el órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas, se descomponen rápidamente, mientras que los leñosos presentan mayores contenidos de compuestos fenólicos, ligninas y celulosa y se descomponen más lentamente. La velocidad de descomposición también depende de factores externos, como son las características del suelo, la población de microorganismos, la flora y fauna presentes y el agua disponible (Vilas, 1990).

La combinación y proporción de los compuestos determina la calidad y la tasa de descomposición de los residuos de las plantas; enmiendas orgánicas de alta calidad presentan alto contenido de nitrógeno, bajo contenido de lignina y polifenoles, descomponen rápidamente y liberan nutrientes a corto plazo para las plantas. En

contraste enmiendas de baja calidad presentan bajos niveles de N, altos niveles de lignina y polifenoles presentando lenta liberación de nutrientes (Arcoverde, 1998).

En estudios con *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana* e *Inga edulis*; se ha determinado que *I. edulis* ofrece una cobertura que permanece mayor tiempo en el suelo (Kass *et al.* 1989). El uso de árboles leguminosos como fuente de nitrógeno para los cultivos es importante, principalmente en algunas partes del trópico húmedo donde los suelos son deficientes en N y el uso de fertilizantes nitrogenados, está limitado por su alto precio (Palm y Sánchez, 1990).

El principal efecto de los abonos verdes es el mejoramiento de la fertilidad del suelo, ya que aumenta la disponibilidad de macro y micronutrientes en formas asimilables por las plantas, aumento de la CIC efectiva, disminución de la acidez (principalmente por especies leguminosas) y promoción del ciclaje de nutrientes mediante su movilización, solubilización y reciclaje. Además la utilización de estas plantas conlleva a la liberación gradual de nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y azufre y al aumento de carbono en el suelo (Cubero, 1994).

Dentro del género *Erythrina*, la especie *E. poeppigiana*, es una de las que se utilizan con mayor frecuencia como abono (Quilan, 1984). Una de las características principales de ésta especie es la rápida descomposición del mantillo como fuente importante de N en café, lo que favorece el ciclaje de nutrientes. Los requerimientos totales de nitrógeno de las plantas de café pueden ser cubiertos a partir de la mineralización de la hojarasca de *Erythrina* spp e *Inga* spp en forma intensiva (Lutzeyer *et al.* 1994). Quinlan (1984) encontró que el 40% del total de N de un mulch de *E. poeppigiana* fue liberado al suelo treinta días después de la aplicación.

2.8. Micorrizas

Es el término que alude a la relación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta. Se han establecido dos grupos de micorrizas; endotrófica o

endomycorriza (cuando el micelio fúngico penetra en el interior de las células del cortex radical) y ectotrófica o ectomicorriza (cuando el micelio fúngico no penetra el cortex radical) (Rivas, 1997). Muchos de los microorganismos son conocidos por su habilidad para realizar actividades que modifican la disponibilidad de nutrimentos minerales en el suelo. Algunos de estos son microorganismos solubilizadores de fosfatos, fijadores de nitrógeno, rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas y los hongos micorrízicos (Cuervo y Rivas, 1997).

La efectividad de la micorriza está relacionada con factores como el nivel nutricional del suelo, la planta hospedante, la densidad de propágulos infectivos, la eficacia de las especies de hongos VA (vesículo arbuscular) involucrados y su capacidad de competir con otros microorganismos. Cada cepa o ecotipo del hongo tiene sus condiciones ecológicas en las cuales es más efectivo, en términos de crecimiento de su planta hospedante (Cuervo y Rivas, 1997). La rapidez de infestación depende de la especie del hongo, su abundancia en el suelo y de las condiciones tanto edafológicas como ambientales. Además la planta se ve favorecida si el hongo es capaz de competir con microorganismos antagónicos y funcionar sinérgicamente con microorganismos simbióticos (Sieverding, 1989).

Rivas y Cuervo (1998) en plántulas de café, determinaron que los hongos micorrízicos *Entrophospora colombiana* y *Gigaspora margarita* redujeron el índice de agallamiento producido por *Meloidogyne. exigua* en un 20% en relación al tratamiento donde se aplicó sólo el nemátodo. Colozzi-Filho et al. (1994) estudiaron el efecto de la inoculación de plántulas de café con diferentes hongos MVA como *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* y con otros trece hongos nativos aislados de cultivos de café, soya y maíz. En todos los tratamientos la inoculación micorrízica mejoró el crecimiento de las plántulas en el vivero y después de su transplante al campo. Sin embargo, el rendimiento en grano aumentó significativamente sólo con los tratamientos de *G. Margarita* y con cuatro hongos nativos empleados. El rendimiento promedio fue 100% mayor en los tratamientos inoculados que en los no inoculados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio de estudio.

El estudio se realizó en el área experimental Cabiria del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica (9 ° 53' Latitud Norte y 83° 39' Longitud Oeste; 602 msnm). La temperatura media anual es de 21.7 °C con un rango de temperatura entre 26.9 °C y 17.8 °C para máxima y mínima, respectivamente. La precipitación promedio anual es de 2640 mm y la humedad relativa es de 87%. Según la clasificación de Holdridge este sitio está ubicado en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano.

3.2. Metodología experimental.

Se evaluó el efecto de abonos orgánicos y la fertilización química en la producción de almácigo de café en condiciones de sol y sombra, entre febrero y agosto de 1999. Se utilizaron abonos orgánicos tipo bocashi, lombricompost, gallinaza y pulpa de café; asimismo abono verde de *Erythrina poeppigiana* y la adición de micorrizas.

3.3. Materiales experimentales.

3.3.1. Especie vegetal

La especie vegetal consistió en plantas de café cultivar caturra, evaluada al finalizar la etapa de almácigo o vivero (seis meses), que se sembraron por semilla sexual obtenida de la plantación Cabiria ubicada en el CATIE en Turrialba, Costa Rica. Para la siembra del semillero se preparó una era de 1 m de ancho y 5 m de largo. El suelo se desinfectó con agua caliente. La semilla se sembró al voleo siguiendo las recomendaciones de CAFESA (1990) y se cubrió con hojas de plátano hasta la emergencia de las plántulas ("manquitos"). Se utilizó riego cada vez que fue necesario. A los 60 días se realizó el transplante a las bolsas con los sustratos según los tratamientos establecidos.

3.3.2. Abono verde.

Se utilizaron tres niveles de abono verde de *Erythrina poeppigiana*: 200, 400 y 600 kg N ha⁻¹. Las hojas, se picaron para hacer el material más homogéneo y se aplicó mezclándolo con el suelo. Para calcular la cantidad de biomasa de *E. poeppigiana* correspondiente a cada uno de los niveles de nitrógeno se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Kg de hojarasca} = \frac{\text{kg peso seco}}{\text{kg N}} \times \frac{\text{peso fresco}}{\text{peso seco}} \times \frac{\text{kg/ha}}{10^6 \text{ kg}}$$

- Para 200 kg de N se aplicaron 19 g de hojarasca verde por planta;
- Para 400 kg de N se aplicaron, 38 g de hojarasca verde por planta;
- Para 600 kg de N se aplicaron 57 g de hojarasca verde por planta.

3.3.3. Bocashi.

Se utilizó bocashi según recomendaciones de la fórmula básica (Cuadro 1), con dos variaciones en su composición:

- Sustitución de la semolina de arroz por concentrado para ganado lechero (contenido nutricional se muestra en el cuadro 8).
- Sustitución de la granza de arroz por cascarilla de café .

Los análisis químicos de los componentes de los bocashi se muestran en el cuadro 8.

La procedencia de los materiales fue la siguiente: el suelo sin aplicaciones de agroquímicos provino de la finca experimental Cabiria, del CATIE en Turrialba; la semolina y la granza de arroz de una arrocera comercial ubicada en Alajuela, Costa Rica; la gallinaza se adquirió en Santa Cruz de Turrialba; la cascarilla de café en la Beneficiadora Santa Rosa en Turrialba; la melaza en el ingenio azucarero Atirro en

Turrialba; el carbón, el concentrado para ganado y la cal se adquirieron en los centros comerciales de Turrialba.

3.3.4. Lombricompost y pulpa de café

La pulpa de café provino de la finca La Cristina en Paraíso de Cartago, dedicada a la producción de café orgánico. La misma estuvo en descomposición durante siete meses antes de ser utilizada como sustrato en este estudio. Durante este tiempo estuvo cubierta con plástico para evitar la pérdida de nutrientes por el lavado de la lluvia. Una parte de esta pulpa se utilizó para elaborar el lombricompost. La otra parte se sometió a un proceso adicional de descomposición durante un período de tres meses, con volteos periódicos mensuales. El lombricompost y la pulpa descompuesta fueron utilizados como sustratos en los tratamientos correspondientes.

3.3.5. Micorrizas

Provino de inóculo previamente preparado de *Entrophospora colombiana* (ECLB). Se aplicaron 4 g de micorriza por planta al momento de transplantar los manquitos a las bolsas plásticas.

3.3.6. Suelo

El suelo que se utilizó para sembrar las plántulas provino de la finca La Cristina, Paraíso, Cartago. Los suelos de esta zona son de origen volcánico, pertenecientes al orden andisol (Bertsch, 1995). Se utilizó este suelo, ya que la finca lleva siete años dedicados a la producción orgánica de café; por lo tanto se consideró que el suelo no presentaba residuos de agroquímicos. Para la siembra del semillero se realizó esterilización del suelo con agua caliente, pero el suelo que se utilizó como sustrato no tuvo ningún tratamiento de esterilización. Las principales características químicas de este suelo se presentan en el cuadro 7.

3.3.7. Siembra

La siembra de las plántulas o manquitos se realizó en bolsas de polipropileno de 7 x 9 pulgadas de dos litros, que contenían los sustratos descritos en los tratamientos. Las bolsas fueron previamente llenadas con los sustratos correspondientes e identificadas. Siguiendo las recomendaciones del ICAFE se sembraron dos plantas por bolsa, de manera que al desarrollar las plantas y trasladarlas al campo de siembra definitivo tengan dos ejes ortotrópicos.

3.4 Tratamientos.

Los tratamientos constaron de tres niveles de abono verde de *Erythrina poeppigiana*, tres tipos de abono bocashi en diferentes proporciones de mezcla, abono de pulpa de café, gallinaza y lombricompost, así como también la asociación micorrízica y fertilización química. Todos los tratamientos se dispusieron de manera aleatoria en el campo siguiendo el diseño experimental propuesto y los dos niveles de intensidad lumínica: plena exposición solar y sombreamiento artificial de 50%, utilizando sarán. El total de tratamientos fue de 36: 18 tratamientos para la condición plena exposición solar y 18 tratamientos para la condición sombra, según se detalla en el Cuadro 5.

Descripción de los tratamientos

- Tratamiento 1: se utilizó un sustrato en una proporción volumétrica 1:3 (bocashi y suelo). El "bocashi original" (bocashi 1) se refiere al bocashi preparado basándose en la receta original que se presenta en el cuadro 1.
- Tratamiento 2: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (bocashi y suelo). Este bocashi (llamado aquí bocashi 2) fue preparado basándose en la receta original, pero se sustituyó la granza de arroz por cascarilla de café, por ser un desecho de las fincas cafetaleras que está al alcance de los productores.

Cuadro 5. Tratamientos y niveles utilizados en el estudio.

No Trata	Abreviaturas	Tratamiento y/o Nivel
1	BO 25:75	Bocashi original (Bocashi 1), proporción 25% Bocashi: 75% suelo .
2	BCC 25:75	Bocashi sin granza + cascarilla de café (Bocashi 2) proporción 25% Bocashi: 75% suelo.
3	BCC 50:50	Bocashi sin granza + cascarilla de café (Bocashi 2) proporción 50% Bocashi: 50% suelo.
4	BCC 75:25	Bocashi sin granza + cascarilla de café (Bocashi 2) proporción 75% Bocashi: 25% suelo.
5	BAG 25:75	Bocashi sin semolina + concentrado animal (Bocashi 3) proporción 25% Bocashi: 75% suelo .
6	L 25:75	Lombricompost proporción 25% lombricompost: 75% suelo
7	PC 25:75	Pulpa de café proporción 25% pulpa: 75% suelo.
8	HP 200	Hojarasca de <i>Erythrina poeppigiana</i> 200 kg/ha N.
9	HP 400	Hojarasca de <i>Erythrina poeppigiana</i> 400 kg/ha N.
10	HP 600	Hojarasca de <i>Erythrina poeppigiana</i> 600 kg/ha N.
11	BO 25:75 + M	Bocashi original 25%: 75% suelo + Micorriza ECLB.
12	S + M	Suelo + micorriza ECLB.
13	HP 400 + M	Poró 400 kg N ha/ha+ micorriza.
14	S	Suelo (testigo absoluto).
15	S +FQ	Suelo + fertilización química: 12-24-12.
16	MC	Manejo convencional cafetalero.
17	G 25:75	Gallinaza 25% : 75% suelo.
18	BO 25:75 + EM	Bocashi original proporción 25% bocashi: 75% suelo + elementos menores.

- Tratamiento 3: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:1 (bocashi 2 y suelo).
- Tratamiento 4: el sustrato utilizado fue en una proporción 3:1 (bocashi 2 y suelo).
- Tratamiento 5: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (bocashi y suelo). Este bocashi (bocashi 3) fue preparado basándose en la receta original, pero se

sustituyó la semolina de arroz por concentrado para ganado lechero, que es un producto mucho más fácil de conseguir en el mercado por parte del productor y su precio es similar al de la semolina.

