

Thesis  
0348us  
c.2

**INSTITUTO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

**USO DE ABONOS ORGANICOS Y SOMBRA PARA ALMACIGOS  
DE CAFE ORGANICO**

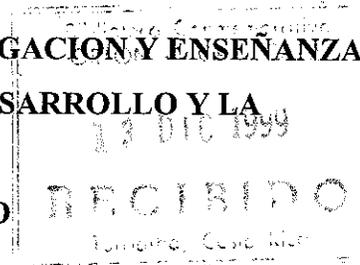
**POR**

**JORGE ULISES CASTELLON BENAVIDES**

**CATIE**

Turrialba, Costa Rica  
1999

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



**USO DE ABONOS ORGÁNICOS Y SOMBRA PARA ALMACIGOS DE CAFÉ**  
**ORGÁNICO**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado, 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

**Jorge Ulises Castellón Benavides**

**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:

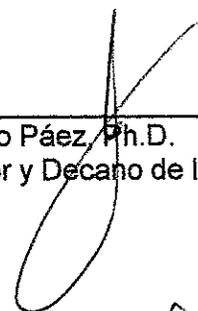
**MAGISTER SCIENTIAE**

**FIRMANTES:**

  
Reinhold Múschler, Ph.D.  
Consejero Principal

  
Francisco Jiménez, Ph.D.  
Miembro Comité Consejero

  
Phillippe Vaast, Ph.D.  
Miembro Comité Consejero

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

  
Jorge Ulises Castetellón Benavides  
Candidato

## DEDICATORIA

*Dedicada a mis padres Encarnación y Sagrario, a mis hermanos Esperanza, Edgar, Jeamilette y Jeanette. A todos ellos por su apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

Primeramente a Dios que sin su ayuda no hubiese sido posible lograr esta meta.

A la Organización de Estados Americanos (OEA) por el apoyo económico brindado.

A todos las personas que participaron de una u otra forma en la realización del presente estudio. Especialmente a Francisco Jiménez, Philippe Vastt y Galileo Rivas por el apoyo científico brindado.

A todo el personal de la Biblioteca de CATIE por su generosidad y abnegación.

Al señor Ernest Carman, por haberme permitido realizar parte de mi trabajo en su finca.

De una forma particular, MUCHAS GRACIAS a Reinhold Muschler, mi consejero y amigo, por sus oportunos consejos y aportes científicos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> -----	<b>1</b>
1.1. <i>Objetivos</i> -----	3
1.2. <i>Hipotesis</i> -----	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> -----	<b>4</b>
2.1. <i>Agricultura Ecológica</i> -----	4
2.2. <i>Pulpa de café como sustrato</i> -----	4
2.3. <i>Lombricultura</i> -----	5
2.3.1. <i>Especies utilizadas</i> -----	6
2.3.2. <i>Sustratos</i> -----	6
2.3.3. <i>Lombricompostaje</i> -----	7
2.3.4. <i>Características del lombricompost</i> -----	8
2.4. <i>Micorrizas</i> -----	8
2.5. <i>Bocashi</i> -----	9
2.6. <i>Abonos verdes</i> -----	9
2.7. <i>Liberación de nutrientes de residuos orgánicos</i> -----	10
2.8. <i>Influencia de la sombra en viveros de café</i> -----	11
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> -----	<b>13</b>
3.1. <i>Localización</i> -----	13
3.2. <i>Materiales experimentales</i> -----	13
3.3. <i>Diseño experimental y tratamientos</i> -----	15
3.3.1. <i>Experimento 1</i> -----	15
3.3.2. <i>Experimento 2</i> -----	16
3.3.3. <i>Modelo estadístico</i> -----	17
3.4. <i>Manejo experimental</i> -----	18
3.5. <i>Variables evaluadas</i> -----	18
3.6. <i>Análisis estadístico</i> -----	20

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>21</b>
4.1 <i>Efecto de sustrato sobre el crecimiento, nutrición e incidencia de plagas</i>	21
4.1.1. <i>Sobrevivencia de plántulas</i>	21
4.1.2. <i>Altura de plántulas</i>	22
4.1.3. <i>Número de nudos</i>	24
4.1.4. <i>Defoliación e incidencia de Cercospora coffeicola</i>	24
4.1.5. <i>Materia seca</i>	27
4.1.6. <i>Vigor</i>	29
4.1.7. <i>Índice de agallamiento</i>	30
4.1.8. <i>Nutrición</i>	30
4.1.9. <i>Síntesis de resultados</i>	35
4.2. <i>Efecto de Altitud sobre Crecimiento, Nutrición e Incidencia de Plagas</i>	38
4.2.1. <i>Altura</i>	38
4.2.2. <i>Número de nudos</i>	39
4.2.3. <i>Defoliación e incidencia de Cercospora coffeicola</i>	40
4.2.3.1. <i>Defoliación</i>	40
4.2.3.2. <i>Incidencia de Cercospora coffeicola</i>	41
4.2.4. <i>Materia seca</i>	42
4.2.5. <i>Vigor</i>	43
4.2.6. <i>Índice de agallamiento</i>	44
4.2.7. <i>Nutrición</i>	44
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>46</b>
5.1. <i>Experimento 1</i>	46
5.2. <i>Experimento 2</i>	47
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>49</b>
<b>VII. ANEXOS</b>	<b>58</b>

Palabras claves: abonos orgánicos, almácigo, *Cercospora coffeicola*, *Coffea arabica*, composición, compost, elevación, *Erythrina poeppigiana*, micorrizas, lombrices, lombricompost, pulpa, sombra.

## RESUMEN

El estudio consistió de dos experimentos para evaluar el efecto de abonos orgánicos en un almácigo orgánico de *Coffea arabica* L. en función del procesamiento, la composición y cantidad utilizada de sustrato bajo dos niveles de sombra y dos elevaciones. En el primero, se evaluaron dos niveles de iluminación (0 % y 50%) y 20 sustratos. Los sustratos consistieron en la aplicación de pulpa de café procesado con y sin lombrices ("lombricompost LC" y "pulpa descompuesta"), en proporciones (%Vol/Vol) de abono/suelo: 25:75, 50:50 y 75:25. En otros tratamientos, en la proporción 25:75, se adicionaron elementos deficientes en el suelo (Ca, Mg, Zn) y micorrizas (*Entrophospora colombiana*). También se evaluaron, abono bocashi en (proporción 25:75) y la hojarasca de *Erythrina poeppigiana* a tres niveles equivalentes a 200, 400 y 600 kg N/ha incorporado como abono verde. Los testigos fueron la fertilización química con y sin fungicidas un testigo absoluto solo suelo. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas, con la iluminación como parcela grande y los tratamientos (sustratos) en las subparcelas.

Los efectos de los factores sombra y sustratos, así como su interacción presentaron diferencias altamente significativas para las variables sobrevivencia a los dos meses después del trasplante (2 mdt), altura y materia seca a los 6 mdt. Para las variables defoliación, incidencia de *C. coffeicola* y vigor solo la interacción fue significativa. La sombra incrementó la sobrevivencia, altura, materia seca y vigor, pero no afectó la incidencia de *Cercospora coffeicola* y la defoliación. El índice de agallamiento producido por nematodos fue bajo en todos los tratamientos. Las concentraciones foliares de macronutrientes presentadas por los sustratos pulpa y LC en proporción 25:75 fueron óptimas y equilibradas. De los 20 sustratos evaluados, los mayores valores de sobrevivencia, altura, materia seca y vigor fueron obtenidos en LC 25%, LC 25% + Mic, LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Ca y Mg, Pulpa 25% + Zn, Bocashi 25% y Fertilización química con y sin fungicidas. Estos tratamientos también presentaron los más bajos porcentajes de Incidencia de *C. coffeicola* y defoliación. La alta correlación entre el índice de vigor y altura, defoliación, incidencia de *C. coffeicola* y materia seca sustentan que la medición del vigor es una forma fácil y no destructiva de evaluar el crecimiento de las plántulas de café.

En el segundo experimento se evaluó el efecto de nueve sustratos, otra vez bajo 0 y 50% de sombra, a dos elevaciones (602 y 1325 msnm). En cada sitio, los tratamientos fueron: LC, pulpa y bocashi en proporción 25:75, suelo + micorrizas, los tres niveles de *Erythrina poeppigiana*, fertilización con fungicidas y testigo absoluto. A los seis mdt, las plántulas a 602 msnm presentaron los mayores valores de altura y materia seca, pero también de defoliación e incidencia de *C. coffeicola*. En ambos sitios, el crecimiento de las plántulas fue superior bajo sombra. En ambas elevaciones, los mejores tratamientos fueron LC 25%, Pulpa 25%, Bocashi 25% y fertilización más fungicidas. En contraste, los tratamientos de abono verde de *E. Poeppigiana*, Suelo + micorrizas y Testigo absoluto presentaron los menores valores de materia seca y vigor, y al mismo tiempo la mayor defoliación e incidencia de *Cercospora coffeicola*.

Ambos experimentos demostraron que el uso de sombra y la pulpa de café (procesada con o sin lombrices) en la proporción 25:75 favoreció el crecimiento de plántulas de café sanas y vigorosas. La alta elevación disminuyó el crecimiento de las plántulas, pero también disminuyó la incidencia de *C. coffeicola* y la defoliación. El estudio demostró que los abonos orgánicos pueden favorecer el crecimiento de plántulas de café igual ó mejor que la fertilización química y convencional.

Castellón, J. U. 1999. The use of organic fertilizers and shade for organic coffee nurseries.

Key words: *Cercospora coffeicola*, *Coffea arabica*, compost, earthworm, elevation, *Erythrina poeppigiana*, fertilizer, mycorrhizae, organic nursery, pulp, shade, vermicompost.

## SUMMARY

The study consisted of two experiments to evaluate the development of seedlings of *Coffea arabica* L. as a function of preparation and composition of organic substrates under two levels of shade and at two elevations. The first experiment evaluated plant performance under two degrees of shade (0% and 50%) and for 20 planting substrates. The substrates consisted of decomposed coffee pulp, processed with and without earthworms ("pulp" and "vermicompost VC"), in ratios (% vol/vol) of fertilizer/soil: 25:75, 50:50 and 75:25. In further treatments with the ratio 25:75, deficient elements (Ca, Mg, Zn) and mycorrhizae (*Entrophospora colombiana*) were added to the substrates. Also, Bocashi fertilizer (proportion 25:75) and *Erythrina poeppigiana* foliage as green manure at three levels corresponding to 200, 400 and 600 kg N/ha were evaluated. The controls were chemical fertilization with and without fungicides, and an absolute control of soil only. The experiment was established in a randomized complete block design in split plots, with shade level as main plot and substrates as subplots.

Both factors, shade and substrates, and their interactions, were highly significant for the variables survival at two months after transplanting (2mat), and height and dry matter at 6mat. For the variables defoliation, incidence of *Cercospora coffeicola* and plant vigor, only the interaction shade x substrate was significant. Shade increased survival, height, dry matter and vigor, but did not affect defoliation or incidence of *C. coffeicola*. Root knotting by nematodes was low in all treatments. The foliar concentrations of macronutrients were in their optimum range for the pulp and VC treatments in the ratio 25:75. Of the 20 substrates evaluated, the largest values for survival, height, dry matter and vigor were obtained for VC 25%, VC 25% + Mic, VC 25% + Ca and Mg, VC 25% + Zn, Pulp 25% + Ca y Mg, Pulp 25% + Zn, Bocashi 25%, and chemical fertilization with or without fungicides. These treatments also presented the lowest percentages of incidence of *C. coffeicola* and defoliation. The high correlations between the index of vigor and height, defoliation, incidence of *C. coffeicola*, and dry matter support the measurement of vigor as an easy non-destructive way to evaluate the growth of coffee seedlings.

The second experiment evaluated the effect of nine substrates, again under 0 and 50% shade, at two elevations (600 and 1325 masl). At each site, the treatments were: VC, pulp, and bocashi in the ratios 25:75, soil + micorrizae, the three levels of *E. poeppigiana*, fertilization with fungicides and soil only. At 6 mat, the plants at 600 masl had the greatest values for height and dry matter, but also for defoliation and incidence of *C. coffeicola*. At both elevations, the seedlings were tallest under shade. For both elevations, the best treatments included VC 25%, Pulp 25%, Bocashi 25% and fertilization plus fungicides. In contrast, the treatments green manure of *E. poeppigiana*, soil + micorrizas and the soil only presented the lowest values of dry matter and vigor, accompanied by the highest incidence of *C. coffeicola* and defoliation.

Both experiments demonstrated that the use of shade and coffee pulp (processed with or without earthworms) in the ratio 25:75 favored the growth of healthy and strong coffee seedlings. Elevation decreased the growth of the seedlings, but also the incidence of *C.*

*coffeicola* and defoliation. The study showed that organic fertilizers can match the effects of chemical and conventional fertilization on coffee seedlings.

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>	<b>Pág</b>
1. Características químicas del suelo utilizado como sustrato -----	13
2. Análisis químico de abonos utilizados -----	14
3. Tratamientos experimentales en Diseño de Bloques Completos al Azar en Parcelas Divididas evaluados en el experimento 1 -----	16
4. Tratamientos experimentales en Diseño de Bloques Completos al Azar en Parcelas Divididas evaluados en el experimento 2 -----	17
5. Coeficientes de correlación correspondientes a la relación entre variables evaluadas en sombra y sol -----	35
6. Resumen de las variables evaluadas bajo sombra de 50% a los seis meses después del trasplante -----	36
7. Resumen de las variables evaluadas bajo sol a los seis meses después del trasplante--	37
8. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el contenido de macro y micronutrientes de plántulas de café a los seis meses después del trasplante -----	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Pág
1. Efecto de sombra y composición de sustratos sobre la sobrevivencia (%) de plántulas de café a los dos meses después del trasplante (2 mdt)-----	21
2. Efecto de sombra y sustratos sobre la altura de plántulas de café a los seis mdt -----	23
3. Efecto de sombra, sol y sustratos sobre el porcentaje de defoliación e incidencia de <i>Cercospora coffeicola</i> en plántulas de café a los seis mdt -----	26
4. Efecto de sombra, sol y sustratos sobre la materia seca de tallo, raíz y hoja de plántulas de café a los seis mdt -----	28
5. Efecto de los tratamientos en el contenido (%) foliar de macronutrientes en plántulas de café a los seis mdt -----	31
6. Efecto de los tratamientos en el contenido (mg/kg) foliar de micronutrientes en plántulas de café a los seis mdt -----	34
7. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la altura de plántulas de café a los seis mdt -----	38
8. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el número de nudos de plántulas de café a los seis mdt -----	39
9. Efecto de sitio, sombra y sustratos sobre la defoliación de plántulas de café a los seis mdt -----	40
10. Efecto de sitio, sombra y sustratos sobre la incidencia de <i>C. coffeicola</i> en plántulas de café a los seis mdt -----	41
11. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la materia seca de hoja, tallo y raíz de plántulas de café a los seis mdt -----	43
12. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el vigor de plántulas de café a los seis mdt -----	44

## I. INTRODUCCIÓN

El café es el cultivo más importante para la mayoría de los pequeños y medianos agricultores de América Central y uno de los productos agrícolas más importantes en América Latina y en el mercado internacional (Jiménez, 1997; Beer *et al.*, 1998; Fernández y Muschler, 1999).

La mayoría de los sistemas agrícolas actuales de producción de café requieren de muchos agroquímicos para mantener altos rendimientos; como alternativa a estos sistemas agrícolas surge la caficultura ecológica que busca la máxima producción ecológicamente sostenible en el tiempo, la cual prioriza el uso de insumos locales (Figuroa *et al.*, 1996). Dentro de este contexto, se hace necesario la búsqueda de alternativas más eficientes que las actuales para producir al menor costo posible. Tomando en cuenta el aumento considerable de los precios de los insumos, el uso de la materia orgánica como pulpa de café y otros abonos orgánicos para sustituir la fertilización química, son de interés al caficultor (Alfaro, 1997).

En los principales países productores de café como Brasil y Colombia, la "tecnificación" del cultivo de café, los desechos del mismo y particularmente la pulpa, han provocado una enorme contaminación de ríos y fuentes de agua (Valencia, 1993). En Costa Rica, la mayor parte de la pulpa de café es amontonada y/o distribuida en cafetales u otros campos de cultivo, ocasionando problemas de malos olores, proliferación de moscas y contaminación de aguas. Las cantidades grandes y su alto contenido de humedad hace difícil su transporte, manejo y distribución en el campo. La pulpa de café corresponde al 40% del peso fresco del fruto y se presta para obtener abono orgánico de excelente calidad (Montero, 1992).

Cada vez es mayor la importancia del uso de abonos orgánicos para la producción agrícola. En los principales países productores de café, por ejemplo en Brasil y Colombia, se evalúan intensamente diferentes fuentes de materia orgánica promisorios para almácigos y plantaciones de café (Campos, 1985).

Experiencias del Instituto Mexicano del Café indican que la pulpa de café transformada en abono representa una fuente importante de nutrientes para la etapa de vivero (López *et al.*, 1992). Sin embargo, experiencias aisladas de algunos cafetaleros indican que aplicar la pulpa fresca puede quemar los cafetos (Barrientos, 1991). En

condiciones apropiadas de humedad y ventilación, la pulpa se descompone por fermentación aeróbica y se transforma en un excelente abono orgánico para las plantas (Avendaño y Echeverri, 1989).

En las últimas tres décadas, el cultivo de la lombriz ha llegado a ser una actividad industrial ampliamente difundida en Japón, Canadá, Estados Unidos de América y en diversos países del mundo (Delgado *et al.*, 1995). La lombricultura ofrece grandes ventajas de operación y manejo para el procesamiento de la materia orgánica y resulta congruente con las tendencias actuales de la agricultura orgánica (Aranda, 1995).