- Tratamiento 6: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (lombricompost y suelo). El lombricompost de pulpa de café se presentó como una opción importante debido a que la pulpa se considera un desecho indeseable por parte de las beneficiadoras de café y los ambientalistas. Además, las lombrices representan un método fácil, barato y al alcance del productor de compostar residuos orgánicos.
- Tratamiento 7: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (pulpa descompuesta de café y suelo).
- Tratamientos 8, 9 y 10: en estos tratamientos se aplicó hojarasca de *Erythrina poeppigiana* equivalentes a 200, 400 y 600 kg de nitrógeno por hectárea, respectivamente. Para determinar la cantidad de biomasa en cada tratamiento se utilizó la fórmula que se describió en el inciso 5.3.2. Se incluyeron estos tratamientos debido a que en la mayoría de las fincas cafetaleras se utiliza sombra de poró, por lo que es un abono verde que está al alcance del agricultor y no requiere de mayor inversión de tiempo o dinero.
- Tratamiento 11: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (bocashi original y suelo) con inóculo de micorriza *Entrophospora colombiana* (ECLB), para observar la interacción micorrízica con abonos orgánicos tipo bocashi.
- Tratamiento 12: el sustrato utilizado correspondió a suelo con micorriza ECLB, agregando 4 g por bolsa del inóculo en el momento del transplante. La importancia de este tratamiento se debe a que la asociación micorrízica puede mejorar la absorción de nutrientes, principalmente del fósforo, por la planta.

- Tratamiento 13: el sustrato utilizado fue suelo con hojarasca de *Erythrina* de 400 kg N/ha + micorriza.
- Tratamiento 14: en este tratamiento el 100% del volumen utilizado fue de suelo, para tenerlo como testigo absoluto (sin ningún tipo de tratamiento).
- Tratamiento 15: 100% suelo con fertilizante químico 12-24-12, aplicando 15 g por planta, un mes después de sembrado el almácigo.
- Tratamiento 16: en este tratamiento se realizó el manejo convencional químico, utilizado para la producción de almácigos de forma tradicional. Se aplicó 25 g por planta del fertilizante 12-24-12, de la siguiente manera: 5 g por planta al mes de sembrado el almácigo (marzo), 10 g por planta a los dos meses (mayo) y 10 g por planta en julio. Para el manejo de enfermedades se aplicó Daconil (clorotalonil) a razón de 3.5 g/litro, a los dos meses de sembrado el almácigo y a los cinco meses se realizó una segunda aplicación con Clortosip 75 WP (clorotalonil).
- Tratamiento 17: en este sustrato se utilizó una proporción de 1:3 (gallinaza y suelo), ya que se consideró una de las prácticas más comunes usadas por los cafetaleros (Vandevivere y Ramírez, 1995) y un abono orgánico accesible para muchos agricultores.
- Tratamiento 18: el sustrato utilizado fue en una proporción 1:3 (bocashi original y suelo) más fertilización foliar con Nutrimins (quelato líquido orgánico) que contiene los siguientes nutrientes dados en % p/v : N 20%, MgO 0.25%, S 0.50%, Zn 0.16%, Fe 0.10%, Mn 0.055%, Cu 0.025%, B 0.03%, Mo 0.003%, fitohormona (A.N.A) 0.05% y pH en solución al 10% de 5.0. Según observaciones prácticas del agricultor (en la finca Cristina), se considera que los elementos menores principalmente Mn y Zn son deficientes en el suelo que se utilizó como sustrato y

que puede afectar el desarrollo de las plantas de café. Esta fertilización se hizo al mes de sembrado el almácigo a razón de 2 cc/ litro de agua.

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Crecimiento de la planta.

Se realizó a los seis meses del transplante de las plántulas del semillero a las bolsas para el vivero. Se evaluaron las siguientes variables:

- **Altura de planta (cm):** medida desde la base del tallo hasta la yema apical.
- **Número de nudos:** se tomó en cada eje ortotrópico de las plantas contenidas en cada bolsa, se promedió para las dos plantas.
- **Vigor:** se midió subjetivamente siguiendo una escala de 1-5, se tomó el índice 1 para aquellas plantas de poco desarrollo con síntomas de deficiencia y alta defoliación, el índice 5 para plantas sanas, vigorosas, buen desarrollo sin defoliación y sin síntomas visibles de deficiencia. Los índices 2, 3 y 4 fueron estados intermedios entre estos dos valores.

3.5.2. Producción de biomasa.

Se evaluó a los seis meses de establecido el almácigo. Se cuantificó la producción de biomasa de hojas, tallos, raíces y el total con base en materia seca. Para ello la biomasa de dos plantas/bolsa (en cada tratamiento y en las cuatro repeticiones) se separó en los componentes antes indicados, se pesó y luego se secó al horno a 70 °C durante 48 horas. Finalmente se determinó el peso seco de cada muestra.

3.5.3. Contenido de nutrientes.

Se realizó mediante análisis foliar de laboratorio al final del experimento. Para ello se tomaron las muestras de hojas secas (2 plantas/bolsa) correspondientes a cada tratamiento y se mezclaron las muestras de las cuatro repeticiones del mismo

tratamiento para obtener una submuestra representativa. Se analizó el contenido de los siguientes nutrientes: N, Ca, Mg, K, P, Cu, Zn, Mn y B.

3.5.4. Fitosanidad.

- Se evaluó la incidencia de chasparria (*Cercospora coffeicola*), para la cual se contó el número de hojas afectadas sobre el total de hojas de la planta. Para la identificación se tuvo en cuenta las características principales de la enfermedad como la formación del halo amarillento alrededor de las manchas circulares deprimidas (color pardo o café oscuro) con centro blanco ceniciento.
- Para medir la incidencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \text{No. hojas afectadas} / \text{No. total de hojas} * 100$$

- Porcentaje de defoliación: se registró el número de hojas presentes y cicatrices de hojas caídas.
- A los seis meses se midió por índice de agallamiento los nemátodos del género *Meloidogyne* de acuerdo a la escala de Taylor y Sasser (1983):

Cuadro 6. Índice de agallamiento de nemátodos

ÍNDICE DE AGALLAMIENTO	NUMERO DE NÓDULOS O MASAS DE HUEVOS
0	0
1	1 a 2
2	3 a 10
3	11 a 30
4	31 a 100
5	mayor de 100

3.5.5. Caracterización de materiales.

Se realizó al inicio del experimento mediante análisis químico de una muestra del suelo, de las enmiendas (poró, pulpa de café, lombricompost) y de los tres tipos de bocashi. Así mismo se analizó independientemente los ingredientes del bocashi, como la granza, cascarilla de café, semolina, carbón, concentrado, melaza y la gallinaza.

3.6. Diseño experimental

El diseño que se utilizó fue de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La parcela grande o factor principal lo constituyeron los dos niveles de radiación solar (plena exposición solar y 50% de sombra). La parcela pequeña o factor B estuvo constituido por los 18 tratamientos). Cada unidad experimental consistió de 10 plantas, para un total de 144 subparcelas y 1440 plantas.

El modelo estadístico que representó los datos o respuestas experimentales es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_{ij} + \lambda_k + (\alpha\lambda)_{ik} + \varepsilon_{ijk} + \gamma_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta, l-ésimo valor observado en el tratamiento k-ésimo del factor i, del bloque j.

μ = Media general.

α_i = efecto del factor A (2 niveles).

β_j = efecto de bloque j.

θ_{ij} = error experimental asociado a la parcela grande.

λ_k = efecto del factor B (18 niveles).

$(\alpha\lambda)_{ik}$ = interacción (entre α y λ).

ε_{ijk} = error experimental de las parcelas pequeñas.

γ_{ijkl} = error de muestreo.

3.7. Análisis de la información

Todas las variables fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANDEVA). Cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de Tukey. Cuando la interacción tratamiento por iluminación fue significativa se utilizó la prueba de t para medias ajustadas (Lsmeans) ($P < 0.05$) para comparar tratamientos entre sí bajo la misma condición de iluminación y en condiciones de iluminación diferente (sol y sombra). Se utilizó el paquete estadístico SAS para realizar todos los análisis.

4. RESULTADOS

Los resultados se presentarán de acuerdo al siguiente orden:

a) Los análisis de composición nutricional de los sustratos utilizados en los diferentes tratamientos y los análisis foliares de nutrientes realizados en las plantas a los seis meses de establecido el vivero.

b) Comparación de tratamientos, dentro de un mismo nivel de iluminación, para las variables altura, vigor, número de nudos y contenido de materia seca que presentaron interacción estadísticamente significativa de nivel de iluminación por tratamiento.

c) Comparación entre niveles de iluminación para las diferentes variables y tratamientos.

d) Comparación de tratamientos para las variables defoliación e incidencia de chasparria, las cuales no presentaron interacción estadísticamente significativa de tratamiento por nivel de iluminación.

En cada uno de estos grupos se describirá el tratamiento de mayor valor comparado con el menor, el efecto de proporción volumétrica de mezcla bocashi original: suelo, efecto de sustitución de componentes del bocashi original, efecto de los abonos orgánicos: lombricompost, pulpa de café y gallinaza, efecto de los tratamientos de diferentes niveles de nitrógeno utilizando hojarasca de poró y efecto del suelo sin fertilización orgánica.

e) Resultados correspondientes a la evaluación de índice de agallamiento por nemátodos.

a) Análisis químicos de los sustratos base de los diferentes tratamientos.

El Cuadro 7 y 8 muestran los resultados de los análisis de composición nutricional y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos utilizados en los diferentes tratamientos, realizados al inicio del experimento. Los mayores contenidos de calcio, magnesio, fósforo y zinc se encontraron en la gallinaza. Excepto para potasio y nitrógeno, el menor contenido de nutrientes se encontró en la biomasa de poró, pero ésta tuvo el mayor contenido de nitrógeno de todos los sustratos evaluados. El lombricompost, la pulpa de café, la gallinaza y el concentrado para ganado tuvieron también porcentajes altos de nitrógeno. La pulpa de café presentó los contenidos más altos de potasio, cobre y manganeso.

De los componentes del bocashi, el concentrado para ganado tuvo el mayor contenido de calcio, la semolina de magnesio, fósforo, cobre y zinc, la melaza de potasio y la granza de arroz de manganeso. En general la granza de arroz fue la más pobre en composición nutricional, aunque la semolina fue muy baja en calcio. La pulpa de café y el lombricompost tuvieron la CIC más alta, siendo casi tres veces superior a la de los bocashi.

Cuadro 7. Fertilidad del suelo utilizado como sustrato para plantas de café.

Profundi (cm)	pH	Acid. Ext	Ca	Mg	K	B	P	Cu	Zn	Mn	N	M.O.	CIC
		cmol(+)/l				mg/kg		mg/l			%	%	
0-20	6.0	0.08	10.1	3.3	0.8	0.8	58.9	27.9	13.2	11	0.3	6.8	36.4

Cuadro 8. Análisis de los sustratos orgánicos (una muestra compuesta por cinco submuestras) utilizados como enmiendas para las plantas de café.

Sustrato	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Zn	Mn	B*	CIC cmol(+)/kg
	(%)					(mg/kg)				
BO	3.6	0.4	0.8	0.6	1.0	81	182	1298	117	30
BCC	4.9	0.6	0.9	0.8	1.6	74	211	1155	130	29
BAG	5.1	0.4	0.7	0.8	1.1	84	197	1360	67	32
Gallinaza	7.3	0.8	1.5	2.5	2.3	91	519	699	164	34
Pulpa de café	6.5	0.3	2.6	0.3	2.4	99	160	2073	116	85
Lombricompost	5.2	0.3	2.3	0.3	2.5	88	238	639	144	93
Poró	1.0	0.2	2.1	0.3	4.3	7	22	153	47	
Semolina	0.04	0.8	1.4	1.7	1.9	18	57	151		
Conce. ganado	1.6	0.4	1.1	0.7	2.6	13	59	140		
Granza arroz	0.07	0.03	0.3	0.03	0.4	3	25	202		
Cascarilla café	0.3	0.09	0.6	0.03	0.8	15	17	54		
Carbón	0.5	0.09	0.3	0.05	0.4	8	26	128		
Melaza	0.7	0.2	1.7	0.04	0.5	7	7	39		

BO= Bocashi original BCC= Bocashi cascarilla de café BAG= Bocashi concentrado para ganado

Análisis foliares de nutrientes.

El Cuadro 7a muestra los resultados del análisis foliar de nutrientes de las plantas de café de seis meses, los cuales se compararon con la escala de Snoeck (1984) (Cuadro 8a) para evaluar deficiencias de nutrientes. El contenido de calcio en la mayoría de los tratamientos estuvo dentro del rango medio, excepto para los tratamientos de pulpa de café y suelo solo bajo sombra, y suelo más micorriza, pulpa de café y lombricompost en plena exposición solar. Los niveles fueron bajos, pero sin llegar a ser deficientes.

El contenido foliar de magnesio se encontró dentro del rango medio en la mayoría de los tratamientos, el K se encontró dentro de los rangos medio y alto. Los niveles de P fueron altos en ambas condiciones de iluminación y en todos los tratamientos.

Los niveles foliares más altos de nitrógeno se obtuvieron con el tratamiento manejo convencional, tanto a pleno sol como a la sombra. El contenido de este elemento en la mayoría de los tratamientos corresponde al nivel medio a alto, excepto los

tratamientos de bocashi más micorriza, poró 400 kg N/ha y bocashi cascarilla de café 25:75 en la condición de sombra, donde su nivel fue bajo, sin llegar a ser deficiente. Los contenidos de cobre y manganeso en la mayoría de los tratamientos y en ambos niveles de iluminación se encontraron dentro del rango medio. El contenido de zinc en la mayoría de los tratamientos se encontró dentro del rango medio, excepto los tratamientos de bocashi original, pulpa de café, poró 400 kg N/ha, suelo más micorriza y gallinaza, de la condición 50% de sombra que estuvieron en el rango considerado deficiente. A plena exposición solar, la mayoría de los tratamientos presentaron niveles foliares deficientes en zinc, excepto poró (200 y 600 kg N/ha), suelo solo, manejo convencional y bocashi más elementos menores que alcanzaron niveles medios de zinc. En el caso del boro, su contenido en el follaje de la mayoría de los tratamientos cae dentro del rango bajo a medio.

b) Comparación de efectos de tratamientos dentro de un mismo nivel de iluminación

Altura de plantas bajo 50% de sombra

En la Figura 1 y Cuadro 1a se observan los resultados correspondientes a la variable altura de plantas bajo esta condición de iluminación. La mayor altura promedio (27.6cm) se obtuvo en el tratamiento de bocashi original con elementos menores, pero no hubo diferencias significativas con los tratamientos de pulpa de café y bocashi con cascarilla de café proporción 50:50. Los peores tratamientos fueron poró 200 kg N/ha (13.3 cm), poró 400 kg N/ha, poró 600 kg N/ha y poró 400 kg N/ha más micorriza.