Entre los factores más importantes para el desarrollo de plántulas de café en almácigos se destacan la altitud, temperatura, el fotoperíodo, la radiación solar (Arias, 1987), la nutrición, incidencia de plagas y la sombra (López *et al.*, 1972). La mayoría de los aspectos señalados están muy relacionados con la altitud donde se cultiva esta planta (Soto *et al.*, 1991). Muschler (1997) plantea que para el área centroamericana, las elevaciones ideales para el cafeto oscilan entre 900 y 1400 msnm.

Según Fernández y Muschler (1999) el uso de sombra es determinante en la producción del cafeto, ya que ésta, en función de la altitud, ejerce un efecto modificador del ambiente. De esta forma, la sombra reduce el estrés ambiental por altas temperaturas en altitudes inferiores a 900 msnm y por fuertes vientos y bajas temperaturas en altitudes superiores a 1400 msnm.

Diversos autores (López *et al.*, 1972; Girón, 1987; Ordoñez y Palma, 1993; Rodríguez, 1990, Hernández y Villalobos, 1997) plantean que el uso de almácigo de buena calidad es muy importante en la caficultura; se ha demostrado que el éxito en el establecimiento de la futura plantación depende en gran parte de la condición del almácigo utilizado.

Para encontrar soluciones viables a la problemática antes citada y contribuir a la investigación urgente en la Agricultura Orgánica, el presente trabajo consideró los siguientes objetivos.

### **1.1. Objetivos:**

Evaluar el efecto de abonos orgánicos en un almácigo orgánico de café en función de:

- Procesamiento, cantidad utilizada y composición de sustratos (pulpa de café procesada con y sin lombrices, bocashi, nutrientes agregados, micorrizas y hojarasca de poró).
- Nivel de sombra (0 y 50%).
- Altitud (602 y 1325 msnm).

### **1.2. Hipótesis**

- Los abonos orgánicos representan una opción viable para la producción de almácigos orgánicos de café y al uso de fertilizantes químicos.
- El procesamiento, la composición y cantidad de sustrato utilizado afectan significativamente el crecimiento y/o la sanidad de plántulas de café.
- El nivel de sombra afecta significativamente el crecimiento y la sanidad de las plántulas de café.
- La altitud influye notablemente en el crecimiento de las plántulas de café.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Agricultura ecológica**

En América Latina, algunos modelos tecnológicos-productivos han ocasionado problemas de degradación ambiental por contaminación con agroquímicos, degradación de los suelos, agotamiento y derroche de las aguas y reducción de la diversidad biológica y genética (Kolmans y Vásquez, 1996). La producción a gran escala es el principal responsable de este deterioro (GIDSARN, 1995). Para cambiar esta situación se requiere con urgencia de la difusión y aplicación de la agricultura ecológica (Kolmans y Vásquez, 1996), la cual se basa en el manejo sostenible de los recursos suelo, agua, vegetación y animales, asegurando una producción agrícola estable a largo plazo; además fomenta el desarrollo independiente y sostenido, económicamente viable, ecológicamente saludable y socialmente justo, principalmente de los pequeños y medianos agricultores (Figuroa *et al.*, 1996).

Según Gómez (1995), en los últimos años la agricultura ecológica ha ido tomando relevancia en Costa Rica debido principalmente al deseo de agricultores y consumidores de reducir la cantidad de agroquímicos aplicados a productos para el consumo humano, a la creciente demanda por productos orgánicos, a los altos costos de los agroquímicos y a la necesidad de incrementar la rentabilidad por área de tierra cultivada.

### **2.2. Pulpa de café como sustrato**

La pulpa del café es exo y mesocarpio del fruto maduro del cafeto, representa cerca del 40% de su peso fresco total. La pulpa contiene cerca de 84% de agua y cantidades variables de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro, manganeso y boro (Uribe y Salazar, 1983). 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 o tratados con fertilizantes químicos (Mestre, 1977). Cáceres (1995) menciona que el potasio es elemento mayoritario contenido en la pulpa de café y en segundo lugar el nitrógeno, además, que la importancia de la pulpa radica en su alto porcentaje de materia orgánica con una serie de efectos benéficos para el suelo tales como: mejora la textura y aireación del suelo, retiene más

humedad, propicia la vida microbiana, aumenta la fertilidad potencial del suelo y ayuda al control de nemátodos.

Estudiando diferentes mezclas de suelo con pulpa descompuesta y pulpa seca triturada, Mestre (1977) concluyó que el crecimiento máximo de las plántulas se obtuvo con mezclas volumétricas de 40 partes de pulpa seca y 60 partes de suelo. A similar conclusión llegó Concepción (1982) cuando al evaluar porcentajes de pulpa con suelo de textura franca, por un período de siete meses y medio, observó que los tratamientos que incluían en la mezcla pulpa de café, fueron los que incrementaron significativamente, tanto el diámetro como la altura de las plantas. Concluyó que la fertilización orgánica con base en pulpa de café puede satisfacer los requerimientos nutricionales de las plantas de café en vivero. Barrientos (1985) concluyó que uno de los mejores tratamientos para un vivero de café fue un sustrato con 40% de compost de pulpa.

Figuroa y del Valle (1991) evaluaron diferentes proporciones de cantidad de pulpa de café descompuesta y suelo para el llenado de bolsas y dos niveles de fertilización disuelta (30 y 15 g del fertilizante 20-20-00/lit de agua; 3 y 1.5% respectivamente), en un total de cinco aplicaciones. Encontraron que los tratamientos: 50% en volumen de pulpa y 1.5 % fertilización disuelta, 30% en volumen de pulpa y 1.5% de fertilización disuelta y 50% en volumen de pulpa, sin fertilización, superaron significativamente al testigo y a los demás tratamientos, en las variables altura de planta, diámetro y número de nudos.

### **2.3. Lombricultura**

Han pasado más de 100 años desde que Charles Darwin publicara su libro “La formación de la cubierta vegetal por la acción de las lombrices” (1881), que fue el resultado de sus cuidadosas observaciones de la actividad de las lombrices. El estableció la importancia de éstas en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, demostró la gran cantidad de suelo que ellas movilizan e impulsó el interés de muchos científicos en el estudio de sus hábitos y su papel en los suelos (Edwards y Neuhauser, 1988).

La Lombricultura es una biotecnología en la cual se utiliza a la lombriz como una herramienta de trabajo para la transformación de desechos orgánicos (Martínez, 1996). Es una actividad sencilla que puede ser adoptada por cualquier agricultor para transformar los desechos orgánicos, incluyendo la pulpa de café (Valencia, 1993).

### 2.3.1. Especies utilizadas

No cualquier lombriz puede ser utilizada para transformar los desechos orgánicos. Esto se debe a que en la naturaleza se encuentra un grupo reducido de especies de lombrices capaces de vivir y desarrollarse en sitios con altas concentraciones de materia orgánica; estas especies son susceptibles a la resequedad, a la luz solar directa y son pequeñas y poco móviles. Sin embargo, estas especies tienen altas tasas de crecimiento y reproducción, pueden vivir en altas densidades de población y pueden tolerar la acidez y la temperatura presente en los sustratos (Lofs-Holmin, 1985; Aranda, 1995).

Muchas especies de lombrices tienen potencial para procesar residuos orgánicos, pero relativamente pocas han sido usadas e investigadas adecuadamente. De las especies más comúnmente usadas se incluyen a *Eisenia foetida* (lombriz californiana) y *Eisenia andrei* (lombriz tigre), *Eudrilus eugeniae*, *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* y *Perionyx hawayana* (Aranda, 1995; Edwards, 1998).

### 2.3.2. Sustratos

Cualquier sustrato orgánico puede convertirse en abono natural mediante el proceso de lombricompostaje. La transformación de tejidos fibrosos y secos es más lenta que de sustratos jugosos y blandos. Una relación C/N cercana a los 30:1 permite una eficiente transformación; un exceso de nitrógeno podría ser tóxico, mientras que una deficiencia puede provocar una inadecuada alimentación de las lombrices y microorganismos presentes (Aranda, 1995). León *et al.* (1992) estudiaron el cultivo de *E. foetida* utilizando excretas de cerdo, estiércol de bovino y gallinaza en diferentes proporciones con compost y suelo. Ellos encontraron que la gallinaza de cuatro meses, proveniente del piso del gallinero, produjo un 100% de mortalidad en los primeros días, debido a que este material es rico en componentes nitrogenados tóxicos para las lombrices. Los sustratos más comunes y utilizados son los estiércoles animales, residuos agroindustriales, residuos domésticos y de mercados, residuos de jardinería, restos de rastros, y otros como el lirio acuático, afluentes de fosas sépticas, lodos y basuras municipales (Aranda, 1995; Martínez, 1996).

### 2.3.3. Lombricompostaje

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, transformando estos en biofertilizantes, lombricompost o humus de lombriz de gran calidad y utilidad para el crecimiento de las plantas (Aranda, 1995).

A diferencia de otras técnicas convencionales de compostaje, el proceso de lombricompostaje aprovecha las características biológicas y fisiológicas 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 por su presentación en agregados, su equilibrio de nutrientes, sustancias húmicas y compuestos bioactivos que le confieren una calidad excepcional, como sustrato para las plantas (Aranda, 1995). Según Edwards (1998) un importante aspecto del lombricompostaje es la transformación de muchos nutrientes a formas más disponibles para las plantas, tales como nitratos o nitrato de amonio, fósforo cambiante, y potasio, calcio y magnesio solubles.

El proceso de lombricompostaje puede ser efectuado desde pequeña hasta gran escala, desde niveles rústicos bajo condiciones de campo, hasta la instalación de procesos intensivos. En este proceso, se debe de considerar factores como la humedad, la temperatura, el pH y la disponibilidad de recursos con que cuenta el productor como, instalaciones, materiales, mano de obra, espacio, transporte y acceso de sustratos (Aranda, 1995; Martínez, 1996).

Cáceres (1998) evaluó las proporciones 1:3 y 1:1 (lombricompost de pulpa de café: suelo); proporción 1:3 (pulpa descompuesta: suelo); lombricompost aplicado a la hoja, fertilización química y testigo absoluto; encontró que los tratamientos con lombricompost presentaron los mayores valores. El tratamiento en proporción 1:1 presentó el mayor número de hojas, altura de planta y peso fresco y seco de la parte aérea más raíz. Así mismo la proporción 1:3 presentó el mayor valor para la variable largo de raíz.

#### **2.3.4. Características del lombricompost**

El abono resultante del lombricompostaje se denomina lombricompost, vermicompost, humus de lombriz, entre otros. Es un conjunto estable de compuestos orgánicos humificados, con adecuada cantidad de macro y micronutrientes y de microorganismos, resultado de la transformación intensiva y controlada de la materia orgánica muerta ingerida por las lombrices (Aranda, 1995). El lombricompost es similar a un suelo fértil, es inodoro, de estructura granular, de coloración café oscuro a casi negro, uniforme y poroso, pH neutro, libre de semillas y patógenos. Además contiene enzimas, fitohormonas, microorganismos y microfauna de primordial importancia para la ecología de los suelos (Aranda, 1995). El contenido de nutrientes en el lombricompost está relacionado con el sustrato que le da origen. En estiércoles de animales procesado por lombrices, el contenido de nutrientes oscila de 1.8 - 3% de nitrógeno, 0.21 - 2.90% de fósforo, 0.48 - 2.50% de potasio, 0.94 - 9.5% de calcio, 0.25 - 1% de magnesio y 0.02 - 0.92% de manganeso (Edwards, 1998).

En los últimos años ha tomado auge la investigación del lombricompost y sus extractos (ácidos húmicos y fúlvicos), enfocando en el grado de humificación, la actividad enzimática y el contenido de nutrientes y los efectos en plantas fertilizadas con estos materiales. Los trabajos han demostrado beneficios para el crecimiento y la producción de plantas y la calidad de sus productos. Estos efectos han motivado el uso de estos compuestos como fracción importante en fertilizantes orgánicos (Gómez *et al.*, 1995).

#### **2.4. Micorrizas**

Las micorrizas constituyen una asociación simbiótica entre hongos del suelo y plantas superiores, que permiten mejorar la absorción de nutrientes, principalmente el fósforo (Sieverding, 1989), aunque también se ha demostrado la capacidad de absorber y traslocar nitrógeno, potasio, calcio, zinc, boro y azufre, promoviendo de esta forma el crecimiento de las plantas (Subba, 1993; Paul y Clark, 1996). En la simbiosis, las raíces de las plantas son colonizadas por hongos, los que penetran la corteza radical y toman los carbohidratos para alimentarse y desarrollarse y el hongo le suministra a la planta algunos nutrientes de poca movilidad en el suelo (Cuenca *et al.*, 1991).

Los hongos micorrízicos exploran entre 10 a 200 veces más volumen de suelo que raíces sin micorrizas, absorben y transportan hacia la raíz mayor contenido de los nutrientes que están menos disponibles para las plantas. Además mejoran la captación de agua proporcionándole de esta forma resistencia a la planta a condiciones adversas (Sieverding, 1989). Rivas Platero y Cuervo (1998) encontraron en plántulas de café, que los hongos micorrízicos *Entrophospora colombiana* y *Gigaspora margarita* redujeron el índice de agallamiento producido por *Meloidogyne exigua* en un 20% con relación al tratamiento donde se aplicó solo el nemátodo. Asimismo, los tratamientos que incluyeron *Gigaspora margarita* mostraron mayor peso seco.

## **2.5. Bocashi**

El bocashi es un abono orgánico elaborado con materiales de origen vegetal y animal, que en condiciones de temperatura y humedad adecuadas, favorece la actividad biológica nativa del suelo (Restrepo, 1996). La receta estándar para la preparación del bocashi incluye los siguientes materiales: dos sacos de tierra de áreas poca disturbadas o boscosas, un saco de semolina o salvado, un saco de carbón molido, un saco de granza de arroz, un saco de gallinaza, un litro de melaza y ocho kg de cal (Sasaki *et al.*, 1994). Es importante señalar que en zonas donde es escaso o no existe uno o más de estos materiales, pueden ser sustituidos por un producto orgánico que se pueda producir dentro de la finca, por ejemplo la sustitución de la granza de arroz por cascarilla de café. Según López (1989) y Sasaki *et al.* (1994), los atributos del bocashi como abono orgánico son: un período de elaboración corto (de 6 a 7 días); aporte de buen contenido macronutrientes y liberación lenta que, por lo tanto, estimula el crecimiento de las plantas; aumento de los microorganismos benéficos asociados a la rizosfera y acción antagonista, entre otros.

## **2.6. Abonos verdes**

La práctica de abonos verdes consiste en la utilización de plantas anuales o perennes para incorporarlas al suelo o dejarlas sobre él para mantener o mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Da Costa, 1995). La descomposición del material aumenta la cantidad de materia orgánica (Kass *et al.*, 1989). Esta es fundamental porque su descomposición aporta nutrientes, especialmente N, S, P y cationes (K, Ca, Mg),

es la única fuente de energía para los microorganismos del suelo, mejora o mantiene la estructura y, por lo tanto, regula el contenido de agua en los suelos y aumenta la capacidad de retener nutrientes al aumentar la CIC (Fassbender, 1993; Cubero, 1994; Da Costa, 1995; Binder, 1997). Fassbender (1982) plantea que, siendo la descomposición un proceso principalmente microbiano, y por ser los microorganismos heterótrofos con respecto al carbono, requieren de un sustrato con cantidades adecuadas de ese elemento. Así mismo, señala que 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.

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 y se descomponen rápidamente, mientras que los tejidos leñosos presentan mayores contenidos de compuestos fenólicos (ligninas y celulosas) y se descomponen más lentamente. La velocidad de descomposición también depende de factores externos, como son las características del suelo, la flora y fauna presentes y el agua disponible (Vilas, 1990). Los abonos verdes pueden disminuir la incidencia de ciertos fitopatógenos que atacan los cultivos. El mantenimiento de altos niveles de materia orgánica, en y sobre el suelo, se asocia generalmente con una menor incidencia y severidad de enfermedades a nivel radical (Abawi y Thurston, 1995). La materia orgánica es capaz de inducir supresividad, activando la microflora benéfica, la cual contribuye al control de enfermedades (Ramírez, 1996).

El principal efecto de los abonos verdes es el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Con este propósito, generalmente son utilizadas especies leguminosas por su alto contenido de nitrógeno. Este nutriente puede ser más fácilmente disponible para los cultivos que el nitrógeno aportado por otros tipos de plantas (Giller y Wilson, 1991).

## **2.7. Liberación de nutrientes de residuos orgánicos**

El uso eficiente de los fertilizantes orgánicos requiere entender los factores que determinan la liberación de nutrientes de estas fuentes. La liberación de nutrientes de los residuos orgánicos y la descomposición de la materia orgánica del suelo depende de: el clima, la textura del suelo, la cantidad y composición química del material y el lugar (Szott y Kass, 1994).

Producto de la mineralización de la materia orgánica se liberan una serie de compuestos importantes para la nutrición de las plantas, que implican cantidades de N, P, S, K, Ca, Mg, etc. disponible para las plantas (Fassbender, 1993). Las sustancias orgánicas resultantes pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización, dando lugar a nuevos componentes químicos que reciben el nombre de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, etc., que tienen características y propiedades específicas. Este proceso recibe el nombre de humificación (Sánchez, 1981).

La descomposición generalmente procede más rápido en lugares más calurosos y más húmedos (Anderson y Swift, 1983) y cuando el material es incorporado, en vez de ser aplicado a la superficie del suelo (Holland y Coleman, 1987). Sin embargo, Meentemeyer (1978) sugiere que en los trópicos el índice de descomposición está controlado más por la calidad del material que por el clima.