Con la adición de elementos menores al bocashi original, la altura aumentó significativamente con respecto al bocashi original, pero esto no ocurrió cuando se adicionó el hongo micorrícico ECLB. La variación de la proporción de bocashi : suelo de 25% a 50% no afectó la altura de la planta, pero cuando dicha proporción se aumentó a 75%, el crecimiento disminuyó significativamente con respecto a los dos

proporciones de mezcla antes mencionadas, siendo estadísticamente igual al testigo (suelo sin enmiendas). Fue indiferente variar los ingredientes de la receta original de bocashi, ya que no se observaron diferencias de altura cuando se utilizó cascarilla de café en sustitución de granza de arroz, asimismo cuando se reemplazó la semolina de arroz por alimento concentrado para ganado vacuno.

Para esta variable se observó igual comportamiento cuando se utilizó compost de pulpa de café o gallinaza, pero el crecimiento en altura fue mayor cuando se usó pulpa de café en comparación con el tratamiento de lombricompost. La altura de las plantas no se incrementó con respecto al testigo cuando se aplicó micorriza al suelo, ni cuando se utilizó fertilización química, pero sí cuando se usó el manejo convencional del almácigo que combina la aplicación de fertilización química y el combate de plagas y enfermedades. Esto sugiere que el combate de plagas y enfermedades tiene un rol muy importante en el crecimiento de las plantas.

Altura de plantas a plena exposición solar

En la Figura 1 y el Cuadro 2a se presentan los resultados correspondientes a la variable altura en la condición a pleno sol. Al igual que bajo sombra, la mayor altura promedio (21.1 cm) se observó en el tratamiento de bocashi original más adición de elementos menores. Sin embargo, no se encontró diferencias significativas con los tratamientos de manejo convencional y gallinaza.

El tratamiento con menor crecimiento en altura de las plantas fue el de abono verde de poró mezclado con suelo 600 kg N/ha (11.0 cm), aunque fue estadísticamente igual a los tratamientos de poró 200 y 400 kg N/ha.

Con la adición de elementos menores al bocashi original, la altura promedio de las plantas aumentó significativamente con respecto al bocashi original, pero no hubo diferencias cuando a este bocashi se le adicionó el hongo micorrícico ECLB. Al aumentar la proporción de abono bocashi de 25% a 50% no se afectó la altura de la

plántula, pero cuando dicha proporción se aumentó a un 75%, las plántulas se quemaron y en su mayoría murieron. La sustitución de ingredientes del bocashi original redujo la altura de las plantas, tanto en el tratamiento de bocashi cascarilla de café, como en el de bocashi concentrado animal, presentando éstos dos últimos igual altura. La altura de las plantas fue similar para el compost de pulpa o lombricompost y el abono de gallinaza.

No se observaron diferencias entre los tratamientos de poró en tres niveles (200, 400 y 600 kg/ha de N), aunque el tratamiento de poró con micorriza presentó mayor altura que el tratamiento poró 600 kg N/ha.

La altura de las plantas no se incrementó cuando se aplicó micorriza al suelo con respecto al testigo. El tratamiento de manejo convencional aumentó la altura respecto al testigo. En el tratamiento de fertilización química la mayoría de las plantas no sobrevivieron bajo esta condición de iluminación.

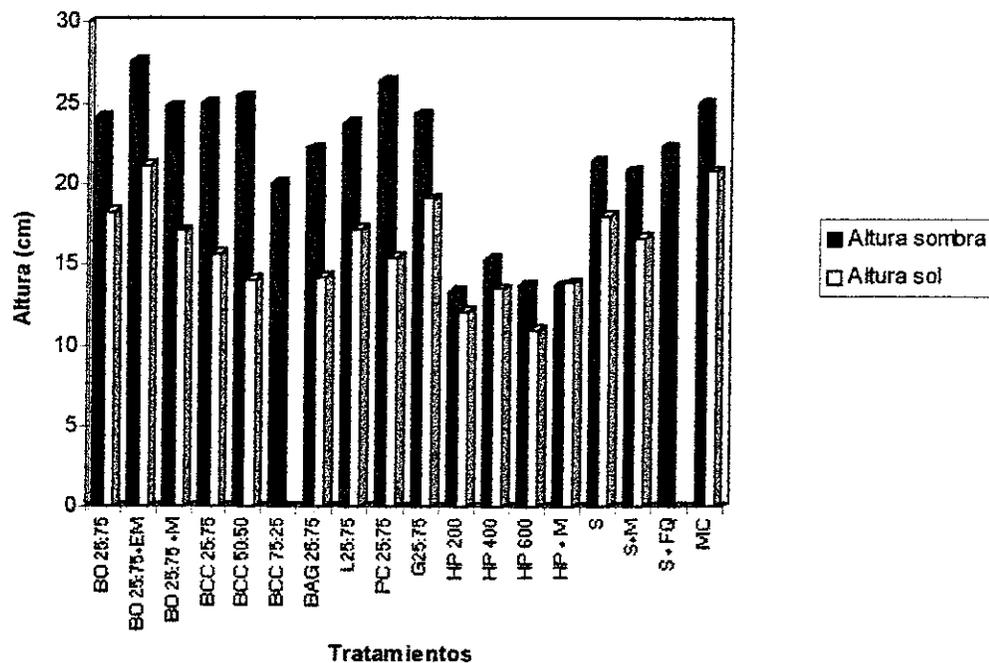


Figura 1. Altura de las plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

Vigor de plantas bajo 50% de sombra

En la Figura 2 y el Cuadro 1a se observan los resultados correspondientes a la variable vigor de plantas. El mayor índice vigor (4.32) se obtuvo en el tratamiento de pulpa de café, sin embargo, no hubo diferencias significativas con los tratamientos de bocashi original con elementos menores, bocashi con cascarilla de café (25:75), bocashi con concentrado animal, lombricompost, gallinaza, manejo convencional y el testigo. El tratamiento de menor vigor fue el de poró más micorriza (1.87) siendo estadísticamente diferente de todos los otros tratamientos.

El tratamiento de bocashi original no presentó diferencias cuando se le adicionó elementos menores o micorriza. Al variar la proporción de abono bocashi de 25% a 50% no afectó el vigor de la plántula, pero cuando dicha proporción se aumentó a un 75% disminuyó el vigor significativamente.

Los tratamientos con poró mostraron las plantas con menor índice de vigor, sin que se observaran diferencias entre los tres niveles aplicación (200, 400 y 600 kg N/ha). El índice de vigor fue estadísticamente igual para suelo solo, suelo más micorriza, fertilización química y manejo convencional del almácigo.

Vigor de plantas a plena exposición solar

En la Figura 2 y el Cuadro 2a se observan los resultados correspondientes a la variable índice de vigor de las plantas de café en la condición a pleno sol. El tratamiento con mayor vigor (3.65) fue el bocashi original con elementos menores, aunque sin presentar diferencias estadísticas con los tratamientos manejo convencional y el testigo. El tratamiento que mostró menor vigor fue el de poró más micorriza (1.71) siendo estadísticamente igual a los de poró de 200 y 600 kg N/ha. Se observó mayor índice de vigor de las plantas en el tratamiento bocashi con elementos menores comparado con el bocashi original y el bocashi más micorriza.

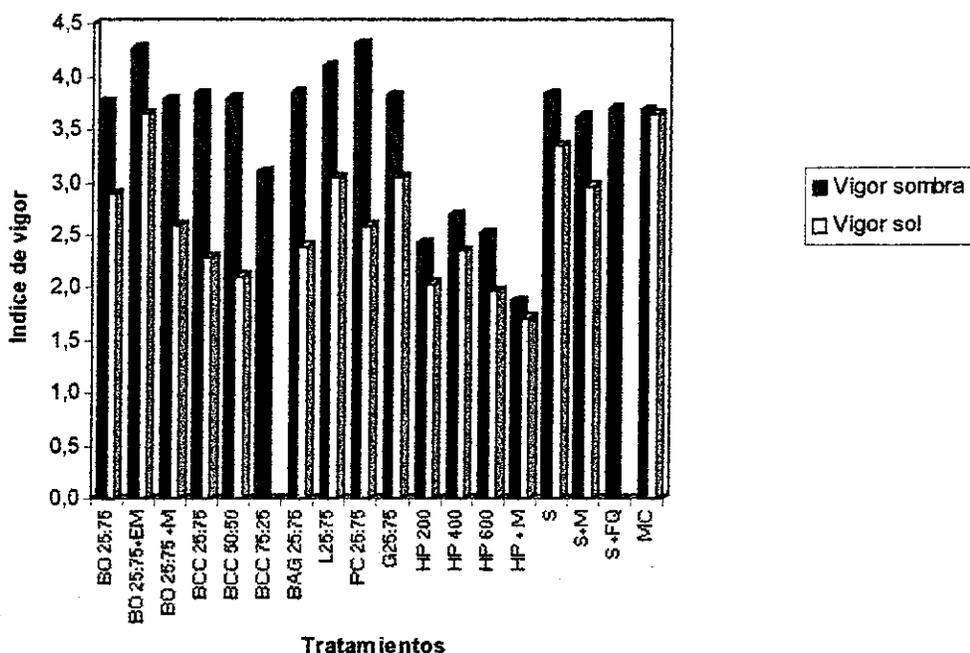


Figura 2. Índice de vigor de plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

Para esta variable no se observaron diferencias al variar la proporción de bocashi de 25% a 50% , pero al aumentarla al 75%, se presentó una alta mortalidad de plantas.

Al sustituir en el bocashi original la semolina por granza de arroz no se encontró diferencias significativas en el vigor de las plantas, pero con el tratamiento bocashi original las plantas presentaron mayor vigor que con el bocashi cascarilla de café. Entre los tratamientos de sustrato orgánico lombricompost, pulpa de café y gallinaza no hubo diferencias estadísticas significativas en el índice de vigor de las plantas.

Los tratamientos que mostraron plantas muy débiles, menos vigorosas fueron donde se utilizó poró; la micorriza no surgió ningún efecto mejorador de este abono verde; por el contrario fue en tratamiento donde las plantas tuvieron menor vigor de todos los evaluados en el estudio. Las plantas en el tratamiento testigo no presentaron diferencias respecto al tratamiento de manejo convencional y al de suelo con el de adición de micorriza.

Número de nudos bajo 50% de sombra

En la Figura 3 y el Cuadro 1a se observan los resultados correspondientes a la variable número de nudos de las plantas. El mayor valor promedio de nudos (17.6) se obtuvo en el tratamiento de bocashi original más elementos menores, aunque no estadísticamente diferente de los valores obtenidos en los tratamientos gallinaza, bocashi original y manejo convencional. El tratamiento en el cual las plantas tuvieron menos nudos fue poró 600 kg N/ha (10.1), aunque este valor fue estadísticamente igual al de los tratamientos de poró más micorriza y suelo más micorriza.

El crecimiento medido como número de nudos no se afectó cuando se adicionó elementos menores al bocashi original, pero se redujo cuando se agregó micorriza a este sustrato. El aumento en la proporción de bocashi : cascarilla de café, no afectó el número de nudos promedio por planta de café, pero sí hubo reducción del número de nudos cuando se utilizó alimento de ganado en reemplazo de la semolina de arroz. El número de nudos por planta fue mayor y estadísticamente diferente en los tratamientos de pulpa de café y gallinaza con respecto al tratamiento donde se utilizó lombricompost mezclado en suelo como sustrato.

En concordancia con otras variables de crecimiento, los tratamientos de poró presentaron los menores valores de número de nudos, sin encontrarse diferencias estadísticas entre ellos. El número de nudos en el tratamiento de suelo solo (testigo) no mostró diferencia con el de fertilización química, pero sí difirió del suelo con micorriza que presentó menor valor y del manejo convencional en el cual las plantas tuvieron mayor número de nudos.

Número de nudos a plena exposición solar

En la Figura 3 y el Cuadro 2a se presentan los resultados correspondientes a la variable número de nudos para la condición de plena exposición solar de las plantas de café. El mayor número de nudos (17.2) se encontró en el tratamiento manejo

convencional (17.2) siendo estadísticamente diferente del resto de tratamientos. El menor valor (9.6) se observó en el tratamiento de poró 600 kg N/ha (9.6) siendo estadísticamente igual a los tratamientos de poró 400 kg N/ha, poró más micorriza, suelo más micorriza, bocashi original más micorriza, bocashi cascarilla de café proporción 25:75 y bocashi cascarilla de café 50:50.

Todos los tratamientos con bocashi, lombricompost, pulpa de café, gallinaza, poró 200 y 400 kg N/ha fueron estadísticamente iguales y no se encontró diferencias con el testigo.

El tratamiento de suelo solo utilizado como testigo no difiere del suelo más micorriza pero presentó menor número de nudos con diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento manejo convencional.

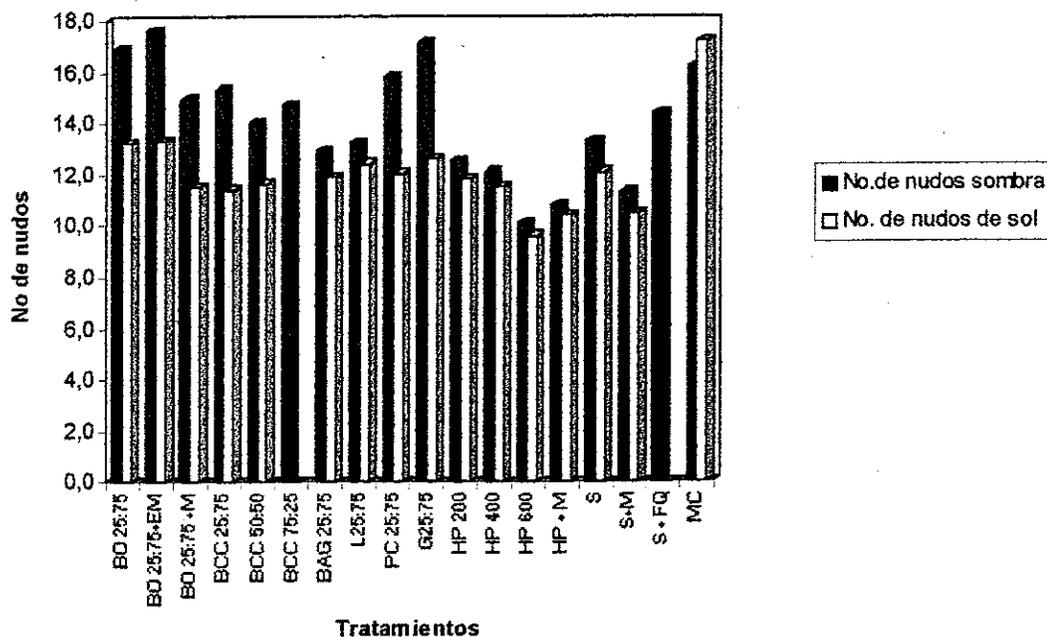


Figura 3. Número de nudos de las plantas de café variedad Caturra bajo una sombra de 50% y a plena exposición solar, a los seis meses de edad creciendo en diferentes sustratos.

Materia seca bajo 50% de sombra

En la Figura 4 y el Cuadro 3a se observan los resultados correspondientes al peso seco de hojas, tallos, raíz y total bajo la condición de 50% de sombra. El mayor valor promedio de peso seco total se obtuvo en el tratamiento de manejo convencional (13.79 g), pero no presentó diferencias con los tratamientos de bocashi original, bocashi más elementos menores, bocashi más micorriza, bocashi cascarilla de café 25 y 50 y 75%, pulpa de café, gallinaza y fertilización química. Este comportamiento general se observó también con el peso seco de la hoja pero fue más heterogéneo en el caso del peso seco tallo y peso seco raíz, variables en las cuales se obtuvo un valor mayor para el tratamiento bocashi original más elementos menores.

El tratamiento de menor valor de peso seco total (2.27 g) fue el de poró 200 kg N/ha, aunque fue estadísticamente igual a los tratamientos de poró 400 kg de N/ha, 600 kg de N/ha y poró más micorriza). En el tratamiento de poró 200 kg N/ha, también se observaron los menores valores de peso seco hoja, peso seco tallo y peso seco raíz, aunque no fueron estadísticamente diferentes de los otros tratamientos de poró.

Para la variable peso seco total no se observaron diferencias entre las tres diferentes proporciones de mezcla de abono bocashi : cascarilla de café, pero se encontró menor peso en el tratamiento bocashi alimento para ganado al compararse con el bocashi original y el preparado con cascarilla de café. Este comportamiento fue similar en las variables peso seco hoja, peso seco tallo y peso seco raíz.

En el peso seco total los tratamientos de pulpa de café y gallinaza no mostraron diferencias significativas entre sí, pero presentaron mayor peso que el tratamiento de lombricompost. Esta tendencia también se presentó en el peso seco, peso seco tallo y peso seco raíz.

Entre los tratamientos de poró no se encontraron diferencias significativas, presentando los valores más bajos de peso seco total, peso seco hoja, peso seco tallo y peso seco raíz de todos los tratamientos evaluados.

En el peso seco total de las plantas en el tratamiento de suelo solo (testigo) no difiere del suelo más micorriza, pero se diferencian significativamente del manejo convencional. El comportamiento fue similar para peso seco de hoja y peso seco de tallo, no así para peso seco de raíz que fue estadísticamente igual al manejo convencional.

Contenido de materia seca a plena exposición solar

En la Figura 5 y el Cuadro 3a se observan los resultados correspondientes a la variable peso seco de las plantas de café medida bajo condición de plena exposición solar. El mayor valor promedio de peso seco total (8.98 g) se obtuvo en el tratamiento de gallinaza, pero no presentó diferencias estadísticas significativas con los tratamientos bocashi original, bocashi más elementos menores bocashi más micorriza, bocashi cascarilla de café 25%, lombricompost y manejo convencional.

En el tratamiento de gallinaza para el peso seco hoja también se observó el mayor valor promedio, pero para el peso seco tallo y peso raíz fue el tratamiento de bocashi original más elementos menores el de mayor peso, aunque no se diferenció estadísticamente del tratamiento de gallinaza.

Las plantas tuvieron menor peso seco total en el tratamiento de poró 200 kg N/ha (2.03), pero fue estadísticamente igual al obtenido en los tratamientos de poró (400, 600 kg de N/ha y poro más micorriza). La misma tendencia se obtuvo para el peso seco hoja, peso seco de tallo y peso seco de raíz.

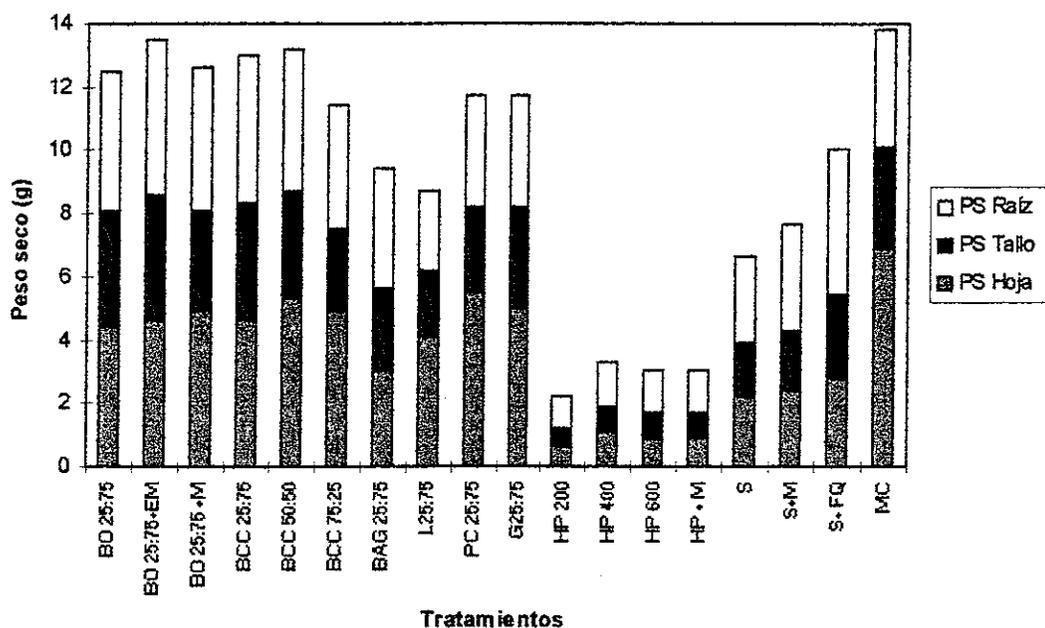


Figura 4. Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos y bajo una sombra de 50%.

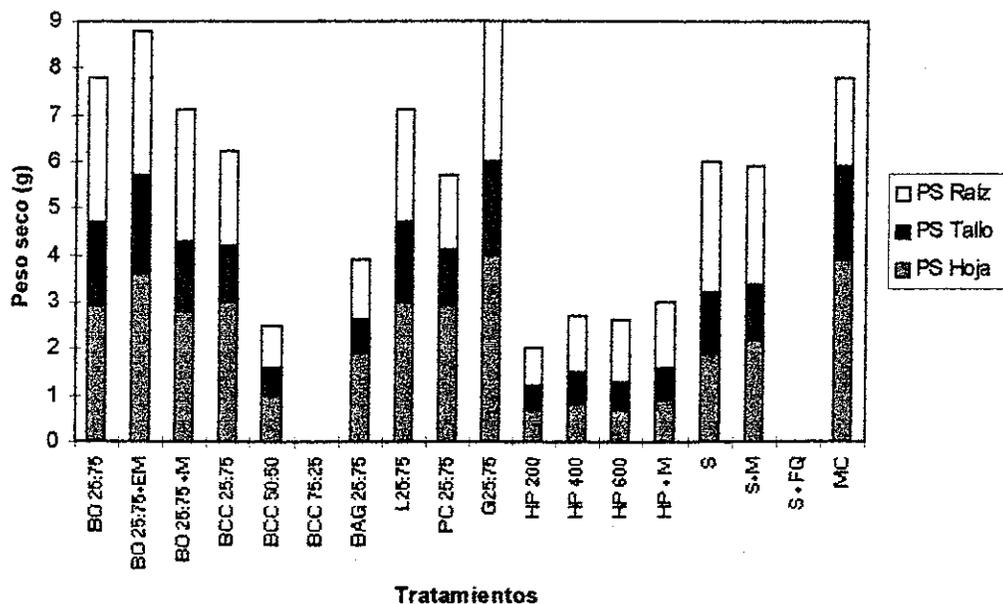


Figura 5. Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos y a plena exposición solar

Para la variable peso seco total no se observó diferencias entre las proporciones de mezcla bocashi cascarilla de café 25 y 50% (en la proporción 25:75 todas las plantas se murieron por efecto del tratamiento). Para el peso seco hoja se encontró diferencias entre esas dos proporciones, pero para el peso seco tallo y peso seco raíz las diferencias no fueron significativas. La sustitución de componentes del bocashi original tuvo efectos en los resultados: el peso seco total, peso seco tallo y peso seco raíz fueron menores en el tratamiento bocashi alimento para ganado que el bocashi original, pero para el peso seco hoja no se encontró diferencias significativas entre los dos tratamientos.

En el peso seco total y peso seco raíz, los tratamientos de pulpa de café y lombricompost no mostraron diferencias significativas entre sí, pero presentaron menor peso que el tratamiento de gallinaza. Para el peso seco tallo y peso seco raíz no se observaron diferencias significativas con el tratamiento de gallinaza.

Entre los tratamientos de hojarasca de poró no se encontraron diferencias significativas, presentando los valores más bajos de peso seco total, peso seco hoja, peso seco tallo y peso seco raíz de todos los tratamientos evaluados.

El tratamiento de suelo solo (testigo) no difirió del suelo más micorriza, pero el peso seco total, peso seco de hoja y peso seco de tallo fueron inferiores y se diferencian significativamente del manejo convencional. Para el peso seco raíz no se observaron diferencias significativas entre dichos tratamientos.

c) Comparación del nivel de iluminación para cada tratamiento

En las Figuras 1, 2, 3 y 6, y el Cuadro 6a se presentan los resultados comparativos del crecimiento de las plantas de café (altura, vigor, número de nudos y peso seco total) en los diferentes tratamientos evaluados, bajo las dos condiciones de iluminación utilizadas: 50% de sombra y plena exposición solar.

Altura de las plantas

Para esta variable no se encontró diferencias significativas entre las condiciones de iluminación para los tratamientos de poró (200 y 400 kg N/ha) y poró más micorriza. El resto de tratamientos presentaron diferencias significativas bajo las dos condiciones de iluminación.

Vigor de las plantas

No se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de iluminación para los tratamientos de poró (200 y 400 kg N/ha), poró más micorriza, manejo convencional y el testigo. El resto de tratamientos presentaron diferencias significativas bajo las dos condiciones de iluminación.

Número de nudos

Hubo diferencias significativas entre las condiciones de iluminación para los tratamientos de bocashi original, bocashi cascarilla de café (25:75 y 50:50), bocashi original más elementos menores, bocashi original más micorriza, pulpa de café y gallinaza. El resto de tratamientos no mostraron diferencias significativas bajo las dos condiciones de iluminación.

Materia seca

Para el peso seco total se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de iluminación para los tratamientos de bocashi original, bocashi cascarilla de café (25% y 50%), bocashi alimento de ganado, bocashi original más elementos menores, bocashi original más micorriza, pulpa de café y manejo convencional. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas bajo las dos condiciones de iluminación.

Para el peso seco tallo se observó un comportamiento similar al peso seco total pero el tratamiento de gallinaza también mostró diferencias significativas entre las dos condiciones de iluminación. El peso seco hoja se diferencia del peso seco total en que el tratamiento bocashi original más elementos menores fue igual para sol y para sombra.

Para el peso seco raíz la diferencia con la tendencia general fue que el tratamiento bocashi original no presentó diferencias de peso entre las dos condiciones de iluminación.

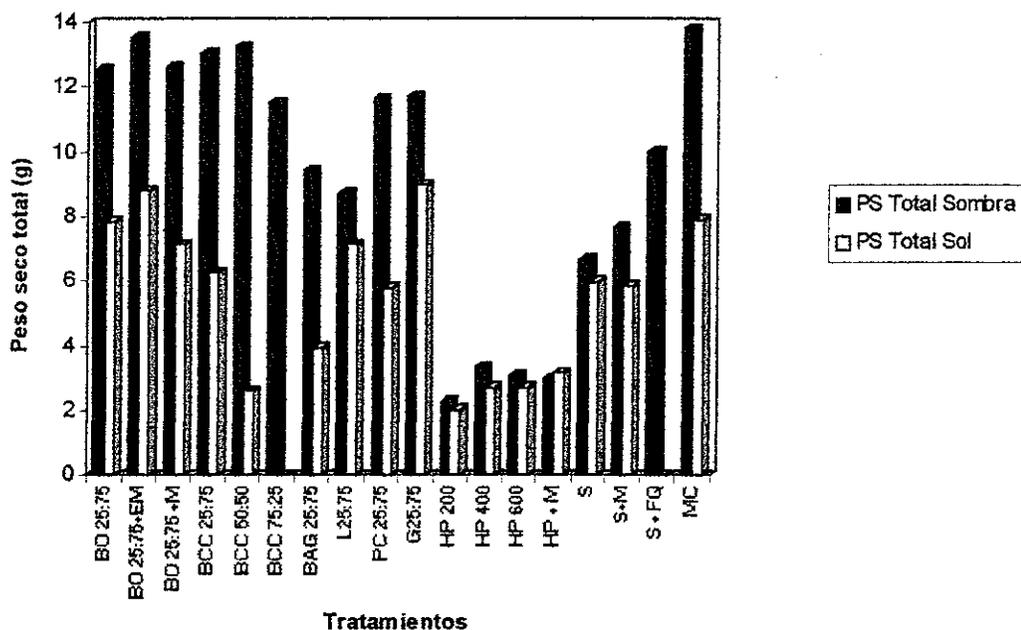


Figura 6. Producción de materia seca de plantas de café variedad Caturra bajo sombra de 50% y a plena exposición solar, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

d) Variables que no presentaron interacción entre los tratamientos y el nivel de iluminación.