La descomposición de residuos orgánicos y mineralización de N en estudios a corto plazo (menores de seis meses de duración) han sido correlacionados negativamente con la relación C:N, la concentración polifenol y con la concentración inicial (lignina + celulosa) del material (Fox *et al.*, 1990; Palm y Sánchez, 1990, 1991). Esto sugiere que algunas plantas leguminosas usadas como abonos verdes pueden no ser buenas fuentes de nitrógeno disponible, a pesar de los altos contenidos de nitrógeno, debido a las altas relaciones de polifenol:N o (lignina+polifenol):N (Fox *et al.*, 1990; Palm y Sánchez, 1991).

La mineralización de nutrientes, que no sean carbono y nitrógeno, a partir de materiales orgánicos en los sistemas agroforestales ha sido menos estudiada (Szott y Kass, 1994). En los trópicos húmedos en general, 50% o más de potasio es liberado en menos de un mes, mientras que la pérdida de carbono es lenta (Palm y Sánchez, 1990). La liberación de fósforo es difícil de predecir ya que el carbono, fósforo y nitrógeno pueden interactuar para determinar la mineralización e inmovilización (Szott y Kass, 1994).

## **2.8. Influencia de la sombra en viveros de café**

El crecimiento y la producción del cafeto están determinado por el efecto combinado de varios factores tales como: altitud, temperatura, precipitación, fotoperíodo y las propiedades del suelo (Aldazábal y Alarcón, 1994). La luz es un factor determinante para el crecimiento de las plantas. En el cultivo del café, el estudio de los efectos de

diferentes niveles de luz adquiere gran relevancia, ya que se han obtenido respuestas contradictorias de las plantas al ser cultivadas a la sombra o a plena exposición solar (Morales *et al.*, 1985; Muschler, 1997).

Estudios en Colombia con almácigos de café mostraron que el sombreado ligero (40%) influía favorablemente en los cafetos, mientras que la sombra excesiva (75%) redujo el crecimiento. Sin embargo, se determinó que un exceso de iluminación tiene una influencia menos desfavorable que un exceso de sombra (Carvajal, 1972).

Según estudios realizados en el Centro Nacional de Investigaciones del Café en Colombia para medir la influencia de la altitud en el desarrollo de las plántulas de café en almácigos, al aumentar la altitud disminuye el crecimiento, el peso seco de la parte aérea y el número de hojas por planta, lo que parece ser consecuencia del efecto de la mayor proporción de luz ultravioleta en las zonas altas (López *et al.*, 1972).

Varias interacciones entre la luz y otros factores han sido también observados. Uno de estos es entre la luz y la fertilidad del suelo. Se ha observado que la sombra se usa en las regiones cálidas, aparentemente con el objetivo de mantener un equilibrio en el suministro de nutrientes por parte del sustrato (Carvajal, 1972). Además, se ha notado que la sombra reduce el requerimiento de la planta de café por nutrientes, debido a la disminución de la actividad fotosintética de la planta (Kimemia y Njoroge, 1988).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

El presente estudio estuvo constituido por dos experimentos. El primer experimento (Experimento 1) fue realizado en la finca cafetalera orgánica "Cristina" ubicada en el cantón de Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica a 9° 43' Latitud Norte y 83° 45' Longitud Oeste; altitud de 1325 msnm; precipitación anual promedio de 1780 mm; temperatura promedio de 17.1 °C (Chinchilla, 1987). Además, con el propósito de evaluar diferentes altitudes y condiciones climáticas en el crecimiento de plántulas de café, se estableció un segundo experimento (Experimento 2) ubicado en Turrialba, a 9° 55' Latitud Norte y 83° 39' Longitud Oeste, a 602 msnm, con una precipitación anual promedio de 2065 mm y temperatura promedio de 21 °C. Ambas zonas pertenecen a la formación ecológica "Bosque Húmedo Premontano" según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978).

El estudio fue iniciado el 7 de febrero de 1999 y finalizó el 7 de agosto del mismo año. Los suelos del lugar son de origen volcánico, pertenecen al orden Andisoles (Bertsch, 1995). Algunas de las características químicas del suelo utilizado como sustrato en ambos experimentos se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas del suelo utilizado como sustrato (05/02/1999).

Prof. (cm)	pH Agua	Acd. Ext -----	Ca	Mg	K	CIC	B	P	Cu	Zn	Mn	N	MO
			-----cmol(+)/l-----						-----cmol(+)/l-----			%	%
0-20	6.0	0.08	10.13	3.29	0.78	36.38	0.82	58.87	27.86	13.23	10.98	0.32	6.82

#### 3.2. Materiales experimentales

**Lombricompost:** se obtuvo a través de la descomposición de la pulpa de café por acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* L.) durante tres meses. Es importante señalar que antes de iniciarse el proceso de lombricompostaje, la pulpa fue descompuesta naturalmente durante siete meses y protegida con plástico para reducir la pérdida de nutrientes. Algunas de las características químicas de este y los demás abonos orgánicos se presentan en el cuadro 2.

**Pulpa descompuesta:** se utilizó pulpa con características iguales de manejo a la utilizada en la obtención del lombricompost. Esta se sometió a un proceso de descomposición (sin lombrices) con volteos mensuales durante tres meses.

**Bocashi:** para la elaboración de este abono orgánico se realizó una variación de la receta original (Sasaki *et al.*, 1994), donde se sustituyó la cascarilla de arroz por cascarilla de café.

**Micorrizas:** se utilizó el inóculo de *Entrophospora colombiana*, proveniente de la colección de micorrizas de CATIE. El inóculo micorrízico consistió en suelo, esporas y restos de micelio y raíces micorrizadas (en promedio 120 esporas/g de suelo) del cultivo puro del hongo seleccionado.

**Abono verde de *Erythrina poeppigiana*:** en la finca Cristina se obtuvieron hojas y ramillas no lignificadas de *E. poeppigiana*. Las hojas y ramillas fueron cortadas finamente de tal forma que se obtuvo un material homogéneo que facilitó la aplicación de las cantidades calculadas (equivalentes a 200, 400 y 600 kg/ha).

Cuadro 2. Análisis químico de abonos utilizados (muestras compuestas).

Abono Orgánico	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Zn	Mn	B	CIC
	-----%-----					-----mg/kg-----				cmol(+)/kg
Lombricompost	5.18	0.33	2.32	0.35	2.48	88.39	237.15	639.4	143.90	93.26
Pulpa descomp.	6.46	0.33	2.64	0.31	2.37	99.64	159.91	2073	116.07	84.59
<i>Erythrina sp.</i>	0.95	0.24	2.10	0.29	4.34	6.87	21.83	152.97	46.62	-----
Bocashi	5.06	0.43	0.65	0.85	1.12	83.76	197.43	1360	67.25	31.73
Granza	0.07	0.03	0.27	0.03	0.39	3.17	24.69	201.75	-----	-----
Cascarilla de café	0.25	0.09	0.55	0.03	0.77	14.67	17.40	54.41	-----	-----
Carbón	0.48	0.09	0.30	0.05	0.38	7.76	26.10	128.12	-----	-----
Melaza	0.71	0.18	1.74	0.04	0.47	6.47	6.77	39.25	-----	-----

**Semilla de café:** para la siembra del semillero se utilizó la variedad Caturra. Esta se obtuvo de la colección de café de CATIE. Se colectaron frutos en estado óptimo de maduración que se despulpaparon con un despulpador manual. Las semillas se dejaron fermentar por 24 horas, luego se lavaron y se seleccionaron granos vanos. El secado se realizó a la sombra depositando la semilla en cajas con marco de madera y cedazo durante

cinco días. Posteriormente se eliminaron las semillas denominadas "caracol", "triángulos", "elefantes", "granos muy pequeños", "granos negros", "muy pequeñas" y "picadas y lastimadas" (ANACAFE, 1998). Posteriormente se seleccionó por tamaño, pasando las semillas por una criba de 1/64".

**Insumos:** en el estudio se evaluó el factor iluminación (sol y sombra), utilizando 50% de sombra. También se utilizaron fertilizante 12-24-12, cal dolomítica, sulfato de zinc y clortosip 75 wp (clorotalonil).

### **3.3. Diseño experimental y tratamientos**

#### **3.3.1. Experimento 1**

El diseño utilizado fue de Bloques Completos al Azar en Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. Con las condiciones de iluminación como factor principal y los abonos como factor secundario. En las parcelas grandes se asignaron aleatoriamente dos niveles del factor "A" (plena exposición solar y 50% de sombra) dentro de cada bloque. El factor "B" estuvo constituido por 20 niveles (composición de sustratos), los que se asignaron aleatoriamente a las subparcelas dentro de cada parcela grande (cuadro 3). En cada bloque habían 40 subparcelas, 20 por cada nivel del factor "A". La unidad experimental estuvo constituida por 10 bolsas (2 litros de capacidad), en donde se trasplantaron dos plántulas por bolsa. En total había 160 unidades experimentales y 1600 unidades de muestreo (bolsas).

Cuadro 3. Tratamientos experimentales en Diseño de Bloques Completos a Azar en Parcelas Divididas evaluados en el experimento 1.

<b>Niveles del factor A</b> (parcelas grandes)	<b>Condiciones de iluminación</b>
	a1) plena exposición solar
	a2) 50% de sombra
<b>Niveles del factor B</b> (subparcelas)	<b>Composición de sustratos</b>
	b1) 25% lombricompost + 75% suelo
	b2) 25% lombricompost + 75% suelo + Micorrizas
	b3) 25% lombricompost + 75% suelo + Ca y Mg
	b4) 25% lombricompost + 75% suelo + Zn
	b5) 50% lombricompost + 50% suelo
	b6) 75% lombricompost + 25% suelo
	b7) 25% pulpa descompuesta. + 75% suelo
	b8) 25% pulpa descompuesta. + 75% suelo + Micorrizas
	b9) 25% pulpa descompuesta. + 75% suelo + Ca y Mg
	b10) 25% pulpa descompuesta. + 75% suelo + Zn
	b11) 50% pulpa descompuesta + 50% suelo
	b12) 75% pulpa descompuesta. + 25% suelo
	b13) 25% bocashi + 75% suelo
	b14) 100% suelo + Micorrizas
	b15) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 200 kg N/ha)
	b16) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 400 kg N/ha)
	b17) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 600 kg N/ha)
	b18) Fertilización química
	b19) Fertilización convencional
b20) Testigo absoluto	

### 3.3.2. Experimento 2

En cada zona de estudio, se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar en Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. Con las condiciones de iluminación como factor principal y los abonos como factor secundario. En las parcelas grandes se asignaron aleatoriamente dos niveles del factor "A" (0 y 50% de sombra) dentro de cada bloque. El factor "B" estuvo constituido por nueve sustratos que se asignaron aleatoriamente a las

subparcelas dentro de cada parcela grande (cuadro 4). En cada bloque habían 18 subparcelas, 9 por cada nivel del factor "A". La unidad experimental estuvo constituida por 10 bolsas de dos litros de capacidad en donde se trasplantaron dos plántulas por bolsa.

Cuadro 4. Tratamientos experimentales en Diseño de Bloques Completos al Azar en Parcelas Divididas evaluados en el experimento 2.

<b>Niveles del factor A</b> (parcelas grandes)	<b>Condiciones de iluminación</b>
	a1) plena exposición solar
	a2) 50% de sombra
<b>Niveles del factor B</b> (subparcelas)	<b>Composición de sustratos</b>
	b1) 25% lombricompost + 75% suelo
	b2) 25% pulpa descompuesta + 75% suelo
	b3) 25% bocashi + 75% suelo
	b4) 100% suelo + Micorrizas
	b5) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 200 kg N/ha)
	b6) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 400 kg N/ha)
	b7) <i>Erythrina poeppigiana</i> (equivalente a 600 kg N/ha)
	b8) Fertilización convencional
b9) Testigo absoluto	

### 3.3.3. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + I_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + T_k + (IT)_{ik} + \lambda_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = variable de respuesta al tratamiento en la subparcela k, bloque j y condición de iluminación i.

$\mu$  = media general.

$I_i$  = efecto de la i-ésima condición de iluminación.

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$  = error experimental asociado a las parcelas grandes.

$T_k$  = efecto del k-ésimo tratamiento experimental de la subparcela.

$(IT)_{ik}$  = efecto de la interacción Iluminación \* Tratamientos.

$\lambda_{ijk}$  = error experimental de las parcelas pequeñas.

### 3.4. Manejo experimental

En los tratamientos con micorrizas, se utilizó el hongo micorrízico *Entrophospora colombiana* a 4 g de inóculo por bolsa al momento del trasplante del manquito. El inóculo se obtuvo de la colección de micorrizas del CATIE.

En los tratamientos con calcio y magnesio, se utilizó cal dolomítica como fuente, en dosis de 4 t/ha (4 g/bolsa), cantidad que se incorporó al momento del llenado de las bolsas.

Los tratamientos con zinc, se utilizó sulfato de zinc como fuente, aplicando la dosis de 0.5 kg/200 litros de agua. Se realizaron dos aplicaciones a los dos y cuatro meses después del trasplante.

En los tratamientos con hojarasca de *E. poeppigiana*, a niveles equivalentes a 200, 400 y 600 kg N/ha, el material vegetal se incorporó en el sustrato suelo al momento del llenado de las bolsas. La cantidad de hojarasca a aplicar se determinó por la siguiente fórmula:

Kilogramos de hojarasca (bolsa de 2 lts) = (kg peso seco/ kg de Nitrógeno) x (peso fresco/peso seco) x (kg de nitrógeno a aplicar/ha) /  $1 \times 10^6$  lts.

El tratamiento fertilización química recomendada por el ICAFE, consistió en la aplicación del fertilizante 12-24-12. Se realizaron tres aplicaciones; en la primera se incorporaron 5 gramos de fertilizante por bolsa, un mes después del trasplante. La segunda y tercera aplicación se realizaron con frecuencia de cada dos meses apartir de la primera, manteniendo la misma forma de aplicación (incorporado), pero duplicando la cantidad de fertilizante, es decir 10 g/bolsa. Para el tratamiento convencional se realizó la misma fertilización del tratamiento fertilización química, pero además se hicieron aplicaciones calendarizadas (cada mes) de fungicidas, simulando la práctica convencional. En el tratamiento testigo absoluto, el 100% del sustrato fue suelo.

### 3.5. Variables evaluadas

El efecto de los tratamientos fue evaluado mediante las siguientes variables:

**Sobrevivencia.** A los dos meses después del trasplante se contaron las plántulas vivas en cada unidad experimental para calcular el porcentaje de sobrevivencia.

**Altura.** Se determinó la altura de las plántulas cada dos meses apartir del trasplante (tres evaluaciones durante el estudio), midiendo la distancia entre el cuello de la raíz y la yema terminal con una regla graduada en centímetros.

**Número de nudos.** Se contó él numero de nudos en cada eje ortotrópico de las dos plántulas contenidas en cada bolsa, este valor se tomó como una unidad, es decir como si fuese una sola planta.

**Defoliación.** Se contó él número de hojas presentes y caídas al momento de cada muestreo, calculando posteriormente el porcentaje de defoliación.

**Incidencia de enfermedades.** Durante el periodo de estudio la enfermedad que se presentó fue chasparria (*Cercospora coffeicola*), para la cual se estimó la incidencia a través de la siguiente formula:

$$I (\%) = (\text{No de hojas afectadas} / \text{No total de hojas}) \times 100$$

Se consideró hoja afectada por *C. Coffeicola*, la que en el área afectada por el patógeno se observaba el tejido necrótico.

Las evaluaciones de incidencia de chasparria, número de nudos y defoliación se realizaron apartir del segundo mes después del trasplante y con frecuencias mensuales.

**Vigor.** Este parámetro fue evaluado al finalizar el experimento, elaborando una escala de 1 a 5, representando "1" a una plántula poco desarrollada, con síntomas de deficiencias y defoliada y "5" a una planta sana, vigorosa, sin defoliación y sin presencia de síntomas visuales de deficiencia. Los valores restantes correspondieron a estados intermedios de vigor.

**Materia seca.** La unidad experimental estuvo constituida por 10 bolsas de dos litros de capacidad, en donde se trasplantaron dos plántulas por bolsa. Al finalizar el estudio (6 meses después del trasplante), se seleccionaron dos bolsas representativas de cada unidad experimental (dos plántulas por bolsa, asumiéndose como una unidad), posteriormente se separaron los diferentes órganos de las plántulas, sometándose posteriormente a temperatura de 60°C en estufa durante 72 horas hasta obtener el peso seco constante de hoja, tallo y raíz (g/planta).

**Índice de agallamiento.** Para determinar el índice de agallamiento, se utilizaron las mismas plantas en las que se evaluó materia seca. Se lavaron suavemente los sistemas

radicales, y se examinaron visualmente, a la vez que se contaba el número de nódulos por planta producidos por nemátodos. Luego a cada raíz se asignó un valor basado en la metodología propuesta por Taylor y Sasser (1983). La escala utilizada es la siguiente: Cero nódulos = 0; 1-2 nódulos = 1; 3 - 10 nódulos = 2; 11 - 30 nódulos = 3; 31 - 100 nódulos = 4; más de 100 nódulos = 5.

**Análisis de suelo y análisis foliar.** En el laboratorio de análisis de suelos, tejido vegetal y aguas de CATIE, se realizó el análisis de suelo (cuadro 1) y de los abonos orgánicos (cuadro 2) utilizados. Además se determinaron los contenidos de elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y B) de las muestras de hojas correspondiente a la mayoría de los tratamientos (cuadro 9). No se realizó análisis foliar a la totalidad de los tratamientos debido al alto costo económico que implica la realización de estos, adicionalmente se consideró necesario, realizar análisis de dos muestras por cada tratamiento, con el propósito de poder aplicar a los resultados un análisis estadístico. Debido a lo antes expuesto, tomando como base los resultados previamente procesados de las variables de crecimiento, se seleccionaron los tratamientos más representativos del estudio (los que presentaban valores contrastantes).

### **3.6. Análisis estadístico**

En el experimento 1, todas las variables evaluadas fueron analizadas mediante ANDEVA. En las pruebas donde la interacción entre los factores fue estadísticamente significativa se realizó la prueba de comparación de medias de la LSMEAN ( $p < 0.05$ ), además se realizó un análisis de correlación entre las variables evaluadas.