Defoliación

En la Figura 7 y el Cuadro 5a se presentan los resultados correspondientes al porcentaje de defoliación de las plantas. La mayor defoliación (64.1%) se observó en

el tratamiento de poró 200 kg N/ha, aunque no difirió estadísticamente de los otros tratamientos con poró, bocashi alimento para ganado, suelo más micorriza y el testigo. La menor defoliación (31.3%) se encontró en el manejo convencional aunque este tratamiento no tuvo diferencias significativas con otros tratamientos de bocashi, lombricompost, pulpa de café, gallinaza y fertilización química.

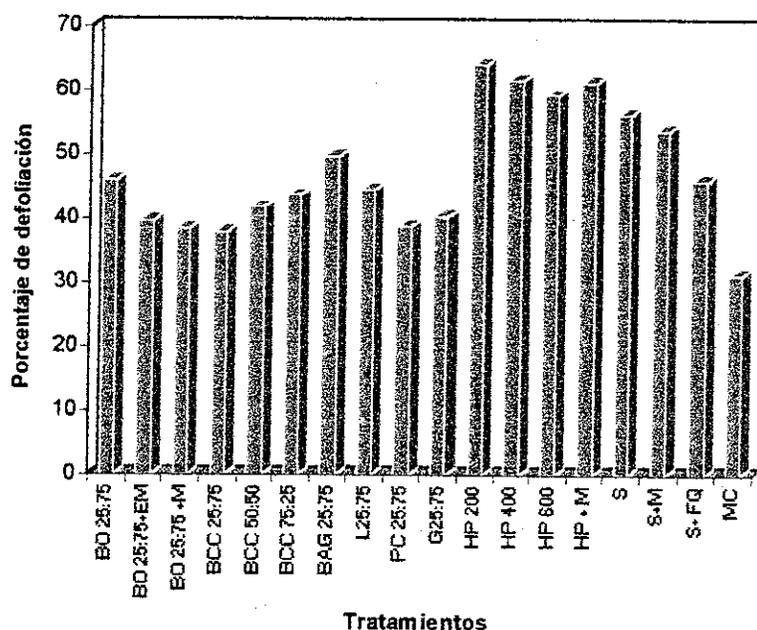


Figura 7. Defoliación en plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

La defoliación no disminuyó con la adición de elementos menores al bocashi original, la variación en sus ingredientes o proporciones volumétricas, así como tampoco con la inoculación de micorriza.

Para esta variable no hubo diferencias entre los tratamientos donde se utilizó lombricompost, pulpa de café o gallinaza. Tampoco diferenciaron los tratamientos de poró en sus tres dosis (200, 400 y 600 kg N/ha) ni poró con la adición de micorriza. El manejo convencional presentó menor defoliación que el testigo y que el suelo más micorriza.

Incidencia de chasparria

La Figura 8 y el Cuadro 5a muestra los resultados correspondientes a la variable incidencia de chasparria. Para esta variable no se observaron diferencias entre las condiciones de iluminación (plena exposición solar y 50% de sombra). La menor incidencia de chasparria (24.5%) se observó en el tratamiento de manejo convencional (hubo aplicación de fungicidas), aunque solamente fue estadísticamente diferentes de los tratamientos de bocashi cascarilla de café (25:75) , poró (400, 600 kg N/ha) y suelo más micorriza. La mayor incidencia de chasparria (51.9%) encontró en el tratamiento de suelo más micorriza (51.9%), y difirió estadísticamente solo de los tratamientos de bocashi cascarilla de café (75:25), lombricompost, gallinaza y el manejo convencional.

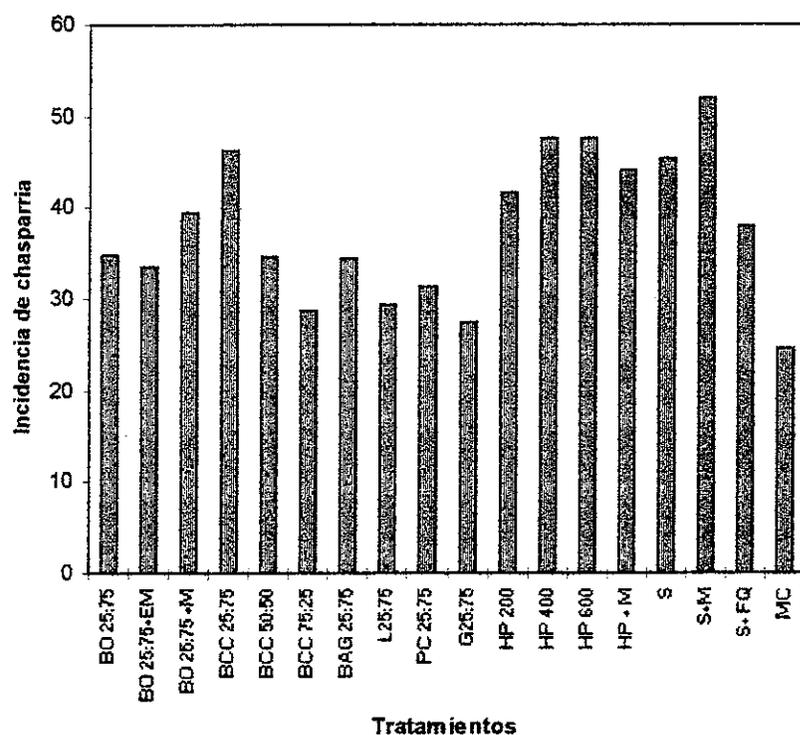


Figura 8. Incidencia de chasparria en plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

No se observaron diferencias en la incidencia de chasparria por efecto de la proporción de mezcla del bocashi ni por la sustitución de componentes en el bocashi original. Tampoco, hubo diferencias en los tratamientos de pulpa de café, lombricompost y gallinaza. No se observó diferencias entre los tratamientos de poró siendo estadísticamente iguales al testigo.

El manejo convencional difiere significativamente del suelo más micorriza pero no mostró diferencias con el testigo y con el tratamiento de suelo más fertilización química.

e) Índice de agallamiento por nemátodos

El índice de agallamiento fue cero "0" (Según metodología de Taylor y Sasser, 1983) en la mayoría de los tratamientos bajo las dos condiciones de iluminación, por lo tanto no se encontraron plantas afectadas por este problema fitopatológico.

5. DISCUSIÓN

En general, bajo 50% de sombrero, las plantas de café tuvieron mayor crecimiento en la mayoría de los tratamientos con abonos orgánicos, excepto con biomasa de poró. En el tratamiento con suelo solo, bajo las dos condiciones de iluminación, no hubo diferencias en crecimiento para la mayoría de las variables excepto para altura de plantas. Esto se puede explicar como respuesta positiva de la interacción suelo y abonos orgánicos, que se manifiesta por el hecho de no encontrar diferencias significativas entre iluminaciones para el suelo como sustrato único. Además, el crecimiento en suelo fue menor que en la mayoría de los tratamientos orgánicos, lo que evidencia por una parte que dicho suelo tenía una fertilidad no suficiente para pasar desapercibido el efecto de los abonos orgánicos y por otra parte, que existe una contribución real de los abonos utilizados, sobre el crecimiento de las plantas de café.

En general en los tratamientos con bocashi fueron más evidentes las diferencias estadísticas entre condiciones de iluminación, lo que refuerza la suposición de una interacción positiva entre la sombra y el efecto del abono tipo bocashi; incluso en la proporción de mezcla 75:25 (bocashi:suelo), la mayoría de las plantas en la condición a plena exposición solar fueron más afectadas que en la sombra, posiblemente debido a que al sol se favoreció el proceso de descomposición de los materiales orgánicos. Esta descomposición libera sustancias fitotóxicas como ácido butírico y acético, que son altamente tóxicos para las plantas (Sanchez y García 1989; Vargas et al 1996). En las condiciones del experimento (altura 602 msnm) parece esencial el uso de sombra, ya que la planta está expuesta y con poco follaje a condiciones y variaciones climáticas que le son adversas como la temperatura y radiación solar excesiva.

Muschler (1997) demostró que a elevaciones por debajo de la zona óptima de adaptación ecológica, la producción de café expuesto al sol disminuye fuertemente debido al estrés por altas temperaturas. Ramírez (1994) encontró que el crecimiento del café es mejor cuando las plantas se encuentran bajo sombra, coincidiendo con lo observado en el presente trabajo. La sombra se usa en las regiones cálidas, para mantener un equilibrio entre el suministro de nutrientes por parte del sustrato y las necesidades de las plantas. Kimemia y Njoroge (1988) mencionaron que la sombra reduce el requerimiento de la planta de café por nutrientes, debido a la disminución de la actividad fotosintética de la planta y del desarrollo en general. Sin embargo, otros autores como López *et al.* (1992), concluyeron que a plena exposición solar las plantas de café crecen mejor.

Para la producción de café orgánico es imprescindible cultivar bajo sombra, constituyéndose en uno de los requisitos principales dentro de las normas de certificación. La sombra disminuye el efecto de radiación solar sobre el suelo, lo cual beneficia la actividad biológica del mismo, disminuye la evapotranspiración y mejora sus reservas durante los periodos secos (Mendoza y López, 1999). Asimismo Kumar y Tieszen (1980) reportan que las plantas que crecen a la sombra presentan mayor tasa de fotosíntesis que las expuestas a pleno sol.

En un estudio del crecimiento en plántulas de café al sol y bajo sombra en vivero Morales *et al.* (1985), señalaron que a partir del tercer mes el peso seco del tallo se incrementó en mayor magnitud en las plántulas a la sombra, alcanzándose los mayores incrementos al sexto o séptimo mes.

Los tratamientos con los menores valores de altura, vigor, número de nudos, materia seca y mayor porcentaje de defoliación e incidencia de chasparria fueron los de hojarasca de poró en sus tres niveles de N (200, 400 y 600 kg N/ha). Este comportamiento podría deberse a un exceso de nitrógeno en la hojarasca que da lugar a condiciones de toxicidad (Aranda, 1995). Asimismo al inicio del experimento

se percibió olor a amoníaco en los tratamientos con este sustrato; es posible que el poró tenga una liberación muy rápida de nitrógeno amoniacal que afecta el buen desarrollo de las plantas de café. Mendoza y López (1999) explican que cuando se utiliza material orgánico con exceso de nitrógeno, los microorganismos procesan el sustrato liberando hacia la atmósfera parte del nitrógeno en forma de amoníaco.

Al analizar químicamente el poró se encontró que tiene mayor contenido de nitrógeno (cuadro 8) comparado con todos los otros abonos usados en este estudio, lo que podría hacer suponer que es una enmienda con potencial para utilizarlo como abono orgánico. Sin embargo, bajo las condiciones de este experimento, tuvo un comportamiento muy pobre en todas las variables evaluadas, lo que permite sugerir que el análisis químico no siempre es un buen indicador de calidad de un abono, pues no indica nada sobre plazos de disponibilidad de sus nutrientes y procesos de descomposición involucrados. Vandevivere y Ramírez (1995) al evaluar la calidad de varios abonos orgánicos, entre ellos hojas de poró, no observaron respuesta en la cosecha de sorgo, calificándolo como un abono de baja calidad. Por lo cual concluyeron que los resultados no indican una buena relación entre el nitrógeno total y el rendimiento de sorgo.

El manejo convencional generalmente tuvo un comportamiento similar a los tratamientos con bocashi, gallinaza y pulpa de café, que fueron los mejores; esto indica que estas enmiendas son capaces de sustituir la fertilización química y el uso de plaguicidas que tienen un costo económico y ambiental importante. Arcoverde (1998) observó mejor crecimiento de maíz con la aplicación de enmiendas de origen animal como gallinaza y con bocashi que a su vez incluye gallinaza como uno de sus componentes. Sin embargo, Vandevivere y Ramírez (1995) observaron que a pesar de que el bocashi ha sido descrito como un abono muy concentrado en cuanto a su contenido de nutrimentos, al evaluar rendimiento en sorgo resultó como abono de mediana calidad.

Al no observarse diferencias entre la fertilización con gallinaza y la química utilizada en el manejo convencional, se podría considerar este abono como una buena opción para obtener plantas vigorosas y sanas. Esto se puede apoyar con el trabajo de Vandevivere y Ramírez (1995), quienes estudiaron la calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos observando que el estiércol de gallina produce abonos de alta calidad y que son de menor costo para el productor.

Con pulpa de café se observó mejor desarrollo de las plantas comparado con el suelo solo, por lo que se podría considerar un abono adecuado para el almácigo de café. Asimismo Mestre (1977) al evaluar plantas de café en etapa de almácigo, observó mayor peso seco al fertilizar con pulpa de café que con fertilizante químico y comparado con el suelo sin fertilizar. Uribe (1983) evaluó el efecto de la pulpa de café como fertilizante para el cafeto en comparación con el fertilizante químico, en cinco sitios diferentes de la zona cafetera Colombiana. La pulpa de café produjo aumentos apreciables en la producción con respecto al testigo sin fertilizar y al fertilizante químico; resultados similares encontraron Obando (1997) y Alfaro (1999) en plantaciones de café bajo sombra.

El lombricompost, a pesar de que no fue de los tratamientos orgánicos más destacados en favorecer el crecimiento de las plantas de café, si tuvo efecto significativo con respecto al suelo solo (testigo), principalmente en las variables altura y producción de materia seca. Aunque en otros cultivos, otros autores como Nijhawan y Kanwar (1952) en trigo y Reddy (1988) en arroz han documentado el efecto beneficioso sobre el crecimiento de esos cultivos de la mezcla de suelo y lombricompost.

No hubo interacción estadísticamente significativa entre tratamientos y condición de iluminación para las variables defoliación e incidencia de chasparria. Cadena (1982) menciona que la principal causa de la defoliación en la etapa de almácigo del café se debe a la mancha de hierro o chasparria (*Cercospora coffeicola*), lo que explica el

comportamiento similar de estas dos variables en la presente investigación. A pesar de que en la literatura, por ejemplo Hernández (1988), se menciona que la mayor incidencia de chasparria ocurre bajo condiciones de plena exposición solar, los resultados obtenidos en este estudio podrían explicarse por una presión de inóculo similar para las plantas ubicadas tanto al sol como a la sombra, ya que el arreglo espacial de los tratamientos asociado a la distribución aleatoria de los bloques, no separó de manera total estas condiciones.

La menor incidencia de chasparria fue en el tratamiento convencional lo que se debe posiblemente al efecto protector de las aplicaciones de fungicida realizadas. Por el contrario, la mayor defoliación e incidencia de chasparria ocurrió en los tratamientos con poró y el suelo como sustrato único, lo cual se puede asociar con su menor crecimiento, plantas más débiles y en estado nutricional de predisposición al ataque de *Cercospora*. Con los otros abonos orgánicos las plantas tuvieron menor incidencia de chasparria que con los antes mencionados. Esto coincide con lo reportado por Cadena (1982) quien no encontró diferencias entre el tratamiento de pulpa con fungicida y de pulpa sin fungicida.

En todas las variables evaluadas, la adición de micorriza al suelo no difiere del suelo solo usado como testigo, además, estas plantas mostraron poco desarrollo y vigor. Bajo las condiciones del ensayo se podría considerar que el hongo micorrícico no mejoró la eficiencia de las plantas para utilizar los nutrientes en la producción de tejidos y favorecer el crecimiento. Esto no concuerda con lo reportado por Mendoza y López (1999) quienes afirman que el uso de micorrizas en almácigo de café, permite obtener plantas de buen desarrollo vegetativo. Asimismo Vaast (1996) al inocular plantas de café propagadas in vitro, con micorriza vesículo arbuscular observó mejoramiento en el crecimiento.

No se observó presencia de agallas por nemátodos en ninguno de los tratamientos, lo que se puede explicar por la naturaleza orgánica de los sustratos incluyendo el suelo

que contiene un adecuado de materia orgánica. Mendoza y López (1999) consideran que las poblaciones de los nemátodos fitoparásitos pueden ser reguladas en forma natural por los microorganismos del suelo; además la adición de materia orgánica fortalece la fitosanidad porque ayuda a la diversificación microbiana del suelo (López, 1989), estimulando la proliferación de organismos benéficos y/o producción de sustancias antagónicas para los nemátodos Marban (1996).

La sustitución de granza de arroz por cascarilla de café y de semolina de arroz por concentrado para ganado en la condición de sombra no cambió el efecto del bocashi evaluado mediante la altura y vigor de las plantas de café, pero el número de nudos y el peso seco fueron menores cuando se sustituyó la semolina por concentrado para ganado. Un resultado similar se obtuvo bajo la condición sol para la variable altura. Esto puede obedecer a que el concentrado para ganado no tiene la misma capacidad de suministro de energía a los microorganismos que la semolina ya que su contenido de carbohidratos es menor.

En la condición sol la altura de plantas y el vigor fueron inferiores para el bocashi en el cual se sustituyó la granza de arroz por cascarilla de café, resultado que no es fácil de explicar pues la cascarilla de café tiene mayor contenido de Ca, Mg, K y N, además la relación K:Ca:Mg es mejor con cascarilla de café. Sin embargo en términos del peso seco total y del número de nudos no hubo diferencias por el efecto de intercambiar estos componentes. Para las variables defoliación, incidencia de chasparria y agallamiento por nemátodos no hubo efectos de la sustitución de componentes del bocashi original. Así los resultados parecen sugerir que es necesario estudiar con más detalle la sustitución de semolina por concentrado para ganado y compensar la posible pérdida de efecto del abono con el costo de conseguir la semolina.

Tanto en la condición de sombra como plena exposición solar para las variables relacionadas con el crecimiento de las plantas (altura, vigor, número de nudos y

materia seca) no hubo diferencias entre tratamientos para las proporciones 25:75 y 50:50 (bocashi:suelo), pero sí para la proporción 75:25. Estos resultados demuestran que una proporción excesiva de abono tiene un efecto negativo directo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (algunas de las cuales no sobrevivieron) así como un efecto económico, puesto que el costo del bocashi es superior al del sustrato suelo.

Posiblemente el proceso de fermentación del bocashi es incompleto y continúa luego de la siembra de las plántulas y dada la alta proporción de bocashi, la liberación de gases y sustancias derivadas de ese proceso son también muy altas, lo que afecta a las plantas. Figueroa (1991) quien evaluó porcentajes de pulpa (30 y 50%) en almácigos de café observó que éstos porcentajes de mezcla superaron significativamente al testigo y recomienda usar cualquiera de los dos, dependiendo de la disponibilidad de pulpa de la finca.

En los cuadros 7, 8 y 7a se mostraron los resultados de composición nutricional del suelo, los sustratos y los análisis foliares de los diferentes tratamientos. Los niveles de Ca, Mg, K, B, P Zn y Mn, así como las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K se consideran óptimos y el contenido de Cu alto, según la guía de interpretación de análisis de suelo utilizado por el CATIE (Bertsch, 1986), mientras que los contenidos del nitrógeno total y de materia orgánica se clasificaron como medio y la CIC como alta según Miranda (1988).

Los análisis foliares comparados con los datos reportados para café en la literatura, para Costa Rica (Snoeck, 1984) son deficientes únicamente para zinc (aunque estos valores están muy cercanos al nivel crítico) en la condición de plena exposición solar para los siguientes sustratos: todos los bocashi, lombricompost, gallinaza, pulpa de café, poró 400 kg N/ha, poró más micorriza y suelo más micorriza. En condición sombra el zinc fue deficiente en el bocashi original, pulpa de café, poró 400 kg N/ha, bocashi más micorriza, suelo más micorriza y gallinaza.

De estos datos se puede inferir que el zinc es un elemento que debe ser objeto de estudio más detallado, ya que a pesar de ser su nivel en el suelo y en todos los sustratos alto, mostró bajo nivel foliar, lo que podría deberse a problemas de absorción y a disponibilidad de este elemento para las plantas o que el café tiene requerimientos muy elevados de éste micronutriente.

Los datos también sugieren que ocurren interacciones entre el crecimiento de las plantas y otros factores como condiciones microclimáticas y las características propias de cada sustrato que hacen compleja la interpretación en función únicamente del contenido nutricional del suelo o foliar. En efecto, los niveles nutricionales en el suelo, en los sustratos que sirvieron como base de los tratamientos y los foliares parecen ser adecuados para el crecimiento normal de las plantas, sin embargo hubo diferencias significativas en el crecimiento y vigor de las plantas entre tratamientos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El crecimiento y desarrollo de las plantas de café fue mejor bajo 50% de sombrero que a plena exposición solar.
- Bajo 50% de sombra no hubo diferencias para ninguna de las variables entre la fertilización química y orgánica.
- El crecimiento de las plantas en el sustrato suelo orgánico usado a pesar de tener contenidos óptimos de nutrientes fue menor que en la mayoría de los tratamientos con enmiendas orgánicas.
- El almácigo de café se ve afectado de acuerdo al tipo de enmienda orgánica que se utilice ya que cuando se usó hojarasca de poró como abono verde se observó poco desarrollo en las plantas de café, por lo cual no se considera como un buen fertilizante.
- Se sugiere que el análisis químico no siempre es un buen indicador de la calidad de los abonos, pues no indica nada sobre plazos de disponibilidad de sus nutrientes y procesos de descomposición involucrados.
- Las condiciones de iluminación no afectaron la incidencia de chasparria y la defoliación de las plantas
- El almácigo de café no se vio favorecido por la incorporación de hongos micorrícicos al suelo solo, o en abonos orgánicos.

- Con los resultados obtenidos en este trabajo se comprueba que los abonos orgánicos como bocashi, gallinaza y pulpa de café son eficientes sustitutos de los fertilizantes químicos debido al comportamiento mostrado por las plantas.
- Se reafirmó el efecto de la pulpa de café para obtener plantas sanas y vigorosas en los almácigos de café.
- El lombricompost aunque tuvo un efecto significativo respecto al testigo no fue uno de los tratamientos orgánicos más destacados.
- Los abonos orgánicos contribuyen con nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas de café.
- Para la preparación de abono tipo bocashi para almácigo de café se puede sustituir la granza de arroz por cascarilla de café sin afectar la calidad del abono ni su efecto favorable sobre las plantas.
- La mejor proporción de mezcla de abono bocashi:suelo fue 25:75 ya que no se encontraron diferencias significativas con la proporción 50:50 y tiene un menor costo. El sustrato con la proporción de mezcla 75:25 además de tener un costo más elevado, dañó muchas de las plantas, principalmente en la condición a plena exposición solar, por lo que se descarta su uso.
- El hecho de que los sustratos contengan buen contenido de nutrientes no garantiza la absorción de éstos, ya que los análisis foliares mostraron deficiencia de zinc en la mayoría de los tratamientos orgánicos, a pesar de que los sustratos tenían buen contenido de este elemento.

- Bajo las condiciones del experimento se recomienda sembrar el almácigo de café bajo 50% de sombra con abono orgánico tipo gallinaza, pulpa de café o bocashi original o con cascarilla de café en proporción 25:75.
- Se debe promover la gallinaza y la pulpa de café como abonos para la producción de almácigo de café orgánico, por su efectividad, disponibilidad y menor costo con respecto al bocashi.
- Se recomienda estudiar más a fondo el lombricompost como abono para plantas de café en etapa de almácigo, ya que bajo las condiciones del experimento aunque superó al testigo (sustrato suelo solo), no mostró los mejores resultados.
- Se sugiere estudiar con más detalle la sustitución de semolina por concentrado para ganado, ya que algunas variables mostraron valores inferiores en el bocashi con este componente.
- Se recomienda utilizar las variables altura y peso seco para evaluar el crecimiento de plantas de café en etapa de almácigo, pero prescindir de la variable número de nudos ya que en este estudio no generó información relevante.

7. BIBLIOGRAFIA

- Adazábal, M; Alarcón, O. 1994. Fisiología del cafeto en condiciones de montaña. *Centro Agrícola* 21:53-57.
- Alfaro, R. 1994. Niveles de materia orgánica versus fertilización química. *In* ICAFE, Informe anual de labores 1994. San José, Costa Rica. p 76-79.
- Aranda, D. 1989. Perspectivas de la utilización de lombrices en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. (Boletín técnico de café No. 7). Xalapa, Veracruz, México, INMECAFE. 7 p.
- Aranda, D. 1995. Lombricompostaje de residuos orgánicos. *In* Curso Taller sobre Agricultura Orgánica (1995, Xalapa, Veracruz). Memoria, Xalapa, Veracruz, Universidad Veracruzana. México. p 69-79.
- Arriaza, N. 1995. Comparación de tres prácticas agronómicas para el manejo y conservación de suelos en ladera, bajo el sistema frijol-maíz en Turrialba Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 125 p.
- Barrientos, M. 1991. Evaluación de la pulpa de café como abono. *In* Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (14, 1991, Panamá) Memoria, Tegucigalpa, Honduras, IICA-PROMECAFE. p 497-502. (Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos A1/HN No. 94-002).
- Barrientos, M. 1985. Pulpa de café mezclada con suelo en combinación con la fertilización química en viveros de café (*Coffea arabica* L.) var. Caturra rojo. Tesis profesional. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo. 85p.

- Bertsch, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 76p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Blanco, J. 1994. Micro-hydro and organic farming for sustainable rural development in Costa Rica. San José, Costa Rica. 144 p.
- Boyce, J; Fernández, A; Furst, E; Segura, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica, Heredia, Costa Rica. Editorial EFUNA. 237 p.
- Cáceres, D. 1995. Fertilización orgánica. El caficultor, UNICAFE 10:15-18.
- Cadena, G. 1982. Uso de la pulpa del café para el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke) en almácigos. CENICAFE 33: 76-90.
- CAFESA. 1990. Cultivo del café. 1. Semilleros y almacigales. San José, Costa Rica. Circular Técnica No. 67. 36 p.
- Cárdenas, J. 1997. Efecto de *Pseudomonas fluorescentes* sobre *Rosellinia bunodes* en plantas de café. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 86 p.
- Colozzi-Filho, A; Siqueira, J; Saggin Junior, O, Guimarães, P; Oliveira, E. 1994. Efectividade de diferentes fungos micorrízicos arbusculares na formação, crescimento pós-transplante e produção do café. Pesquisa Agropecuária Brasileira 29 (9):1397-1406.