En el segundo experimento, al igual que el primero, en cada sitio, las variables fueron analizadas mediante análisis de varianza, seguidas de la prueba de comparación de media LSMEAN. Además, para medir el efecto particular de los sustratos (tratamientos) en función de sitio y condiciones de iluminación, se analizaron las variables altura, defoliación y materia seca de hoja mediante la prueba "t" student.

Todos los análisis fueron realizados utilizando el sistema de análisis estadístico SAS.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Efecto de sustrato sobre el crecimiento, nutrición e incidencia de plagas

##### 4.1.1. Supervivencia de plántulas

En general la supervivencia fue significativa ( $p < 0.001$ ) mayor con sombra que sin sombra (figura 1; Anexo 1).

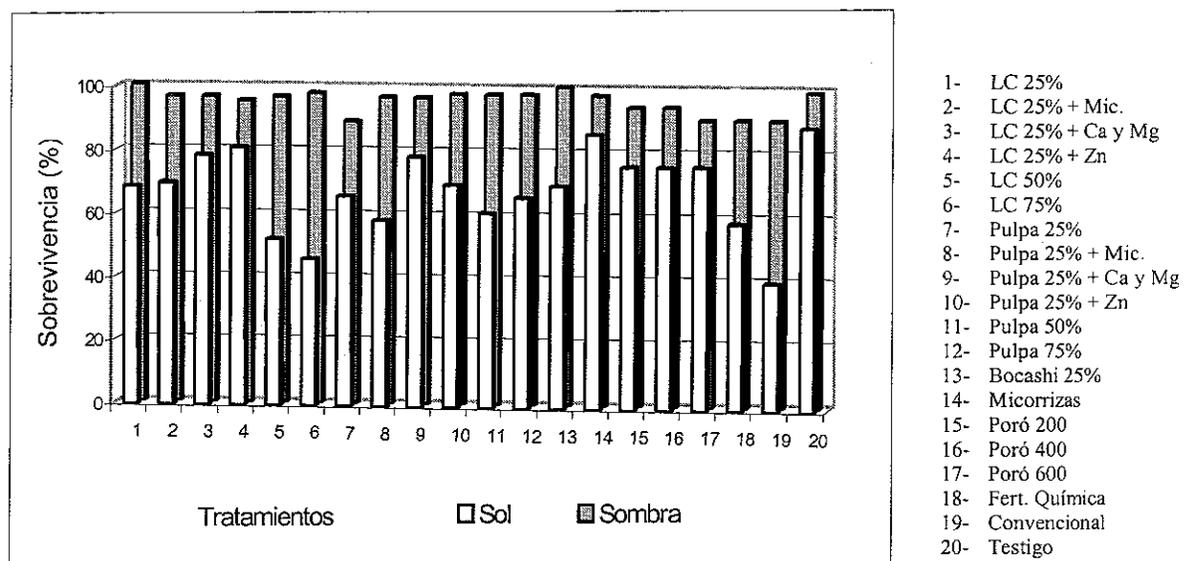


Figura 1. Efecto de sombra y composición de sustratos sobre la supervivencia (%) de plántulas de café a los dos meses después del trasplante.

Bajo sombra, la supervivencia no difirió entre sustratos, superando 90% en todos los casos y alcanzando 100% en LC 25% y Bocashi 25%. Sin embargo, bajo sol los tratamientos difirieron significativamente ( $p < 0.05$ ). Los tratamientos con bajas proporciones de abono orgánico (LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Ca y Mg), Micorrizas y el Testigo absoluto presentaron los mayores porcentajes (79 - 89%). En contraste, los tratamientos con altas proporciones de abonos orgánicos (LC 50%, LC 75%, Pulpa 50%, pulpa 75%) y los tratamientos con fertilizante químico (fertilización química y convencional) presentaron los valores menores (40 - 66%).

En sol, los valores más bajos para los tratamientos con mayores proporciones de abono orgánicos y con fertilizante químico se deben posiblemente a una acción combinada entre las altas proporciones de abonos orgánicos, la alta radiación solar y la susceptibilidad de las plántulas de café (estado de "fosforito") durante los primeros dos meses después del trasplante.

En general, se considera que la descomposición de enmiendas orgánicas es mayor cuando se incorporan al suelo, y por lo tanto, hay una mayor liberación de nutrientes (Sánchez *et al.*, 1989). La mayor liberación de nutrientes o ácidos orgánicos pudo haber provocado un efecto fitotóxico sobre el crecimiento de las raíces, aunque probablemente el mayor efecto fue que bajo la condición plena exposición solar favoreció el continuo proceso de descomposición de los materiales orgánicos, donde se da la liberación de sustancias fitotóxicas como el ácido butírico y el ácido acético, sustancias que a bajas concentraciones son altamente tóxicas para las plantas (Jiménez y García, 1989; Vargas *et al.*, 1996).

#### 4.1.2. Altura de plántulas

Los efectos de los factores iluminación y sustratos, así como su interacción fueron significativos ( $p < 0.001$ ) en las tres fechas de evaluación en el tiempo, a los 2, 4 y 6 meses después del trasplante (2, 4 y 6 mdt) (figura 2, anexo 1). Desde la primera evaluación, las plántulas bajo sombra presentaron y mantuvieron los mayores valores.

Bajo 50% de sombra, en la última evaluación (6 mdt) las alturas oscilaron entre 9.9 y 15.9 cm, correspondientes a Pulpa 75% y LC 25% + Mic. respectivamente. El grupo de los mejores tratamientos consistió de LC 25%, LC 50%, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Zn, Bocashi 25% y Pulpa 25% + Ca y Mg. En contraste, los tratamientos que presentaron valores más bajos y a vez estadísticamente iguales al Pulpa 75%, fueron Micorrizas, Poró 200 y LC 75%.

A plena exposición solar, las alturas oscilaron entre 5.8 y 8.6 cm, correspondiendo al LC 75% y Testigo respectivamente. Los tratamientos Micorrizas, Poró 200, Poró 400, Poró 600, LC 25%, Bocashi 25%, LC 25% + Mic. y Pulpa 25% + Mic. fueron estadísticamente similares al testigo. Por el contrario, los tratamientos Pulpa 50%, Pulpa 75%, Convencional y LC 25% + Ca y Mg se comportaron similares estadísticamente al que presentó el menor valor (LC 75%).

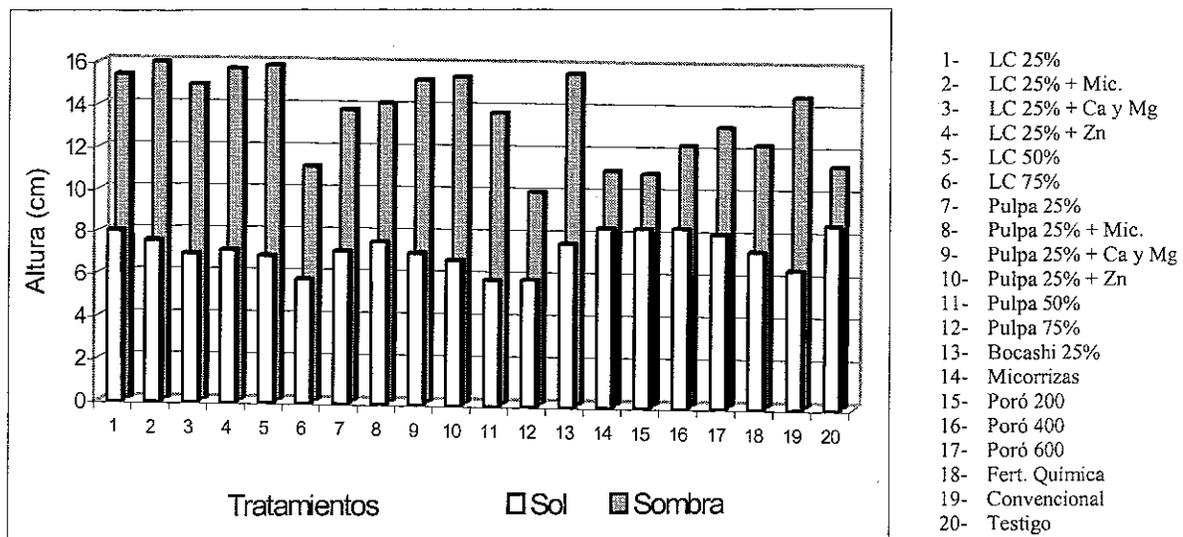


Figura 2. Efecto de sombra y sustratos sobre la altura de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Los resultados contrastantes de altura de planta, sugieren que las condiciones ambientales y la nutrición fueron determinante. En ambas condiciones de iluminación los tratamientos con mayores proporciones de abonos orgánicos presentaron los menores valores.

Kumar y Tieszen (1980) estudiaron la fotosíntesis del café a varias temperaturas e intensidades de luz, encontraron que las plantas crecidas a la sombra presentaron tasas fotosintéticas superiores a las de plena exposición solar. Suarez de Castro *et al.* (1961), señalan que el café aumenta la actividad fotosintética al aumentar la intensidad lumínica cuando esta fluctúa en niveles bajos, y que a niveles muy altos la actividad es contraria. Los resultados del presente estudio confirman la aseveración anterior, ya que las plantas crecidas bajo sombra 50% superaron los valores de plena sol.

Con relación a los sustratos, la mayoría registraron un efecto positivo en la altura de las plántulas, atribuyéndose el hecho a que las mezclas de suelo con abonos orgánicos permite una mayor distribución de los nutrientes en todo el volumen de suelo que exploran las raíces, caso contrario sucede con la fertilización granular donde se produce una localización de los nutrientes (Ordoñez y Palma, 1993), además de la potencial pérdida de fertilizante por lixiviación.

#### 4.1.3. Número de nudos

Los resultados obtenidos durante las cinco fechas de evaluación (2, 3, 4, 5 y 6 mdt) para esta variable se resumen en el Anexo 2, se puede observar que durante todo el periodo de estudio los niveles de luminosidad presentaron efectos diferentes estadísticamente, mostrando los valores mayores durante las cinco evaluaciones en la condición sombra 50%, sin embargo, la interacción "ilum. \* trat." solo presentó diferencias estadísticas en la segunda y tercera evaluación (3 y 4 mdt). Además se puede observar que las diferencias numéricas no son lo suficientemente grandes, por lo que en lo sucesivo del presente estudio esta variable no se discutirá.

#### 4.1.4. Defoliación e incidencia de *Cercospora coffeicola*

En los anexos 3 y 4, se presentan los resultados obtenidos para los parámetros defoliación e incidencia de *Cercospora coffeicola* respectivamente. En las diferentes fechas de evaluación, los factores iluminación y sustratos, así como su interacción no presentaron diferencias estadísticas, excepto para la variable defoliación en la última fechas de evaluación (6 mdt) donde la interacción fue significativa y para la incidencia de chasparria en la cuarta fechas de evaluación (5 mdt) donde el efecto de los factores y su interacción fueron estadísticamente diferentes.

Bajo sombra, en la última fecha de evaluación (6 mdt) la defoliación presentó valores entre 10 y 48%, correspondiendo al LC 25% y Poró 200 respectivamente. Los tratamientos con lombricompost (excepto LC 75%), pulpa descompuesta (excepto pulpa 75%), bocashi 25% y tratamiento convencional presentaron los menores valores, entre 10 y 18%, siendo significativamente similares LC 25%. En contraste, los tratamientos que presentaron los valores más altos y a la vez estadísticamente iguales al Poró 200, fueron Poró 400, Poró 600, Micorrizas, LC 75%, Pulpa 75%, Fertilización química y Testigo absoluto, mostrando valores entre 26 y 48%. A plena exposición solar, los tratamientos se comportaron similar que bajo sombra, sin embargo los valores mostraron una ligera disminución, oscilando entre 8 (LC 25% + Ca y Mg) y 41% (Pulpa 75%).

La incidencia de *C. coffeicola*, bajo sombra, en la última fecha de evaluación (6 mdt) los valores oscilaron entre 17 y 47%, correspondiendo a Convencional y Poró 200 respectivamente. A plena exposición solar, la incidencia varió entre 14 y 48%,

correspondiendo a LC 25% y Testigo absoluto respectivamente. En ambas condiciones (sombra y sol), los tratamientos Pulpa 75%, Micorrizas, Poró 200, Poró 400, Poró 600 y Testigo presentaron los valores más altos de incidencia (30 - 48%).

La chasparria (*Cercospora coffeicola*) es la principal enfermedad del café en la etapa de almácigo (Cadena, 1982). Las hojas del café afectadas por esta enfermedad se caen prematuramente debido a una marcada producción de etileno (Valencia, 1970). La nutrición de las plantas determina en gran medida su resistencia o susceptibilidad a las enfermedades (Huber, 1980). Fernández y López (1971) encontraron una relación estrecha entre el estado nutricional de las plántulas de café y la severidad de *C. coffeicola*.

Los abonos orgánicos influyen sobre las enfermedades por medio de las interacciones nutricionales, ya sea supliendo nutrientes de forma directa o aumentando su disponibilidad (Thurston, 1992). Se conoce que un sustrato con contenidos adecuados de nutrientes presenta grandes cantidades de microorganismos que participan en el ciclaje de nutrientes esenciales para las plantas (INPOFOS, 1997).

En la figuras 3 se observa que en sombra y sol hay una relación directa entre incidencia y defoliación. A nivel general, los menores valores para ambos parámetros fueron presentados por los tratamientos donde se usó lombricompost y pulpa en proporción 1:3 (abono:suelo solo) y el tratamiento convencional. Por el contrario los tratamientos con poró, micorrizas, fertilización química y testigo absoluto presentaron los mayores valores.

Resultados similares a los del presente estudio encontró Cadena (1982) al estudiar el uso de la pulpa descompuesta para el control de *C. coffeicola* en almácigo. El experimento consistió en el uso de sustrato suelo mezclado con pulpa descompuesta en distintas proporciones (0, 25, 50, 75 y 100% de pulpa). Estos mismos tratamientos fueron evaluados con y sin fungicidas. A los seis meses realizó la evaluación de incidencia y defoliación, encontrando que no difirieron los tratamientos con pulpa con y sin fungicidas, concluyendo que el mejor tratamiento fue la proporción 1:3 (pulpa 25%: suelo 75%).

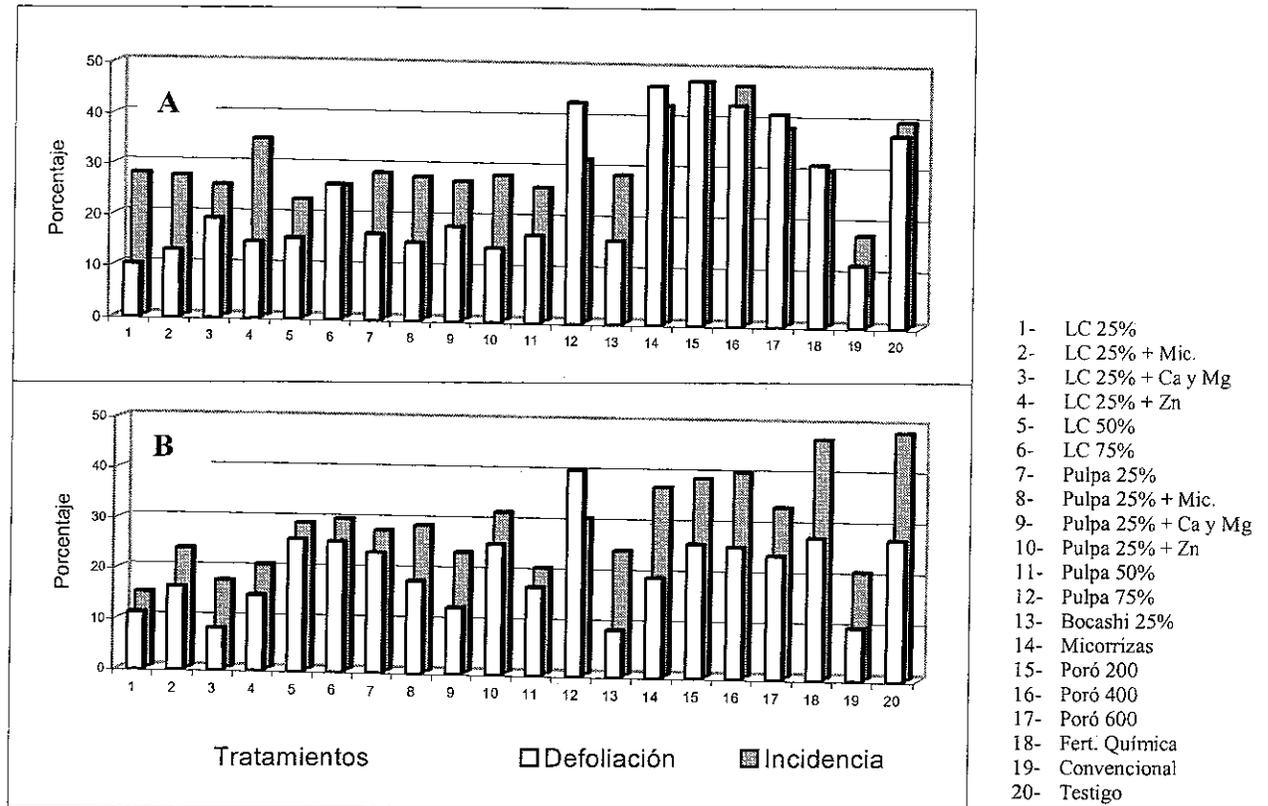


Figura 3. Efecto de sombra (A), sol (B) y sustratos sobre el porcentaje de defoliación e incidencia de *C. coffeicola* en plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

#### 4.1.5. Materia seca

Estadísticamente se registraron diferencias altamente significativas para el efecto de los factores iluminación y sustratos, así como para la interacción en el peso seco de hoja, tallo y raíz. En el anexo 5 se presentan los valores promedios de materia seca de los diferentes órganos de la planta.

**Materia seca de hoja.** Bajo sombra 50%, el menor promedio de materia seca de hoja correspondió al tratamiento testigo (1.1), el mayor al convencional (3.8). Los valores registrados por LC 25%, LC 25% + Mic., LC 25% + Ca y Mg, Pulpa 25% + Zn y Fertilización química variaron entre 3.2 y 3.6, siendo estos estadísticamente similares al convencional. Los tratamientos LC 75%, Pulpa 75%, Micorrizas, Poró 200, 400 y 600 se comportaron estadísticamente similares al testigo absoluto.

A plena exposición solar, el menor promedio de materia seca de hoja lo registró Pulpa 75% (0.3) y el mayor LC 25% (2.5), siendo este último estadísticamente similar a LC 25% + Mic. y Fertilización química y diferente al resto de los tratamientos. Los valores más bajos los presentaron LC 75%, Pulpa 25% + Ca y Mg, Pulpa 50%, Poró 200, Poró 400 y Testigo, siendo estos estadísticamente similares al tratamiento Pulpa 75%.

En la figura 4, se observa que los valores de **materia seca de tallo y raíz**, presentan la misma tendencia de los resultados obtenidos en materia seca de hoja

Kimania y Njoroge (1988) plantean que uno de los beneficios de la sombra es que disminuyen la temperatura del aire ambiental y foliar, y que esto favorece la fotosíntesis. Aldazábal y Alarcón (1994) determinaron que el tamaño de las hojas de plantas cultivadas a la sombra superó significativamente al de las plantas cultivadas a plena exposición solar. En el presente estudio, aunque no se midió el tamaño de las hojas, si se observó mayor tamaño de hojas en las plantas que crecieron bajo sombra, y el soporte de la aseveración anterior lo demuestra la mayor acumulación de materia seca de las plantas que crecieron en esta condición.

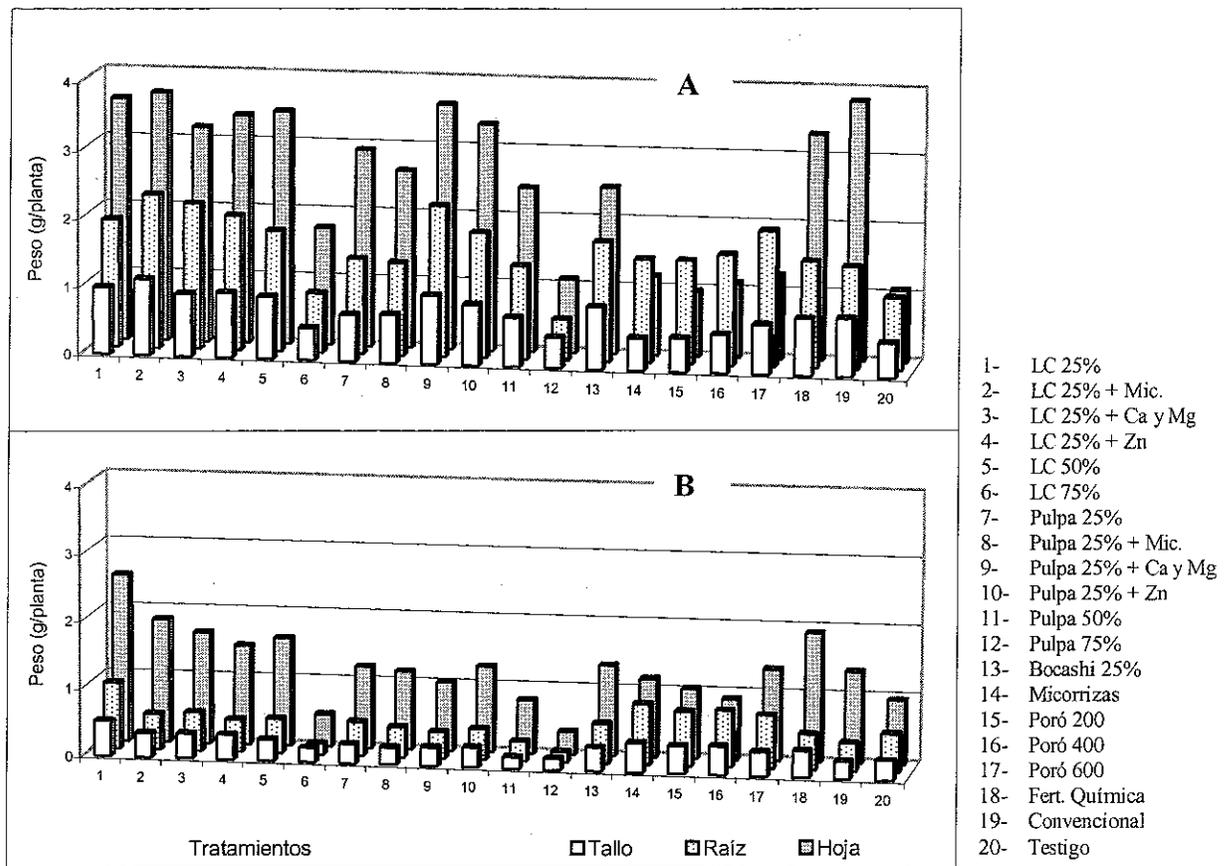


Figura 4. Efecto de sombra (A), sol (B) y sustratos sobre la materia seca de tallo, raíz y hoja de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Dentro de los atributos de los abonos orgánicos se destacan la influencia en la estructura del suelo, en el pH, contenido de nutrientes y la capacidad de absorción de agua; todo esto influye en el desarrollo y eficiencia de las micorrizas (Saif, 1987). Rivas-Platero (1997) determinó que ciertos productos del compostaje actúan como acarreadores de hongos micorrícicos. Cuervo (1997) trabajando con diferentes tipos de abonos orgánicos, determinó que la aplicación del hongo micorrícico *Glomus occultum*, mejora la eficiencia del compost tradicional y del abono tipo bocashi, al promover el crecimiento de la especie forestal *Tabebuia rosea*.

Rivera *et al.* (1997) determinaron que la relación lombricompost/suelo más adecuada para maximizar el efecto de la inoculación de hongos micorrizógenicos (MVA) y

por ende obtener plántulas de café más vigorosas, resultaron inversamente relacionadas con el nivel de fertilidad de suelo; en la medida en que el suelo era más fértil, fueron necesarias menores cantidades de lombricompost para obtener los mayores efectos y viceversa, encontrando estas relaciones entre 1:3 y 1:7 (lombricompost:suelo). Aunque en este estudio se utilizó el mismo suelo (cuadro 1) en las mezclas de los sustratos, si se pudo determinar que probablemente existió un efecto sinérgico entre el hongo inoculado, los presentes en el lombricompost y sombra 50%, ya que en esta iluminación el tratamiento (LC 25% + Mic.) presentó los mayores valores para la mayoría de las variables evaluadas.

#### **4.1.6. Vigor**

El efecto de iluminación no fue estadísticamente significativo, sin embargo la interacción "ilum \* trat" presentó diferencias estadísticas significativas (Anexo 5).

Bajo sombra, el mayor valor (4.4) correspondió al tratamiento convencional, siendo este estadísticamente similar a los tratamientos LC 25%, LC 25% + Mic., LC 50% y Pulpa 25% + Zn. El menor valor (1.9) lo registró el tratamiento Poró 200 el cual, estadísticamente fue similar a los tratamientos Pulpa 75%, Micorrizas, Poró 400, Poró 600 y Testigo.

Bajo plena exposición solar, el mayor valor (3.5) lo registro el tratamiento LC 25%, comportándose estadísticamente similar a los tratamientos LC 25% + Mic., LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Bocashi 25% y Fertilización química. El menor valor (1.5) lo registró el tratamiento Pulpa 75%, siendo este diferente estadísticamente al resto de los tratamientos evaluados.

#### 4.1.7. Índice de agallamiento

El índice de agallamiento fue bajo para todos los tratamientos. En la condición plena exposición solar, todos los tratamientos mostraron índices de cero "0" (Según metodología propuesta por Taylor y Sasser, 1983). Similar comportamiento de los tratamientos fue observado bajo sombra 50%, donde la mayoría registraron índices de cero, los tratamientos LC 25% + Mic., LC 50%, Pulpa 25% + Zn, Micorrizas, Poró 400, Poró 600 y Fertilización química presentaron índices igual a uno "1".

Los abonos orgánicos estimulan la proliferación de organismos benéficos y/o la producción de sustancias antagónicas para los nemátodos (Marban, 1996). Además, una excelente nutrición de la planta contribuye a la disminución del daño ocasionado por los nemátodos (Bagyaraj *et al.*, 1979). En este estudio probablemente el mayor efecto haya sido el haber utilizado suelo que provenía de un sistema orgánico, donde posiblemente debe existir un equilibrio entre nemátodos fitopatógenos y benéficos. Es necesario darle continuidad a este tipo de trabajos, utilizando otros tipos de abonos orgánicos y aumentar el periodo de evaluación final.

#### 4.1.8. Nutrición

Para evaluar los contenidos foliares se usaron los valores óptimos reportados por Bertsch (1995): N de 2.3 - 3%; P de 0.12 - 0.20%; K de 2 - 2.5%; Ca de 1 - 2.5%; Mg de 0.25 - 0.40%; Cu de 10 a 25 mg/kg; B de 40 - 75 mg/kg; Mn de 50 - 300 mg/kg y Zn de 12 - 30 mg/kg.

De forma general, el análisis de los contenidos foliares de macro y micronutrientes evidenció buena respuesta de estas variables a los tratamientos evaluados. La mayoría de los tratamientos presentó concentraciones cerca o dentro de los rangos considerados adecuados, indicando que la cantidad de elementos aportados por los sustratos fue suficiente para suplir las demandas de la planta.

En relación con los **macronutrientes** (anexo 6), el efecto de los factores, al igual que su interacción resultaron ser altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para las concentraciones de N, Ca y Mg; mientras que para P y K mostraron ser similares estadísticamente.

En la figura 5, se aprecia que los mayores contenidos de N, K, Ca y Mg se presentaron a pleno sol, con excepción de fósforo que tuvo mayores valores bajo sombra.

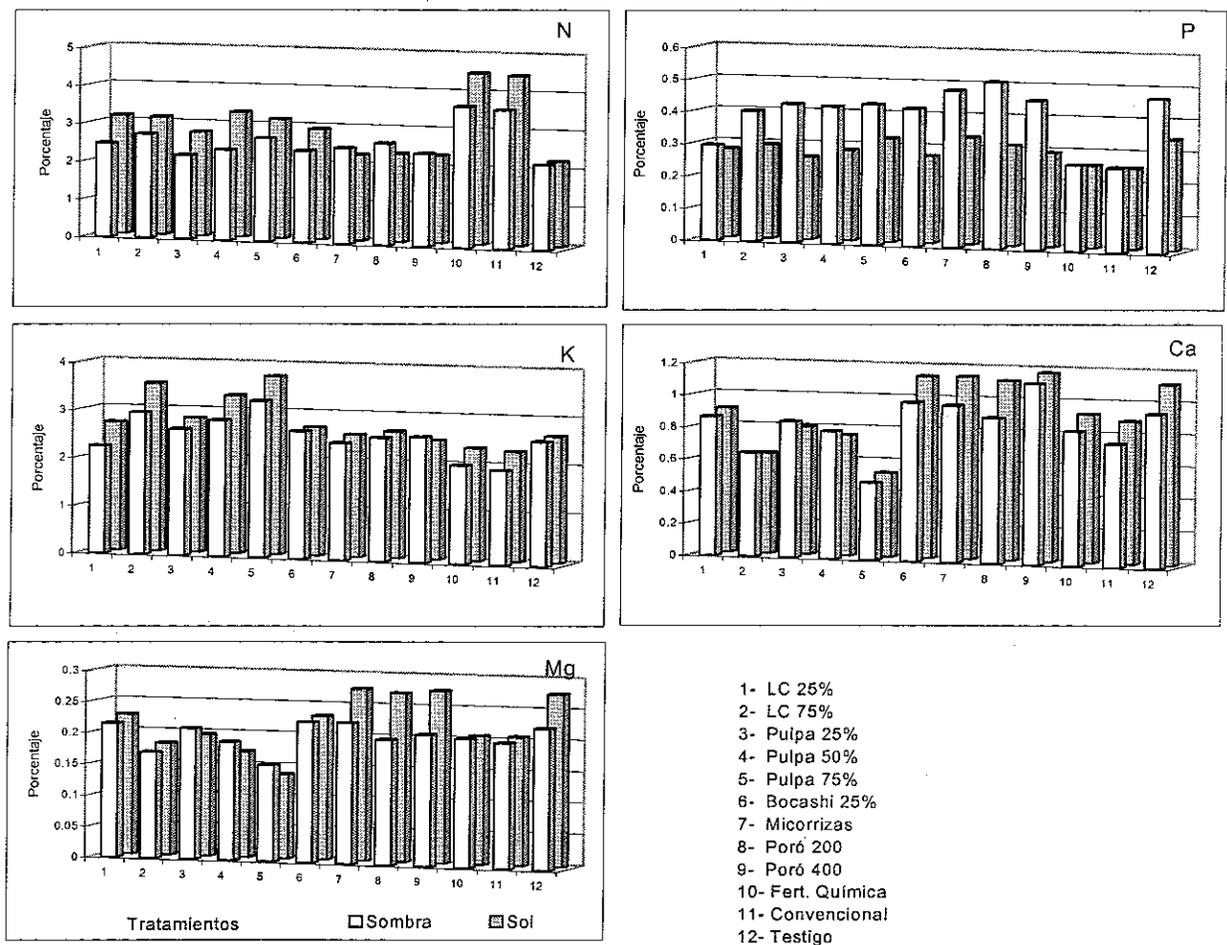


Figura 5. Efecto de los tratamientos en el contenido (%) foliar de macronutrientes en plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Al comparar las concentraciones de elementos presentados por los sustratos con proporciones bajas (1: 3) y altas (3:1) de pulpa y lombricompost, se observa que en la medida que aumenta la proporción, aumentan también las concentraciones de N, P, K, pero bajan los contenidos de Ca y Mg en ambas condiciones de iluminación. Estos resultados indican que el lombricompost y la pulpa descompuesta en proporciones bajas suministran la cantidad óptima y equilibrada de macronutrientes demandados por las plántulas de café.

Los resultados obtenidos, son respaldados por Bertsch (1995) quien menciona, que en general, las plantas que crecen rápido debido a condiciones favorables, presentan

contenidos de nutrientes más bajos por el "efecto de dilución", es decir, que los nutrientes absorbidos son distribuidos en mayor cantidad de materia seca, resultando en concentraciones más bajas; y que por el contrario si la planta crece lentamente debido a condiciones adversas los contenidos de nutrientes pueden ser muy altos. Howeler (1983), plantea que, la interacción entre los nutrientes es otro factor que afecta el contenido foliar. Por ejemplo, es bien conocido que la aplicación de P disminuye el contenido foliar de Zn, o que la aplicación de K disminuye el contenido de Ca y Mg, altas concentraciones de Fe, disminuyen los contenidos de Cu, Mn y Zn; existe también sinergismo, por ejemplo, en ausencia de P y K el contenido de N es más bajo, y los contenidos más altos de N, P y K se obtiene por lo general, con la combinación más alta de estos tres elementos. Resultados similares a los del presente estudio son reportados por Arrillaga y Gómez (1942) quienes estudiaron el crecimiento del café bajo 1/3, 1/2, 2/3 y plena exposición solar, concluyendo que el crecimiento fue superior bajo exposiciones solares de 1/3 y 1/2. Además, que las plantas bajo pleno sol acumularon en las hojas mayores cantidades de N y K que bajo las otras exposiciones; hubo además, acumulación de P pero en menor cantidad.

El contenido de **nitrógeno** respondió a la mayoría de los sustratos. El menor contenido de nitrógeno en las dos condiciones de iluminación (sombra y sol) lo presentó el testigo absoluto, con valores inferiores al rango óptimo; mientras que en sombra, los mayores valores los presentaron (superiores al óptimo) fertilización química y convencional. A pleno sol los tratamientos con lombricompost, pulpa (excepto pulpa 25%), fertilización química y convencional registraron los mayores valores.

Bajo sombra, los contenidos de **fósforo** foliar fueron superiores a los obtenidos a pleno sol, sin embargo, en ambas condiciones los valores fueron superiores al rango óptimo.

El contenido de **potasio** presentado por los tratamientos en ambas condiciones de iluminación fue óptimo. Los valores obtenidos bajo sombra fueron superiores a los de plena exposición solar.

Bajo sombra, la mayoría de los tratamientos presentaron contenidos de **calcio** y **magnesio** inferiores al rango óptimo. Similar comportamiento fue observado a plena exposición solar. Solo los tratamientos Micorrizas, Poró 200, Poró 600 y testigo bajo sol presentaron contenidos de calcio y magnesio dentro del rango considerado como óptimo.

En ambas condiciones de iluminación los tratamientos LC 75% y Pulpa 75% presentaron los menores valores de Ca y Mg; mientras que Poró 200 mostró los mayores valores.

Los resultados del análisis foliar de los **micronutrientes** (Cu, Zn, Mn y B) se presentan en el anexo 7. El factor iluminación no presentó efectos significativos. Sin embargo, la interacción "ilum \* trat" fue significativa para los contenidos de Cu y Mn.