- Concepción, U. 1982. La pulpa de café y su utilidad como abono orgánico. *In* Simposio Latinoamericano sobre Caficultura (5, 1982, El Salvador). Memoria. San Salvador, El Salvador, PROMECAFE. p 10-30.
- Cubero, D. 1994. Manual de conservación de suelos y aguas. 2 ed. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 300p.
- Cuervo, J; Rivas, G. 1997. Biota rizosférica: un recurso para promover el crecimiento y la protección de las plantas. Hoja técnica MIP-CATIE No. 21:1-4. Turrialba, Costa Rica.
- Cruz, S. 1990. Abonos orgánicos. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo. 129 p.
- Dávila, A; Arango, B. 1991. Utilización de la lombriz roja de California (*Eisenia foetida* Sav) en el proceso de descomposición de la pulpa de café. *In* Seminario Internacional de Biotecnología en la Agricultura Cafetalera (2, 1991 Manizales, Colombia). Resúmenes. Manizales, Colombia, ORSTOM-CENICAFE. p 8.
- Edwards, C. 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. *In* Edwards, C ed. Earthworm ecology. Ankeny, Iowa, USA. Soil and Water Conservation Society. p 327-354.
- FAO. 1999. Agricultura orgánica. Roma, Comité de Agricultura. 15° periodo de sesiones (25-29 de enero, 1999). 47 p.
- FAO. 1991. La declaración de Den Bocashi y el plan de acción para una agricultura y un desarrollo rural sostenible. *In* Informe de conferencia Países Bajos. Roma. 60 p.

- Fassbender, H. 1982. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 422p.
- Figuroa, R; Fischersworing, H; Rosskamp, R. 1996. Guía para la caficultura ecológica. Café orgánico. Lima, Perú, GTZ. 171 p.
- Hayman, D. 1975 The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. *In* Sanders, F. E.; Mosse, B.; Tinker, P. B. eds. Endomycorrhizas. London, Academic Press. p 495-509.
- Hernández, P. 1988. Manual de caficultura. Guatemala, Asociación Nacional del café ANACAFE. 241p.
- Hoitink, H; Stone, A; Hay, D. 1997. Supresión de enfermedades mediante el uso de compost. Manejo Integrado de Plagas 43: 31-39.
- ICAFE-MAG. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. San José, Costa Rica. 122 p.
- Jiménez, A.; Martínez, P. 1979. Estudios ecológicos de un agroecosistema cafetalero. *Biotica*. 4(3): 109-126.
- Jiménez, E y García, D. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological wastes* 27: 115-142.
- Kass, D.; Barrantes, A.; Bermudez, A. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones en la montaña. Turrialba. Costa Rica, Boletín informativo sobre recursos naturales. No. 19:5-24.

- Kass, D; Nuñez, J. eds. 1996. Fertilidad de suelos. San José, Costa Rica, UNED. 109p.
- Kimemia, J; Njoroge, J. 1988. Effects of shade on coffee. *Kenya Coffee* 53: 387-391.
- Kolmans, E. ; Vasquez, D. 1996. Manual de agricultura ecológica. Managua, Nicaragua. Edit. Maela and Simas. 222p.
- Kumar, D y Tieszen, L. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. Effects of light and temperature. *Experimental agriculture* 16:13-19.
- López, A. 1989. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de la agricultura. In Simposio Nacional sobre Tecnología Apropiada y Agricultura Biológica (1,1989, Turrialba, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. p 34-39.
- López, H; Aguila, R; Martínez, M; Avila, J. 1992. Uso de higuera (*Ricinus communis* L) como sombra para viveros de café. In simposio de Caficultura Latinoamericana (15, 1992, Xalapa, Veracruz, México). 2v (Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos A1/HN No. 95-003).
- Lutzeyer, J; Pulschen, L; Compant, W; Scholten, S. 1994. Informes técnicos del Ministerio Federal de Cooperación Económica y desarrollo de Alemania: Avances en el control de plagas y enfermedades en cultivos perennes tomando como referencia el café. Bonn. Alemania. 151 p.
- Marban, N.1996. Opciones para el manejo de nemátodos en el café. Manejo integrado de plagas 42:45-48.

- Martínez, C. 1996. Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo. México. 140p.
- Mendoza, A. 1997. Evaluación de la calidad de abonos fermentados tipo Bocashi. Tesis Ing. Agr. Guácimo, Costa Rica, EARTH. 31 p.
- Mendoza, A; y López, E. 1999. Manual de caficultura orgánica. Guatemala, Anacafé. 157p.
- Mestre, M. 1977. Evaluación de la pulpa de café como abono orgánico para almácigos. CENICAFE 28: 18-26.
- Miranda, A. 1988. Suelo de la zona cafetalera de la provincia de Chiriquí de Veraguas. Caracterización edafoclimática del cultivo del café. In IICA Curso regional sobre nutrición mineral del café. 7-18 noviembre. San José. Costa Rica. P 183-198.
- Montero, M. 1992. Elaboración de bioabono a partir de pulpa de café. In Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (15, 1992, Xalapa, Veracruz, México). Memoria. Tegucigalpa, Honduras, IICA. 10p. (Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos A1/HN No. 95-003).
- Morales, D; Sam, O; Dell' Amico, J. 1985. Crecimiento de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L) variedad caturra, al sol y bajo sombra controlada. Cultivos Tropicales. 7(1): 3-12.
- Muschler, R. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. In Simposio Latinoamericano de Caficultura (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica, IICA. P 471-475.

(Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos A1/sc N0. 97-05).

Muschler, R. 1999. Arboles en cafetales. Módulo de enseñanza agroforestal No. 5. Turrialba, Costa Rica. CATIE/GTZ.

Nijhawan, S. C.; Kanwar, J. S. 1952. Physico-chemical properties of earthworm castings and their effect on the productivity of soil. *Indian Journal Agricultura Science* 22: 357-373.

Obando, J. 1997. Estudio de la fertilización química y orgánica en café. *In* ICAFE, Costa Rica. Informe Anual de labores 1997. San José, Costa Rica. p 77-81.

Palm, C; Sánchez, P. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. 2 ed. San Diego, California, Academic Press. 340p.

Prichett, W. 1986. Suelos Forestales, propiedad, conservación y mejoramiento. México. D.F.Ed. Limusa.. 634 p.

Quinlan, M. 1984. Mulches from two tropical tree species *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook and *Gmelina arborea* Rox. as nitrogen sources in the production of maíz (*Zea mays*) Tesis Mag. Sc, Turrialba, Costa Rica, UCR/ CATIE. 74 p.

Ramírez, J. 1994. Fertilización a plena exposición solar y bajo sombra regulada. *In* ICAFE, Costa Rica. Informe Anual de labores 1994, San José, Costa Rica. p 71-75.

- Reddy, M. V. 1988. The effect of cast of *Pheretima alexandri* on the growtyh of *Vinca rosea* and *Oriza sativa*. In: C.A. Edwards y E. F. Neuhauser (Eds.) Eartworms in waste and environmental management. The Hague, SPC Academic Publishing. p 339-348.
- Restrepo, J. 1996. Abonos orgánicos fermentados, experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. San José, Costa Rica. 51p.
- Rivas, G. 1997. Micorrizas. Hoja técnica MIP-CATIE No. 20: 1-4.
- Rivas, G; Cuervo, J. 1998. Interacción de hongos endomicorrízicos con *Meloidogyne exigua* en café. Manejo Integrado de Plagas 49:68-72.
- Sampat, A. 1972. Física de suelos. México, D.F. LIMUSA-WILEY S.A. 107 p.
- Sasaki, S. 1994. Manual del curso básico de agricultura orgánica. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. p. 4-21.
- Sieverding, E; Sánchez, M; Bravo, N. 1989. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesiculo arbuscular. In Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. p 1-13.
- Snoeck, J. 1984. Caféier. In Martin-Prevél P, Gagnard J, Gautier P (eds) L'analyse végétale dans le controle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Lavosier, Paris. 90p.
- Taylor, A y Sasser, J. 1983. Biología, identificación y control de los nemátodos de nódulos de la raíz. Carolina del Norte, U.S.A. 111p.
- Tineo, A. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas. Turrialba, Costa Rica, CATIE/RENARM/Manejo de Cuencas. 32p.

- Uribe, H; Salazar, A. 1983. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. CENICAFE 34: 44-58.
- Vaast, P. 1996. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica L.*) plants. *Mycorrhiza* 6:493-497.
- Vargas, R; Laprade, S y Barquero, M. 1996. Consideraciones básicas sobre la biotransformación (Composteo) de residuos orgánicos. *Corbana* 21:163-171.
- Vandevivere, P; Ramírez, C. 1995. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. *In* Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica. (1995, San José, Costa Rica). Memoria. Comps. J. E. García y J. H. Nájera. San José, Costa Rica, EUNED. P 121-140.
- Vilas, O. 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 152 p.

8. ANEXOS

Cuadro 1a. Crecimiento de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad creciendo en 18 diferentes sustratos y bajo 50% de sombra.

Tratamientos	Altura (cm)	Vigor	Número de nudos
Bocashi original 25:75	24.1 bcde	3.76 bc	16.8 ab
Bocashi original 25:75 + elementos menores	27.6 a	4.27 ab	17.6 a
Bocashi original 25:75 + micorriza	24.8 bcd	3.78 bc	14.9 cde
Bocashi cascarilla café 25:75	25.0 bc	3.84 abc	15.3 bcd
Bocashi cascarilla café 50:50	25.4 abc	3.79 bc	14.0 defg
Bocashi cascarilla café 75:25	20.0 g	3.07 d	14.7 cdef
Bocashi alimento de ganado 25:75	22.2 efg	3.85 abc	12.9 fgh
Lombricompost 25:75	23.7 cdef	4.11 abc	13.2 efgh
Pulpa de café 25:75	26.3 ab	4.32 a	15.8 abcd
Gallinaza 25:75	24.3 bcde	3.82 abc	17.1 ab
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	13.3 h	2.42 e	12.5 ghi
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	15.3 h	2.68 de	12.1 ghi
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	13.7 h	2.52 e	10.1 j
Hojarasca de poró + micorriza	13.7 h	1.87 f	10.8 ij
Suelo (testigo)	21.4 fg	3.84 abc	13.3 efg
Suelo + micorriza	20.8 g	3.62 c	11.3 hij
Suelo + fertilización química	22.3 defg	3.69 c	14.4 defg
Manejo convencional	25.0 bcd	3.88 abc	16.2 abc

Cuadro 2a. Crecimiento de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en 16 diferentes sustratos y a plena exposición solar.

Tratamientos	Altura (cm)	Vigor	Número de nudos
Bocashi original 25:75	18.3 b	2.89 bcd	13.2 bc
Bocashi original 25:75 + elementos menores	21.1 a	3.65 a	13.3 b
Bocashi original 25:75 + micorriza	17.1 bcd	2.59 cde	11.5 bcde
Bocashi cascarilla café 25:75	15.7 cdef	2.29 ef	11.4 cde
Bocashi cascarilla café 50:50	14.1 efg	2.11 efg	11.6 bcde
Bocashi alimento de ganado 25:75	14.2 efg	2.39 def	11.9 bcd
Lombricompost 25:75	17.2 bcd	3.04 bc	12.4 bc
Pulpa de café 25:75	15.4 def	2.58 cde	12.0 bcd
Gallinaza 25:75	19.1 ab	3.05 bc	12.6 bc
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	12.1 gh	2.03 fg	11.8 bcd
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	13.5 fgh	2.35 ef	11.5 bcde
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	11.0 h	1.97 fg	9.6 e
Hojarasca de poró + micorriza	13.9 fg	1.71 g	10.4 de
Suelo (testigo)	18.0 bc	3.35 ab	12.1 bcd
Suelo + micorriza	16.7 bcde	2.96 bc	10.5 de
Manejo convencional	20.8 a	3.65 a	17.2 a

Cuadro 3a. Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en 18 diferentes tratamientos y bajo 50% de sombra.

TRATAMIENTOS	PESO SECO HOJA	PESO SECO TALLO	PESO SECO RAIZ	PESO SECO TOTAL
Bocashi original 25:75	4.4 bc	3.7 ab	4.4 abc	12.6 a
Bocashi original 25:75 + elementos menores	4.6 bc	4.0 a	4.9 a	13.5 a
Bocashi original 25:75 + micorriza	4.9 bc	3.2 abcd	4.5 abc	12.6 a
Bocashi cascarilla café 25:75	4.6 bc	3.7 ab	4.7 ab	13.0 a
Bocashi cascarilla café 50:50	5.3 bc	3.4 abc	4.5 abc	13.2 a
Bocashi cascarilla café 75:25	4.9 bc	2.6 cde	3.9 abcd	11.5 abc
Bocashi alimento de ganado 25:75	3.0 de	2.6 def	3.8 abcde	9.4 bcde
Lombricompost 25:75	4.1 cd	2.1 ef	2.5 ef	8.7 cde
Pulpa de café 25:75	5.5 b	2.7 cde	3.5 bcde	11.7 ab
Gallinaza 25:75	5.0 bc	3.2 bcd	3.5 bcde	11.7 ab
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	0.6 g	0.6 g	1.0 g	2.3 f
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	1.1 fg	0.8 g	1.4 fg	3.34 f
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	0.9 fg	0.8 g	1.3 fg	3.1 f
Hojarasca de poró + micorriza	0.9 g	0.8 g	1.3 fg	2.9 f
Suelo (testigo)	2.2 ef	1.7 f	2.7 def	6.7 e
Suelo + micorriza	2.4 e	1.9 ef	3.3 cde	7.7 de
Suelo + fertilización química	2.8 de	2.6 cdef	4.6 ab	9.9 abcd
Manejo convencional	6.9 a	3.2 bcd	3.7 bcde	13.8 a

Cuadro 4a. Peso seco de plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero, a los seis meses de edad, creciendo en 16 diferentes sustratos y a plena exposición solar.