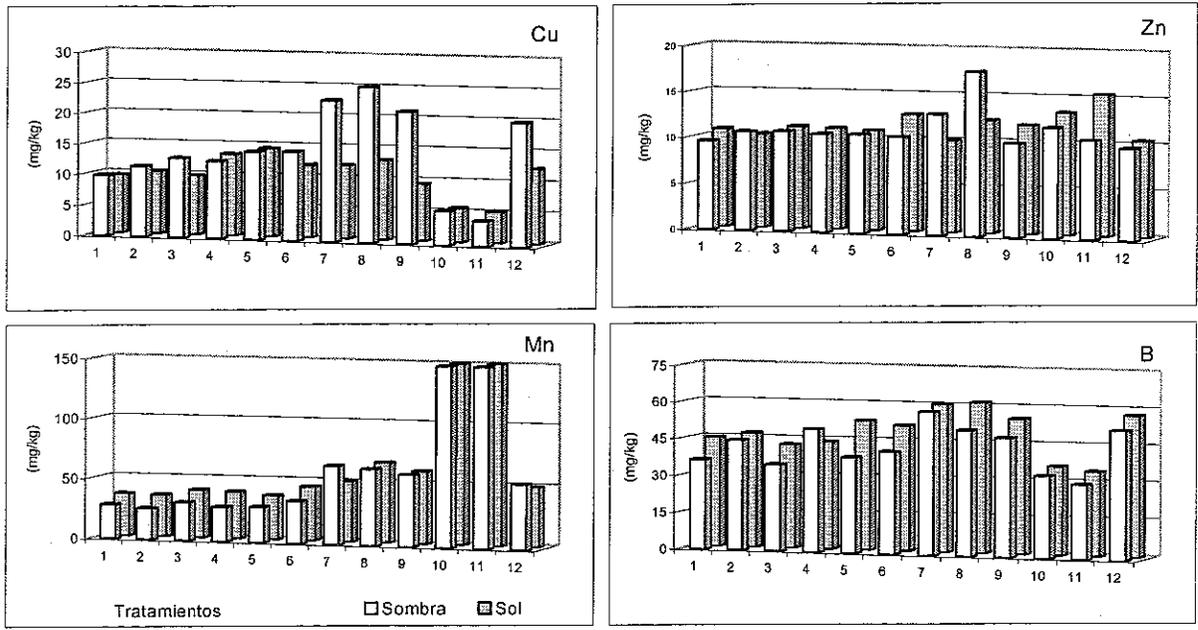
En la figura 6, se observa que las mayores concentraciones de los elementos Zn, Mn y B se presentaron a plena exposición solar, mientras que el Cu mostró los mayores valores bajo sombra.

En ambas condiciones de iluminación, los tratamientos LC 25%, Fertilización química y Convencional presentaron contenidos de **cobre** inferiores a los valores óptimos. Bajo sombra, la concentración varió de 4.1 mg/kg (convencional) a 25.3 mg/kg (poró 200), mientras que a plena exposición solar el contenido osciló de 5.1 mg/kg (convencional) a 14.3 mg/kg (Pulpa 75%).

Con relación al **zinc**, la mayoría de los tratamientos mostraron contenidos inferiores al óptimo en ambas condiciones. En sombra, presentó valores entre 9.9 mg/kg (testigo) y 17.8 (poró 200), mientras que a plena exposición solar las concentraciones variaron de 9.9 mg/kg (micorrizas) a 15.3 mg/kg (convencional).

En ambas condiciones de iluminación, los contenidos de **manganeso** mostrados por fertilización química y convencional fueron muy altos. El grupo de tratamientos, micorrizas, poró 200, poró 600 y testigo presentaron valores comprendidos dentro del óptimo; el resto de tratamientos presentaron valores inferiores.

Bajo sombra, el contenido de **boro** en los tratamientos LC 25%, Pulpa 25%, pulpa 75%, fertilización química, convencional y a plena exposición solar fertilización química y convencional presentaron valores inferiores al óptimo. En sombra, el contenido varió de 30.2 mg/kg (convencional) a 84.3 mg/kg (poró 600) y en sol de 34.1 mg/kg (convencional) a 61.1 mg/kg (poró 200)



- 1- LC 25%      2- LC 75%      3- Pulpa      4- Pulpa 50%  
 5- Pulpa 75%    6- Bocashi      7- Micor      8- Poró 200  
 9- Poró 600    10- Fert. Qi    11- Conv      12- Testigo

Figura 6. . Efecto de los tratamientos en el contenido (mg/kg) foliar de micronutrientes en plántulas de café a los seis meses después del trasplante

#### 4.1.9. Síntesis de resultados

En el cuadro 5, se presentan los coeficientes de correlación correspondientes a la relación entre variables. Los coeficientes de la matriz triangular superior corresponden a la relación entre pares de variables evaluadas bajo sombra 50% y los de la matriz triangular inferior corresponden a la relación entre pares de variables a plena exposición solar.

Se observa que bajo sombra 50%, la variable vigor tiene una correlación significativamente más fuerte con las variables altura, defoliación, incidencia, materia seca de hoja y materia seca de tallo; mientras que a plena exposición solar las variables mostraron mayor variabilidad, obteniéndose los mayores coeficientes para las variables vigor con defoliación, vigor con materia seca de hoja y vigor con materia seca de tallo.

En ambas condiciones de iluminación se observa que la defoliación esta en función de la incidencia de *C. coffeicola*.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación correspondientes a la relación entre variables evaluadas en sombra (matriz triangular superior) y sol (matriz triangular inferior)

1	<i>Vigor</i>	<i>Altura</i>	<i>Defoliación</i>	<i>Incidencia</i>	<i>MSH</i>	<i>MST</i>	<i>MSR</i>
<i>Vigor</i>	1	<b>0.889</b>	<b>-0.949</b>	<b>-0.815</b>	<b>0.962</b>	<b>0.875</b>	<b>0.532</b>
<i>Altura</i>	0.482	1	<b>-0.864</b>	<b>-0.576</b>	<b>0.842</b>	<b>0.931</b>	<b>0.763</b>
<i>Defoliación</i>	-0.704	-0.076	1	<b>0.822</b>	<b>-0.887</b>	<b>-0.782</b>	<b>-0.406</b>
<i>Incidencia</i>	-0.269	0.446	0.684	1	<b>-0.770</b>	<b>-0.565</b>	<b>-0.101</b>
<i>MSH</i>	0.887	0.339	-0.508	-0.298	1	<b>0.886</b>	<b>0.571</b>
<i>MST</i>	0.716	0.751	-0.286	0.090	0.697	1	<b>0.812</b>
<i>MSR</i>	0.560	0.863	-0.220	0.175	0.533	0.911	1

Las cifras con negrilla corresponden a las variables bajo sombra 50 %

En los cuadros 6 y 7 se presentan las variables evaluadas en sombra y sol respectivamente, expresadas en rangos. En ambos cuadros los valores de cada columna están en orden ascendente correspondiendo el rango "1" al tratamiento que presentó el mayor valor en las variables vigor, altura y materia seca de hoja, mientras que para las variables defoliación e incidencia de *Cercospora coffeicola* el rango "1" corresponde al tratamiento que presentó el menor porcentaje.

Tanto en sombra como a plena exposición solar se observa que de los 20 sustratos evaluados LC 25%, LC 25% + Mic, LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Ca y

variables defoliación e incidencia de *Cercospora coffeicola* el rango "1" corresponde al tratamiento que presentó el menor porcentaje.

Tanto en sombra como a plena exposición solar se observa que de los 20 sustratos evaluados LC 25%, LC 25% + Mic, LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Ca y Mg, Pulpa 25% + Zn, Bocashi 25%, Fertilización química y Convencional registraron los menores rangos de las principales variables evaluadas. En contraste, los mayores rangos se presentaron en los tratamientos con poró, micorrizas, LC 75%, Pulpa 75% y el testigo absoluto.

Cuadro 6. Resumen de las variables evaluadas bajo sombra de 50% a los seis meses después del trasplante, expresado en rangos.

<i>Tratamientos</i>	<i>Vigor</i>	<i>Altura</i>	<i>Defoliación</i>	<i>Incidencia</i>	<i>MSH</i>
LC 25%	2 *	4 *	1 *	5	2 *
LC 25% + Mic.	3 *	1 *	3 *	5	2 *
LC 25% + Ca y Mg	5	6 *	9 *	3	5 *
LC 25% + Zn	5	3 *	4 *	9	3 *
LC 50 %	4 *	2 *	5 *	2	3 *
LC 75 %	11	13	10	3	9
Pulpa 25%	10	9	6 *	6	6
Pulpa 25 % + Mic	8	8	5 *	5	7
Pulpa 25 % + Ca y Mg	7	9 *	8 *	4	2 *
Pulpa 25 + Zn	4 *	4 *	4 *	6	4 *
Pulpa 50 %	9	9	7 *	3	8
Pulpa 75 %	15	14	15	8	11
Bocashi 25%	6	3 *	6 *	6	8
Micorrizas	14	14	16	12	11
Poró 200	16	12	17	14	12
Poró 400	14	12	14	13	11
Poró 600	12	10	13	10	10
Fert. Química	9	11	11	7	4 *
Convencional	1 *	7	2 *	1	1 *
Testigo	13	13	12	11	11

Los valores con asterisco no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ). (n = 40)

Cuadro 7. Resumen de las variables evaluadas bajo sol a los seis meses después del trasplante, expresado en rangos.

<i>Tratamientos</i>	<i>Vigor</i>	<i>Altura</i>	<i>Defoliación</i>	<i>Incidencia</i>	<i>MSH</i>
LC 25%	1 *	4 *	4 *	1	1 *
LC 25% + Mic.	2 *	5 *	7 *	5	3 *
LC 25% + Ca y Mg	3 *	8	1 *	2	4
LC 25% + Zn	3 *	7	6 *	3	6
LC 50 %	6	8	14	8	5
LC 75 %	10	12	13	9	16
Pulpa 25%	9	7	11	7	10
Pulpa 25 % + Mic	6	5 *	9 *	8	11
Pulpa 25 % + Ca y Mg	5	7	5 *	5	12
Pulpa 25 + Zn	8	5	13	11	9
Pulpa 50 %	11	11	8 *	3	15
Pulpa 75 %	12	10	16	10	17
Bocashi 25%	4 *	5 *	2 *	6	8
Micorrizas	7	2 *	10	13	11
Poró 200	7	2 *	14	14	12
Poró 400	8	2 *	13	15	14
Poró 600	6	3 *	12	12	7
Fert. Química	3 *	6	15	16	2 *
Convencional	5	9	3 *	4	7
Testigo	8	1	15	17	13

Los valores con asterisco no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ). (n = 40)

## 4.2. Efecto de la altitud sobre el crecimiento, nutrición e incidencia de plagas

### 4.2.1. Altura

Los efectos de los factores iluminación y sustratos, así como su interacción fueron significativos ( $p < 0.001$ ) en cada sitio (anexo 8). En ambos sitios, los valores obtenidos bajo sombra fueron superiores a los de plena exposición solar.

En Turrialba (610 msnm), bajo sombra, la altura de planta fue en promedio 28.33% mayor que en Paraíso, sobresaliendo el sustrato Pulpa 25% con el mayor aumento(55%). De igual forma, a plena exposición solar las plantas en Turrialba presentaron mayor altura promedio (41% mayor) con relación a Paraíso, los tratamientos que presentaron los mayores incrementos fueron Pulpa 25%, LC 25% y convencional correspondiendo a 57, 58 y 108% respectivamente.

Es importante destacar que los valores obtenidos en Sombra-Paraíso son ligeramente superiores a los obtenidos en Sol-Turrialba (figura 7).

En Paraíso las alturas oscilaron entre 6.5 y 15.5 cm, correspondiendo a convencional (sol) y Bocashi 25% (sombra) respectivamente; mientras que en Turrialba los valores variaron entre 9.2 y 21.2 cm, correspondiendo a Poró 600 (sol) y pulpa 25% (sombra) respectivamente.

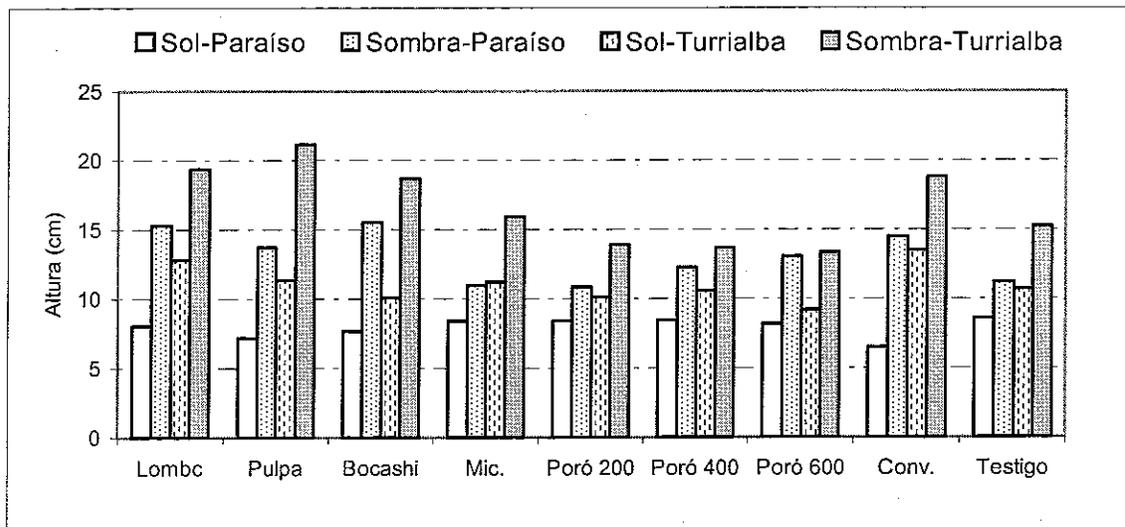


Figura 7. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la altura de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

El menor crecimiento de las plántulas en Paraíso se puede atribuir a la menor temperatura a 1325 msnm. Probablemente se deba también a los efectos del aumento gradual de la proporción de luz ultravioleta (LUV) al aumentar la altitud, puesto que el contenido de LUV es mayor en altas altitudes, siendo este un factor limitante del crecimiento de las plantas (Tranquillini, 1964). López *et al.* (1972) plantean que el crecimiento de las plantas no solo depende de procesos metabólicos y reacciones químicas enzimáticas, sino que también del efecto de los factores ambientales. Estos resultados corroboran los obtenidos por (López *et al.*, 1972; Arcilla, 1974; De la Fe *et al.*, 1988) quienes encontraron mayor crecimiento de las plántulas a menor altitud.

#### 4.2.2. Número de nudos

De los factores estudiados, la interacción (Illum \* Trat) solo fue significativa en Turrialba (anexo 9). Sin embargo, en la figura 8, se puede apreciar que las diferencias numéricas no son relevantes. La mayoría de los tratamientos presenta valores entre 10 y 11.5. El mayor valor (13.1) lo presentó pulpa 25% en Turrialba (Sombra), el cual fue estadísticamente similar al convencional (12.7), pero diferente al resto de los tratamientos. El menor valor (9.7) correspondió al bocashi a pleno sol (Paraíso).

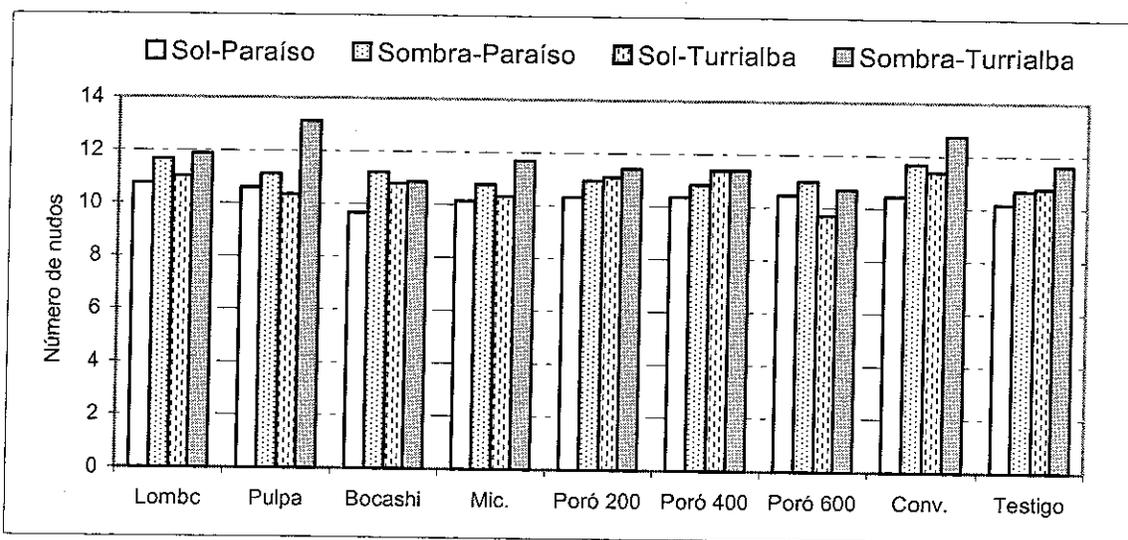


Figura 8. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el número de nudos de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

### 4.2.3. Defoliación e Incidencia de *Cercospora coffeicola*

#### 4.2.3.1. Defoliación

En el anexo 10, se presentan los resultados para este parámetro en las dos zonas de estudio. En Paraíso los factores iluminación y composición de sustratos, así como la interacción fueron estadísticamente diferentes, mientras que en Turrialba fueron similares.

En Turrialba, todos los tratamientos (excepto Micorrizas bajo sombra) presentaron mayor defoliación que en Paraíso. Bajo sombra, la defoliación promedio fue 95.12% mayor que en Paraíso y a plena exposición solar fue 183%.

En Paraíso, bajo sombra, la defoliación osciló entre 10.3% para LC 25% y 47.7% para Poró 200, mientras que en sol, los valores extremos fueron de bocashi (9.2) y testigo (27.6). En contraste, en Turrialba se presentó una mayor defoliación (22.9 - 63%) generalizada para todos los tratamientos. Los menores valores correspondieron a los tratamientos convencional y pulpa 25%. En ambos sitios la mayor defoliación se observó en los tratamientos con Poró, Micorrizas y testigo absoluto (figura 9).

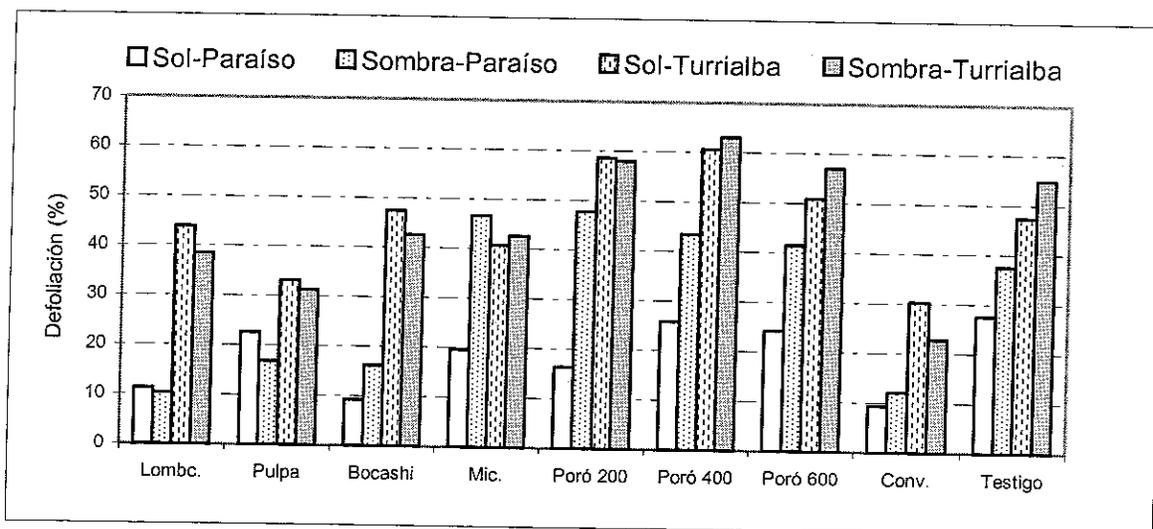


Figura 9. Efecto de sitio, sombra y sustratos sobre la defoliación de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

#### 4.2.3.2. Incidencia de *Cercospora coffeicola*

Los factores en estudio y su interacción fueron estadísticamente similares en cada uno de los sitios (anexo 11).

En Paraíso, la incidencia osciló entre 14.7% para LC 25% (sol) y 48.2% para el testigo (sol). El grupo de tratamientos que mostraron los menores valores fue Convencional, LC 25%, Pulpa 25% y Bocashi 25%. En Turrialba, al igual que la defoliación, la incidencia presentó mayores valores (23.9 - 57%), presentando los menores valores convencional, pulpa 25% y LC 25% en ambas condiciones de iluminación (figura 10).

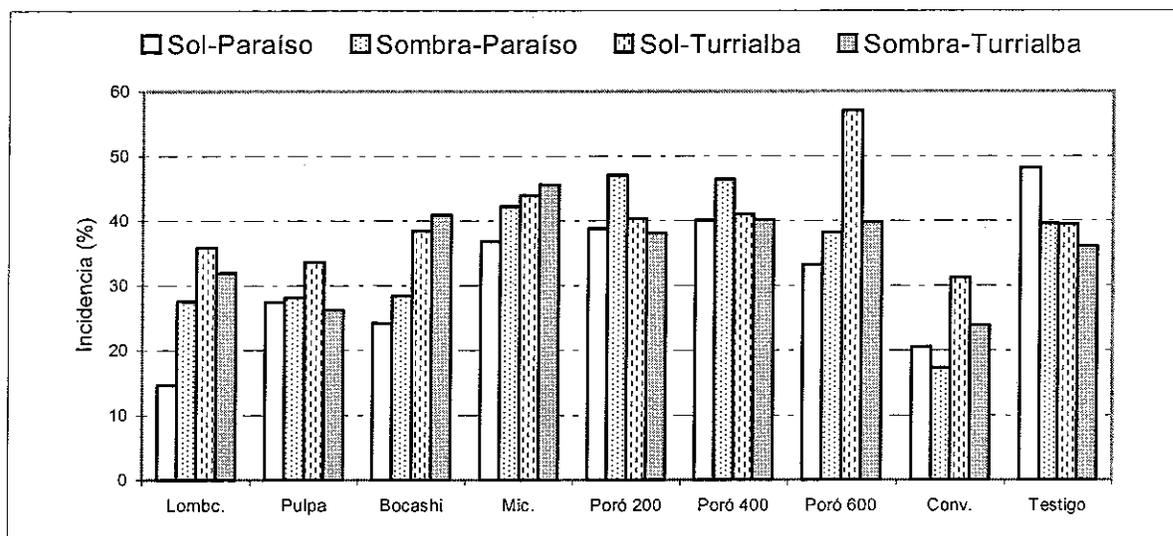


Figura 10. Efecto de sitio, sombra y sustratos sobre la incidencia de *C. coffeicola* en plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Yarwood (1967) y Addicott (1968) reportan que las plantas afectadas por fitopatógenos (hongos y bacterias) responden con diferentes tipos de manifestaciones fisiológicas. Una de estas respuestas es la abscisión foliar, la cual está asociada con la producción de etileno ( $C_2H_4$ ) del organismo causal y el tejido afectado. El etileno aún en bajas concentraciones puede producir abscisión aun en hojas jóvenes. Valencia (1970) demostró que la defoliación producida en café se debe a la liberación de etileno en cantidades superiores a lo normal.

Es conocido que la altitud modifica los factores climáticos. La diferencia en altitud entre los dos sitios es de 723 m, lo que explica las diferencias principalmente en temperatura. Por lo tanto, la mayor defoliación e incidencia de *C. coffeicola* en la mayoría de los tratamientos en Turrialba se le puede atribuir a que las condiciones climáticas presentes fueron más adecuadas para el desarrollo de *C. coffeicola*. Sin embargo, es importante destacar el efecto de los sustratos Pulpa 25% y LC 25%, los cuales presentaron valores bajos de defoliación e incidencia y estadísticamente similares al tratamiento convencional en ambos sitios. Los resultados coinciden con Cadena (1982) quien encontró que con la proporción 1:3 (pulpa:suelo) se obtienen plántulas vigorosas y con incidencia de *C. coffeicola* muy bajo, que no difirió del tratamiento Pulpa 25% + fungicida

#### 4.2.4. Materia seca

En Turrialba, el efecto de los factores iluminación y sustratos, así como su interacción fueron significativos ( $p < 0.001$ ) para materia seca de hoja, tallo y raíz; mientras que en Paraíso la interacción solo fue significativa para materia seca de hoja y tallo (anexo 12).

En la figura 11, se puede apreciar que los mayores valores de materia seca de tallo y raíz se presentaron en Turrialba, y principalmente en las plantas crecidas bajo sombra. Además, es menester mencionar que en cada sitio de estudio, los valores obtenidos bajo sombra fueron superiores a los de plena exposición solar.

De forma general, en ambos sitios, los tratamientos, convencional, LC 25%, Pulpa 25% y Bocashi 25% presentaron los mayores valores. En contraste, los tratamientos con Poró, Micorrizas y testigo absoluto tuvieron los valores más bajos.

En Turrialba, bajo sombra, LC 25%, Pulpa 25%, Bocashi 25%, Micorrizas, Convencional y Testigo presentaron un incremento promedio de materia seca de hoja de 69% mayor con relación a los obtenidos en Paraíso. En contraste, los tratamientos con Poro mostraron mejor comportamiento en Paraíso, presentando un incremento promedio de materia seca de hoja de 40% mayor que en Turrialba. Similar comportamiento al observado bajo sombra fue mostrado por los tratamientos a plena exposición solar (anexo 13).

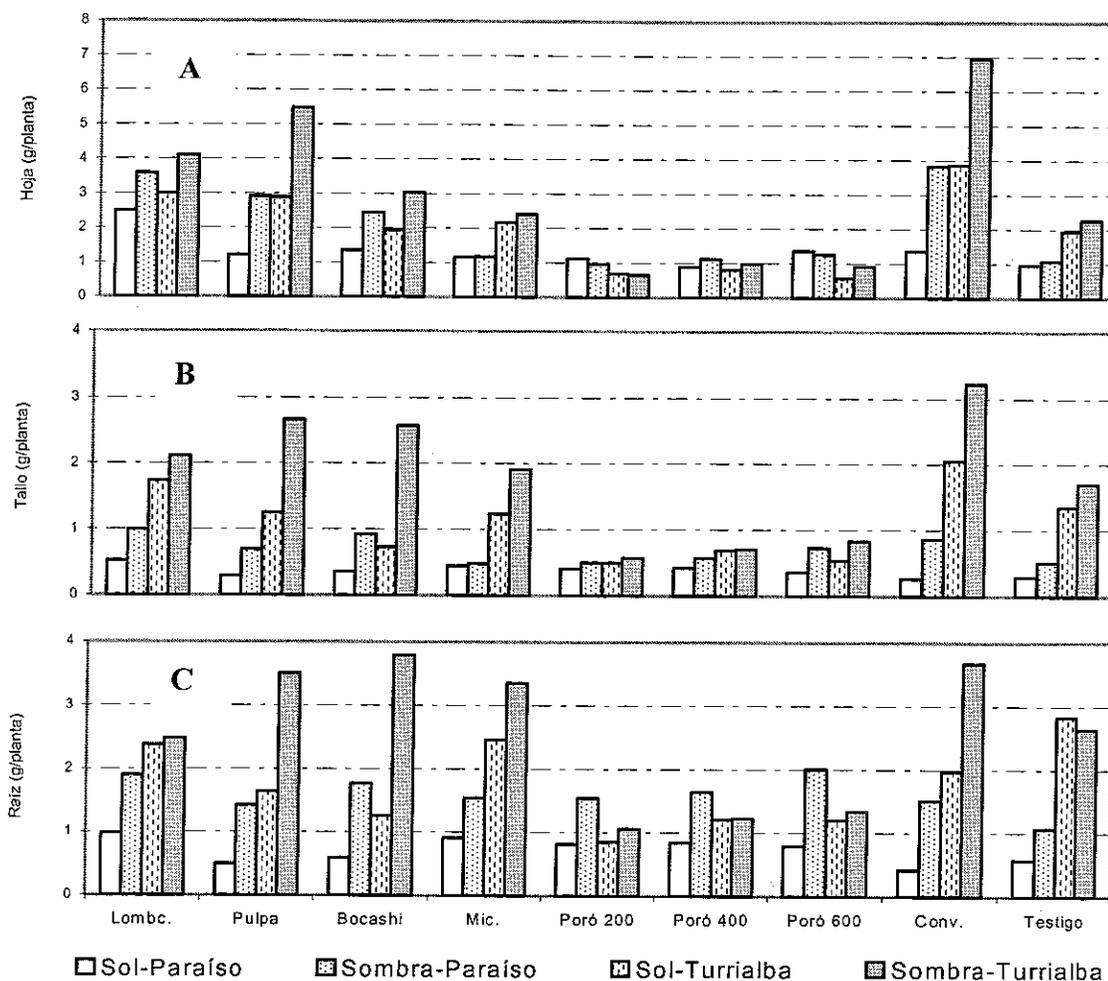


Figura 11. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la materia seca de hoja (A), tallo (B) y raíz (C) de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

En Paraíso, bajo sombra, la materia seca de hoja presentó valores que oscilaron entre 3.8 para convencional y 1 g/planta para Poró 200. Bajo plena exposición solar el mayor valor (2.5) lo registró LC 25% y el menor (0.9) Poró 400.

En Turrialba la materia seca de hoja osciló entre 6.9 para Convencional (sombra) y 0.6g/planta para Poró 600 (sol). El tratamiento Convencional, Pulpa 25% y LC 25% presentaron los valores más altos en ambas condiciones de iluminación.

#### 4.3.1. Vigor

El efecto iluminación fue no significativo, sin embargo, la interacción (Trat \* Ilum) fue estadísticamente significativo en cada uno de los sitios (anexo 14).

En ambos sitios, los tratamientos LC 25%, Pulpa 25%, Bocashi 25% y Convencional presentaron los mayores valores. Además, los valores obtenidos fueron mayores en sombra que a plena exposición solar. En contraste, los tratamientos con Poró, Micorrizas y testigo presentaron los valores más bajos, pero estos fueron mayores en sol que en sombra (figura 12).

Los resultados obtenidos en este parámetro son consistentes con los valores obtenidos en las variables altura, defoliación, incidencia de *C. coffeicola* y materia seca. Por lo tanto, en este estudio se demostró, que la evaluación del vigor es una forma fácil y no destructiva de evaluar el crecimiento de las plántulas de café.

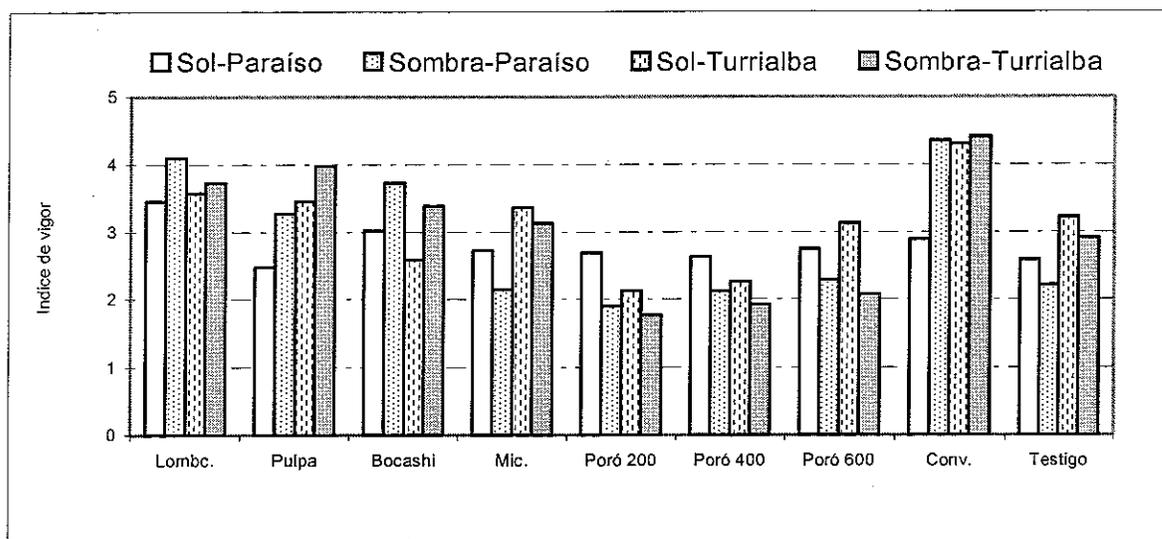


Figura 12. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el vigor de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

#### 4.3.2. Índice de agallamiento

El índice fue bajo. En ambos sitios, bajo plena exposición solar, todos los tratamientos mostraron índices de cero. Mientras que, bajo sombra, en Paraíso, Micorrizas, Poró 400 y Poró 600 y en Turrialba LC 25%, Pulpa 25%, Poró 200 y Poró 400 presentaron índices de agallamiento igual a uno; el resto de los tratamientos mostraron índices de cero.

#### 4.3.3. Nutrición

En el cuadro 8, se presentan los resultados del análisis foliar de macro y micronutrientes realizado a las plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Para interpretar los resultados se usaron los valores óptimos reportados por Bertsch (1995). En ambos sitios, los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, cobre y boro encontrados en los diferentes sustratos están dentro del rango óptimo. Sin embargo, los contenidos de calcio, magnesio, zinc y manganeso en la mayoría de los sustratos presentaron valores por debajo o ligeramente por encima del límite inferior de rango óptimo.

Cuadro 8. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el contenido de macro y micronutrientes de plántulas de café a los seis meses después del trasplante.