TRATAMIENTOS	PESO SECO HOJA	PESO SECO TALLO	PESO SECO RAIZ	PESO SECO TOTAL
Bocashi original 25:75	2.9 ab	1.8 ab	3.1 a	7.8 abc
Bocashi original 25:75 + elementos menores	3.6 a	2.1 a	3.1 a	8.8 ab
Bocashi original 25:75 + micorriza	2.8 ab	1.5 abc	2.8 ab	7.1 abc
Bocashi cascarilla café 25:75	3.0 ab	1.2 bcde	2.0 abcd	6.3 abcd
Bocashi cascarilla café 50:50	1.0 cde	0.6 de	0.9 cd	2.6 ef
Bocashi alimento de ganado 25:75	1.9 bcd	0.7 cde	1.3 cd	3.9 def
Lombricompost 25:75	3.0 ab	1.7 ab	2.4 abc	7.1 abc
Pulpa de café 25:75	2.9 ab	1.2 bcde	1.6 bcd	5.8 cde
Gallinaza 25:75	4.0 a	2.0 ab	3.0 a	8.9 a
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	0.7 e	0.5 e	0.8 d	2.0 f
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	0.8 de	0.7 de	1.2 cd	2.7 f
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	0.7 e	0.6 de	1.3 cd	2.7 f
Hojarasca de poró + micorriza	0.9 cde	0.7 cde	1.4 cd	3.2 ef
Suelo (testigo)	1.9 bcd	1.3 abcd	2.8 ab	5.9 bcde
Suelo + micorriza	2.2 bc	1.2 bcde	2.5 abc	5.8 cde
Manejo convencional	3.9 a	2.0 a	1.9 abcd	7.9 abc

Cuadro 5a. Defoliación e incidencia de chasparria en plantas de café variedad Caturra en la etapa de vivero a los seis meses de edad, creciendo en 16 diferentes sustratos.

Tratamientos	Defoliación (%)	Incidencia chasparria (%)
Bocashi original 25:75	45.8 bcdef	34.8 abc
Bocashi original 25:75 + elementos menores	39.7 def	33.6 abc
Bocashi original 25:75 + micorriza	38.5 ef	39.4 abc
Bocashi cascarilla café 25:75	37.9 ef	46.1 ab
Bocashi cascarilla café 50:50	41.7 def	34.5 abc
Bocashi cascarilla café 75:25	43.6 cdef	28.7 bc
Bocashi alimento de ganado 25:75	49.8 abcde	34.3 abc
Lombricompost 25:75	44.3 bcdef	29.4 bc
Pulpa de café 25:75	38.7 def	31.3 abc
Gallinaza 25:75	40.2 def	27.3 bc
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	64.1 a	41.6 abc
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	61.6 ab	47.6 ab
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	59.2 abc	47.6 ab
Hojarasca de poró + micorriza	61.3 ab	44.0 abc
Suelo (testigo)	56.2 abcd	45.3 abc
Suelo + micorriza	53.7 abcde	51.9 a
Suelo + fertilización química	45.9 bcdef	37.8 abc
Manejo convencional	31.3 f	24.5 c

Cuadro 6a. Crecimiento y producción de materia seca de plantas de café variedad caturra bajo sombra del 50% y a plena exposición solar, a los seis meses de edad, creciendo en diferentes sustratos.

Tratamiento	Altura (cm)		Vigor		No. de Nudos		Peso seco hoja		Peso seco tallo		Peso seco raíz		Peso seco total	
	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.
Bocashi original 25:75	18.3 a	24.1 b	2.89 a	3.76 b	13.2 a	16.8 b	2.9 a	4.4 b	1.8 a	3.6 b	3.1 a	4.4 a	7.8 a	12.5 b
Bocashi original 25:75 + elementos menores	21.1 a	27.6 b	3.65 a	4.27 b	13.3 a	17.6 b	3.6 a	4.6 a	2.1 a	3.9 b	3.1 a	4.9 b	8.8 a	13.5 b
Bocashi original 25:75 + micorriza	17.1 a	24.8 b	2.59 a	3.78 b	11.5 a	14.9 b	2.8 a	4.9 b	1.5 a	3.2 b	2.9 a	4.5 b	7.1 a	12.6 b
Bocashi cascarrilla café 25:75	15.7 a	25.0 b	2.29 a	3.84 b	11.4 a	15.3 b	2.9 a	4.6 b	1.2 a	3.7 b	2.0 a	4.7 b	6.3 a	13.0 b
Bocashi cascarrilla café 50:50	14.1 a	25.4 b	2.11 a	3.79 b	11.6 a	14.0 b	1.2 a	5.3 b	0.6 a	3.4 b	0.9 a	4.5 b	2.8 a	13.2 b
Bocashi alimento de ganado 25:75	14.2 a	22.2 b	2.39 a	3.86 b	11.9 a	12.9 a	1.9 a	3.0 a	0.7 a	2.5 b	1.3 a	3.8 b	3.9 a	9.4 b
Lombricompost 25:75	17.2 a	23.7 b	3.04 a	4.11 b	12.4 a	13.2 a	3.0 a	4.1 a	1.7 a	2.1 a	2.4 a	2.5 a	7.1 a	8.7 a
Pulpa de café 25:75	15.4 a	26.3 b	2.58 a	4.32 b	12.0 a	15.8 b	2.9 a	5.5 b	1.3 a	2.6 b	1.6 a	3.5 b	5.8 a	11.6 b
Guafinaza 25:75	19.1 a	24.3 b	3.05 a	3.82 b	12.6 a	17.1 b	4.0 a	5.0 a	1.9 a	3.2 b	3.0 a	3.4 a	9.1 a	11.7 a
Hojarasca de poró 200 kg N/ha	12.1 a	13.3 a	2.03 a	2.42 a	11.8 a	12.5 a	0.7 a	0.6 a	0.5 a	0.6 a	0.8 a	1.0 a	2.0 a	2.3 a
Hojarasca de poró 400 kg N/ha	13.5 a	15.3 a	2.35 a	2.68 a	11.5 a	12.1 a	0.8 a	1.0 a	0.7 a	0.8 a	1.2 a	1.3 a	2.7 a	3.2 a
Hojarasca de poró 600 kg N/ha	11.0 a	13.7 b	1.97 a	2.52 b	9.6 a	10.1 a	0.5 a	0.9 a	0.5 a	0.8 a	1.1 a	1.3 a	2.2 a	3.1 a
Hojarasca de poró + micorriza	13.9 a	13.7 a	1.71 a	1.87 a	10.4 a	10.8 a	0.9 a	0.8 a	0.8 a	0.7 a	1.4 a	1.3 a	3.1 a	2.9 a
Suelo (testigo)	18.0 a	21.4 b	3.35 a	3.84 a	12.1 a	13.3 a	1.9 a	2.2 a	1.4 a	1.7 a	2.8 a	2.8 a	6.0 a	6.8 a
Suelo + micorriza	16.7 a	20.8 b	2.96 a	3.62 b	10.5 a	11.3 a	2.2 a	2.4 a	1.2 a	1.9 a	2.5 a	3.3 a	5.9 a	7.7 a
Manejo convencional	20.8 a	25.0 b	3.65 a	3.88 a	17.2 a	16.2 a	3.9 a	6.9 b	2.0 a	3.1 b	1.9 a	3.4 b	7.9 a	13.5 b

Cuadro 7a. Análisis foliar de plantas de café a los seis meses de edad.

Tratamiento	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Zn	Mn	B*
	(en %)					(en mg/kg)			
Nivel crítico	< 0.8	< 0.1	< 1.5	< 0.08	< 2	< 4.0	< 10	< 25	< 40
Sombra									
Bocashi original 25:75	1.14	0.31	2.71	0.32	2.32	19.3	9.7	52	58
Bocashi original 25:75 + Micorriza	1.10	0.29	2.67	0.28	2.29	11.2	9.4	44	51
Bocashi original 25: 75 + E. menores	1.05	0.28	2.51	0.26	2.45	14.3	19.6	39	48
Bocashi cascarilla café 25:75	1.08	0.29	2.69	0.31	2.16	16.0	10.0	39	54
Bocashi alimento ganado 25:75	1.23	0.24	2.75	0.28	2.44	15.5	10.8	41	60
Lombricompost 25:75	1.15	0.27	3.01	0.25	2.78	14.4	10.3	41	43
Pulpa de café 25:75	0.98	0.19	2.85	0.28	2.33	15.0	9.8	47	52
Gallinaza	1.05	0.26	2.82	0.22	2.69	8.5	9.6	33	44
Poró 200kg N/ha	1.11	0.24	2.90	0.30	2.50	23.3	10.1	49	65
Poró 400 kg N/ha	0.83	0.20	3.12	0.32	2.29	27.3	9.8	49	53
Poró 600 kg N/ha	1.12	0.20	2.71	0.33	2.52	23.0	11.8	63	
Poró 400 kg N/ha + Micorriza	1.09	0.20	3.06	0.40	2.48	28.6	11.7	71	82
Manejo convencional	1.04	0.25	3.14	0.23	3.75	4.8	11.6	248	39
Suelo + Micorriza	1.04	0.25	2.63	0.36	2.49	21.3	9.6	54	76
Suelo (Testigo absoluto)	0.99	0.26	3.03	0.30	2.83	21.6	12.2	70	52
Sol									
Bocashi original 25:75	1.03	0.30	3.30	0.26	3.08	8.9	9.3	51	62
Bocashi original 25:75 + Micorriza	1.19	0.31	3.25	0.26	2.90	8.3	9.2	66	64
Bocashi original 25: 75 + E. menores	1.12	0.30	2.85	0.24	2.84	8.3	19.3	68	52
Bocashi cascarilla café 25:75	1.10	0.29	2.66	0.27	2.81	9.8	9.6	62	65
Bocashi alimento ganado 25:75	1.06	0.24	2.96	0.28	3.12	13.1	9.7	51	64
Lombricompost 25:75	0.96	0.26	3.15	0.27	3.01	14.3	9.7	59	56
Pulpa de café 25:75	0.96	0.22	3.13	0.30	3.09	16.0	9.6	50	54
Gallinaza	1.14	0.29	2.79	0.24	3.06	5.8	9.7	49	53
Poró 200kg N/ha	1.11	0.27	2.69	0.28	2.62	13.8	11.7	83	84
Poró 400 kg N/ha	1.03	0.27	2.97	0.32	2.71	22.0	10.0	74	65
Poró 600 kg N/ha	1.15	0.27	2.64	0.26	2.71	12.0	13.9	82	
Poró 400 kg N/ha + Micorriza	1.12	0.28	2.73	0.29	2.54	15.4	9.7	93	73
Suelo + Micorriza	1.24	0.32	2.45	0.30	2.57	13.2	9.7	95	71
Manejo convencional	1.35	0.30	2.46	0.21	4.38	3.4	10.9	518	26
Suelo (Testigo absoluto)	1.06	0.29	2.65	0.29	2.98	14.3	11.0	82	67

Cuadro 8a. Valores críticos para interpretar análisis foliares de café.

Elemento	% materia seca	Elemento	ppm materia seca
N		S	
Alto	>2.8	Medio	100
Medio	2.3-2.8	Deficiente	70
Bajo			
Deficiente	<2.0	Fe	
		Medio	100
		Deficiente	70
P			
Alto	0.20	Mn	
Medio	0.15-0.20	Medio	50-150
Bajo	0.12	Deficiente	10-25
Deficiente	0.08		
		B	
K		Medio	60-100
Alto	2.70	Deficiente	<40.0
Medio	2.0-2.50		
Bajo	1.50-2.0	Zn	
Deficiente	<1.50	Medio	>10.0
		Deficiente	7.0-10.0
Ca			
Alto		Mo	
Medio	1.0-1.5	Medio	0.1-0.2
Bajo			
Deficiente	0.5-0.8	Mg	
		Alto	>0.35
		Medio	0.20-0.30
		Bajo	0.10-0.15
		Deficiente	<0.10
		Cu	
		Medio	11.0-22.0
		Deficiente	<4.0

Anexo 9. Tablas de análisis de varianza para las variables altura, vigor, número de nudos, peso seco total, porcentaje de defoliación e incidencia de chasparria.

Tabla de ANDEVA para la variable altura; $r^2 = 0.91$ y C.V. = 9.38%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	6.43	0.1619
Iluminación	1	979.90	0.0002
Error A	3	1.81	0.6403
Tratamiento	17	95.44	0.0001
Trat * iluminación	15	22.02	0.0001
Error B	94	3.19	
Total	133		

Tabla de ANDEVA para la variable vigor; $r^2 = 0.86$ y C.V. = 11.97%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	0.42	0.2094
Iluminación	1	23.19	0.0011
Error A	3	0.15	0.3665
Tratamiento	17	2.66	0.0001
Trat * iluminación	15	0.54	0.0001
Error B	94	0.14	
Total	133		

Tabla de ANDEVA para la variable número de nudos; $r^2 = 0.80$ y C.V. = 10.34%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	15.59	0.0396
Iluminación	1	130.35	0.0024
Error A	3	1.41	0.5155
Tratamiento	17	24.07	0.0001
Trat * iluminación	15	6.02	0.0002
Error B	94	1.84	
Total	133		

Tabla de ANDEVA para la variable peso seco total; $r^2 = 0.83$ y C.V. = 26.85%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	28.99	0.0638
Iluminación	1	422.42	0.0018
Error A	3	3.76	0.4512
Tratamiento	17	66.38	0.0001
Trat * iluminación	15	14.97	0.0001
Error B	88	4.24	
Total	127		

Tabla de ANDEVA para la variable porcentaje de defoliación; $r^2 = 0.69$ y C.V.=18.96%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	838.33	0.2021
Iluminación	1	9.87	0.8650
Error A	3	288.39	0.0178
Tratamiento	17	762.32	0.0001
Trat * iluminación	15	59.26	0.7525
Error B	94	81.61	
Total	133		

Tabla de ANDEVA para la variable incidencia de chasparria; $r^2 = 0.54$ y C.V.=28.79%

Fuente de Variación	GL	CME	Pr > F
Bloque	3	30.74	0.6372
Iluminación	1	3225.94	0.0038
Error A	3	47.80	0.7547
Tratamiento	17	481.30	0.0001
Trat * iluminación	15	114.41	0.5106
Error B	94	120.10	
Total	133		