Tratamientos	Nitrógeno (%)				Fósforo (%)				Potasio (%)			
	Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	2.5	3.1	2.8	3.0	0.29	0.27	0.25	0.27	2.2	2.7	3.0	3.2
Pulpa 25%	2.2	2.7	2.3	3.1	0.43	0.25	0.28	0.30	2.6	2.8	2.9	3.1
Bocashi 25%	2.4	2.9	2.4	3.1	0.42	0.27	0.28	0.28	2.7	2.7	2.8	3.0
Micorrizas	2.5	2.3	2.5	2.6	0.48	0.33	0.36	0.30	2.4	2.5	2.6	2.5
Poros 200	2.7	2.3	2.5	2.6	0.51	0.31	0.30	0.28	2.6	2.6	2.9	2.7
Poros 400	-----	-----	2.3	2.7	-----	-----	0.32	0.32	-----	-----	3.1	3.0
Poros 600	2.4	2.3	-----	-----	0.46	0.29	-----	-----	2.6	2.5	-----	-----
Convencional	3.6	4.4	3.8	4.4	0.26	0.25	0.23	0.21	2.0	2.3	3.1	2.5
Testigo	2.2	2.2	2.8	3.0	0.47	0.34	0.30	0.29	2.6	2.6	3.0	2.7
Óptimo	2.3 - 3				0.12 - 0.20				2 - 2.5			

Tratamientos	Calcio (%)				Magnesio (%)				Cobre (mg/kg)			
	Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	0.86	0.90	1.15	0.96	0.21	0.22	0.27	0.26	9.9	9.5	14.4	14.3
Pulpa 25%	0.84	0.79	0.98	0.96	0.21	0.19	0.19	0.22	13.0	9.6	15.0	16.0
Bocashi 25%	0.98	1.13	1.23	1.06	0.22	0.23	0.24	0.24	14.5	11.8	15.5	13.1
Micorrizas	0.97	1.14	1.04	1.24	0.22	0.27	0.25	0.32	23.0	12.0	21.3	13.2
Poros 200	0.90	1.11	1.11	1.11	0.20	0.27	0.24	0.27	25.3	13.0	23.3	13.8
Poros 400	-----	-----	0.83	1.03	-----	-----	0.20	0.27	-----	-----	27.3	21.9
Poros 600	1.12	1.17	-----	-----	0.21	0.27	-----	-----	21.5	9.3	-----	-----
Convencional	0.76	0.88	1.04	1.35	0.20	0.20	0.25	0.30	4.1	5.1	4.8	3.4
Testigo	0.95	1.11	0.99	1.06	0.22	0.27	0.26	0.29	20.1	12.1	21.6	14.3
Óptimo	1 - 2.5				0.25 - 0.40				10 - 25			

Tratamientos	Zinc (mg/kg)				Manganeso (mg/kg)				Boro (mg/kg)			
	Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba		Paraiso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	9.7	10.6	10.3	9.7	28.3	35.1	41.2	58.9	36.4	44.4	43.0	56.1
Pulpa 25%	10.8	11.0	9.8	9.6	31.5	39.5	47.0	49.9	35.1	42.1	51.6	53.5
Bocashi 25%	10.5	12.6	10.8	9.7	35.1	44.5	40.7	51.0	41.5	51.0	59.7	63.8
Micorrizas	13.1	9.9	9.6	9.7	64.9	49.6	54.0	95.1	58.0	60.1	75.6	71.4
Poros 200	17.8	12.2	10.1	11.7	63.2	66.0	49.7	82.7	51.0	61.1	65.0	84.1
Poros 400	-----	-----	9.8	10.0	-----	-----	48.9	74.4	-----	-----	53.3	65.2
Poros 600	10.1	11.8	-----	-----	59.1	59.5	-----	-----	84.3	54.8	-----	-----
Convencional	10.7	15.3	11.6	10.9	560.2	809.1	247.7	518.2	30.2	34.1	39.5	26.5
Testigo	9.9	10.4	12.2	11.0	53.8	49.2	70.3	82.1	52.3	52.1	51.6	67.5
Óptimo	12 - 30				50 - 300				40 - 75			

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Experimento 1:

#### Factor iluminación

- Los mayores valores de las variables sobrevivencia, altura, vigor y materia seca de hoja, tallo y raíz se presentaron bajo sombra de 50%.
- Tanto en sombra de 50%, como a plena exposición solar, los valores de defoliación e incidencia de *C. coffeicola* fueron similares.
- Las plantas bajo plena exposición solar acumularon mayores contenidos de N, K, Ca, Mg, Zn, Mn y B; mientras que las cantidades de P y Cu fueron mayores bajo sombra de 50%.

#### Factor composición de sustratos

- En ambas condiciones de iluminación, de los 20 sustratos evaluados LC 25%, LC 25% + Mic, LC 25% + Ca y Mg, LC 25% + Zn, Pulpa 25% + Ca y Mg, Pulpa 25% + Zn, Bocashi 25%, Fertilización química y Convencional registraron los mayores valores de altura, vigor y materia seca; además los menores porcentajes de defoliación e incidencia de *C. coffeicola*; sobresaliendo en sombra LC 25% + Mic y en sol LC 25% con los mejores valores.
- De forma general los menores valores de altura, materia seca y vigor, y los mayores porcentajes de defoliación e incidencia de *C. coffeicola* se presentaron en los tratamientos con poró, micorrizas, LC 75%, Pulpa 75% y el testigo absoluto.
- Los resultados obtenidos muestran las bondades de la pulpa de café (procesada con o sin lombrices), al usarse en el sustrato en proporción 1:3 (abono orgánico:suelo), ya que influye en las propiedades del suelo, proporcionando un ambiente adecuado para la obtención de plantas sanas y vigorosas.
- El índice de agallamiento fue bajo para todos los tratamientos.

### **Basados en los resultados se recomienda:**

- El uso de sombra para la producción de almácigos de café.
- Usar la proporción 1:3 (abono:suelo), utilizando los sustratos; LC, pulpa descompuesta y bocashi.
- Estudiar el comportamiento de los mejores sustratos de este estudio en otras zonas cafetaleras y utilizar suelo de menor fertilidad.
- Estudiar otras relaciones lombricompost/micorrizas.
- Hacer un análisis de costos de los diferentes sustratos.

## **5.2. Experimento 2:**

### **Sitio y Factor iluminación**

- El crecimiento (altura y materia seca) de las plántulas de café aumentó a menor altitud, pero también aumentó la defoliación y la incidencia de *C. coffeicola*.
- En ambos sitios, bajo sombra de 50% se presentaron los mayores valores de altura, vigor y materia seca.

### **Factor composición de sustratos**

- En Paraíso, en ambas condiciones de iluminación, los tratamientos LC 25% y Bocashi 25 y Convencional presentaron los mayores valores de altura, vigor y materia seca; además registraron los menores valores de defoliación e incidencia de *C. coffeicola*.
- En Turrialba, en ambas condiciones de iluminación, los tratamientos Pulpa 25%, LC 25% y Convencional presentaron los mejores valores de las variables evaluadas.
- En ambas localidades, el índice de agallamiento fue bajo para todos los tratamientos.
- Los contenidos foliares de macro y micronutrientes encontrados (excepto zinc) están cerca o dentro del rango óptimo indicando que los diferentes sustratos proporcionaron las demandas nutricionales de las plántulas en etapa de almácigo.

### **Basados en los resultados se recomienda:**

- Basados en los resultados, en altitudes entre 610 y 1325 msnm se recomienda el uso de sombra para la producción de almácigos de café.
- En ambos sitios, tanto en sombra como en sol, los sustratos que presentaron los mayores valores de altura, materia seca y vigor, y los valores más bajos de defoliación e incidencia fueron LC 25%, Pulpa 25%, Bocashi 25% y Convencional.
- Con el procesamiento de la pulpa (con o sin lombrices) se obtiene abono orgánico (lombricompost o pulpa descompuesta), el cual es una opción al uso de la fertilización convencional en almácigos de café.
- La evaluación del vigor es una forma fácil y no destructiva de evaluar el crecimiento de las plántulas de café.
- La evaluación del número de nudos es un parámetro del cual se puede prescindir en estudios futuros ya que en este estudio no generó información relevante.

## VI. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abawi, G. S.; Thurston, H. D. 1995. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Una revisión. In: Thurston, H. D.; Smith, N.; Abawi, G.; Kearl, S. (eds). Tapado: los sistemas de siembra con coberturas. pp. 97-108.
- Adazábal, M.; Alarcón, O. 1994. Fisiología del cafeto en condiciones de montaña. V. Crecimiento de hojas al sol y bajo sombra. Centro Agrícola 21:53-57.
- Addicott, F. T. 1968. Environmental factors in the physiology of abscission. Plant Physiology 43:1471-1479.
- Alfaro, R. 1997. Estudio de sistemas fertilización orgánica versus fertilización química en el cultivo del café (*Coffea arabica*) en la zona de Alajuela. In: Simposio Latinoamericano de Caficultura (18, 1997, San José, Costa Rica). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp. 171-176.
- Girón, J. J. 1987. La sombra del cafeto. Revista Cafetalera No. 283:10-15.
- ANACAFE, 1998. Manual de Caficultura. 3<sup>ra</sup> ed. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 318 p.
- Anderson, J. M.; Swift, M. J. 1983. Descomposition in tropical forests. In: Sutton, S. L.; Whitmore, T. C. and Chadwick, A. C. (eds). Tropical Rainforests: Ecology and Management. Oxford, Blackwell Scientific. pp. 287-309.
- Aranda, D. E. 1995. Lombricompostaje de residuos orgánicos. In: Curso taller sobre Agricultura Orgánica (1, 1995, Xalapa, Veracruz). Memoria. México. p. 69-79.
- Arcilla, P. J. 1974. Efecto de la luz ultravioleta en plántulas de café en almácigo. Notas Técnicas. Cenicafé, Julio - Septiembre: 90-93.
- Arias, M. O. 1987. Fisiología del Cafeto. Nueva San Salvador, ISIC. 176 p.
- Arrillaga, G. J.; Gómez, L. A. 1942. Effect of solar radiation intensity on the vegetative growth and yield of coffee. Journal Agric. Univ. Puerto Rico 26:73-90.
- Avendaño, L. F.; Echeverri, R. J. H. 1989. Evaluación de los costos de producción y calidad del abono orgánico obtenido a partir de pulpa de café, utilizando tres tipos de infraestructura. Noticiero del café 4. (47):1-4.

- Bagyaraj, D. J.; Manjunath, A.; Reddy, D. D. 1979. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhiza with root knot nematodes in tomato. *Plant and Soil* 51:397-409.
- Barrientos, M. E. 1991. Evaluación de la pulpa de café como abono. In: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (14, 1991, Panamá). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp.497-502.
- Barrientos, M. E. 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. 85 p.
- Beer, J. W.; Muschler, R. G. Somarriba, E.; Kass, D. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bertsch, H. F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157 p.
- Binder, U. 1997. Manual de Leguminosas de Nicaragua. Tomos I y II. Estelí, Nicaragua, PASOLAC-EAGE. 528 p.
- Cáceres, D. 1995. Fertilización Orgánica. *El Caficultor, Unicafé* 10: 15-18.
- Cáceres, H. V. 1998. Llénese de lombrices y haga buenos viveros de café. *El Caficultor, Unicafé* 21: 27-29.
- Cadena, G. G. 1982. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke) en almácigos. *Cenicafé* 33:76-90.
- Campos, E. 1985. Fertilización del café con materia orgánica. 2. *Noticiero del café*, 1(1):1-2.
- Carvajal, M. J. F. 1972. Cafeto - Cultivo y Fertilización. Berma, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa. 141 p.
- Chinchilla, V. E. 1987. Atlas cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. 396 p.
- Concepción, M. de J. 1982. La pulpa de café y su utilidad como abono orgánico. In: Simposio Latinoamericano sobre Caficultura (5, 1982, San Salvador, El Salvador). Memoria. PROMECAFE. pp. 10-30.

- Cubero, D. 1994. Manual de Conservación de Suelos y Aguas. 2<sup>da</sup> ed, San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 300 p.
- Cuenca, G.; Herrera, R.; Meneses, E. 1991. Las micorrizas vesículo arbusculares y el cultivo del cacao en Venezuela. Acta Científica Venezolana 42:153-159.
- Cuervo, J. L. 1997. Efecto de la aplicación de micorrizas y rizobacterias en el crecimiento de plántulas de dos especies forestales. *C. Alliodora* y *T. Rosea*. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96p.
- Da Costa, M. B. 1995. Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales. In: García, J. E.; Monte-Nájera, J. (eds.). Agricultura Orgánica. Simposio Centroamericano (1995, San José, Costa Rica). Memoria.. pp. 91-119.
- De la Fe, T.; Noguera, T.; Gómez, J.; Aguilar, A. 1988. Influencia de la altitud en el crecimiento y desarrollo de plántulas de café en vivero. Cultivos Tropicales 10:15-20.
- Delgado, M.; Bigeriego, M.; Walter, I.; Calvo, R. 1995. Aplicación de la lombriz roja de California en la transformación de lodos de depuradoras urbanas. Turrialba 45:33-41.
- Edwards, C. A. 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Edwards, C. A. ed. Earthworm Ecology. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa, USA. St. Lucie Press. pp. 327-354.
- Edwards, C.; Neuhauser, E. 1988. Earthworms in and Enviromental Management. Academic Publishing, Netherlands. 392 p.
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. 2<sup>da</sup> ed, Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 29. 530 p.
- Fassbender, H. W. 1982. Química de Suelos; con Enfoque en Suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 422 p.
- Fernández, B. O.; López, D. S. 1971. Fertilización de plántulas de café y su relación con la incidencia de mancha de hierro. Cenicafé 22:95-108.



- Fernández, C. E.; Muschler, R. G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In: Betrand, B. and Rapidel, B (eds). Desafíos de la Caficultura en Centro América. IICA/PROMECAFE/CIRAD/CCCR. pp 69-96.
- Figuroa, G.; Del Valle, R. 1991. Evaluación de porcentaje de pulpa en almácigos de café. In: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (14, 1991, Panamá). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp. 503-509.
- Figuroa, Z. R.; Fischersworing, H. B.; Roskamp, R. R. 1996. Guía para la Caficultura Ecológica: Café orgánico. Lima, Perú, Novella Publigráf S.R.L. 169 p.
- Fox, R. H.; Myers, R. J.; Vallis, I. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant and Soil* 129:251-259.
- Gajdos, R. 1992. The use of organic waste materials as organic fertilizers-recycling of plant nutrients. *Acta Horticulture* 302:325-331.
- Giller, K. E.; Wilson, K. F. 1991. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CAB International. UK. 313 p.
- Gómez, D. 1995. La agricultura orgánica en Costa Rica y las alianzas estratégicas. In: García, J. E.; Monte-Nájera, J. (eds.). Agricultura Orgánica. Simposio Centroamericano (1995, San José, Costa Rica). Memorias. pp. 215-236.
- Gómez, J.; Torrente, A.; Miranda, J. C. 1995. Rendimientos de sustancias húmicas de ocho lombricompuestos. *Acta Agronómica* 45:45-50.
- González, W.; Paniagua, A.; Fernández, Y.; Rodríguez, J.; Montes de Oca, P. 1995. Respuesta del pilón (*Hyeronia alchorneoides*) en la etapa de vivero a la aplicación de tres fuentes de material orgánico. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)* 20(2): 47-51.
- Grupo Internacional para el Desarrollo Sostenible de la Agricultura y los Recursos Naturales. 1995. Semillas para el futuro: agricultura sostenible y recursos naturales en las Américas. San José, Costa Rica, IICA/GTZ /OPEC. 67 p.

- Guerrero, J. 1993. Abonos orgánicos, tecnología para el manejo ecológico de suelos. Lima, Perú, Red de Acción en Alternativas al Uso de Agroquímicos. 90 p.
- Hernández, G. J.; Villalobos, S. C. 1997. Evaluación del efecto del lombricompost de bovino como abono en almácigo de café. In: Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp 177-182.
- Holdridge, S. J. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 206 p.
- Holland, E. A.; Coleman, D. C. 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68:425-433.
- Howeler, R. H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 28 p.
- Huber, D. M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. *Plant-Dis-Adv-Treatise* 5:389:406.
- ICAPE-MAG, 1989. Manual de Recomendaciones para el Cultivo del Café. 6<sup>ta</sup> ed. San José, Costa Rica. 122 p.
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 1997. Los fertilizantes y la salud del suelo. *Informaciones Agronómicas*, No. 29:13.
- Jiménez, C. A. 1997. Aporte de la caficultura al desarrollo de América Latina. In: Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp. 3-11.
- Jiménez, E. I.; García, V. P. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological Wastes* 27:115-142.
- Kass, D.; Barrantes, A.; Bermúdez, W.; Campos, W.; Jiménez, M.; Sánchez, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. *Boletín Informativo* 19:5-24.
- Kimemia, J. K.; Njoroge, J. M. 1988. Effects of shade on coffee – a review. *Kenya Coffee* 53:387-391.

- Koeppel, D. E.; Rohrbaugh, L. M.; Wender, S. H. 1969. The effect of varying U.V. intensities on the concentration of scopolin and caffeoylquinic acids in tobacco and sunflower. *Phytochemistry* 8:889-896.
- Kolmans, E.; Vásquez, D. 1996. *Manual de Agricultura Ecológica: una introducción a los principios básicos y su aplicación*. Managua, Nicaragua, SIMAS/CICUTEC. 222 p.
- Kumar, D.; Tieszen, L. L. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Expl. Agric.* 16:13-19.
- León, S.; Villalobos, G.; Fraile, J.; Gonzáles, N. 1992. Cultivo de lombrices (*Eisenia foetida*) utilizando compost y excretas animales. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)* 16:23-28.
- Lofs-Holmin, K. 1985. *Vermiculture. Present Knowledge of the Art of Earthworm Farming. A Summary of Recent Literature*. Sweden, Swedish Univ. of Agric. Sciences. 69 p.
- López, A. 1989. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de la agricultura. In: *Simposio Nacional sobre Tecnología Apropriada y Agricultura Biológica* (1, 1989, Turrialba, Costa Rica). Memoria. pp. 34-39.
- López, C. F.; Naranjo, J. O.; Villegas, E. M.; Valencia, A. G. 1972. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. *Cenicafé* 23:87-103.
- López, M. R.; Aguila, M. R.; Ramírez, L. C. 1992. Tamaño del tubo, materia orgánica y ejes múltiples en el desarrollo de plántulas de café en vivero. In: *Simposio de Caficultura Latinoamericana* (15, 1992, Honduras). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp. 1-26.
- Marbán, M. N. 1996. Opciones para el manejo de nemátodos en el café. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 42:45-48.
- Martínez, C. 1996. *Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo*. México. 140 p.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of the decomposition rate. *Ecology* 59:465-472.

- Mestre, M. A. 1977. Evaluación de la pulpa de café como abono orgánico para almácigos. *Cenicafé* 28: 18-26.
- Montero, H. M. 1992. Elaboración de bioabono a partir de pulpa de café. *Noticiero del café*, 6(66):2-4.
- Morales, D.; San, O.; Dellamico, J. 1985. Crecimiento de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L. variedad Caturra) al sol y bajo sombra controlada. II. Viveros estacionales. *Cultivos Tropicales* 7:3-11.
- Muschler, R. G. 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). Memoria. IICA/PROMECAFE. pp. 471-476.
- Ordoñez, V. M.; Palma, M. R. 1993. Evaluación de modalidades de fertilización al suelo y foliar en la producción de viveros de café en bolsas de polietileno. *Boletín Técnico Informativo del Café*. IHCAFE, No. 5:1-10.
- Palm, C. A.; Sánchez, P. A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22:330-338.
- Palm, C. A.; Sánchez, P. A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology Biochemistry* 23:83-88.
- Paul, E. A.; Clark, F. E. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2<sup>da</sup> ed. San Diego, California, Academic Press. 340 p.
- Ramírez, C. 1996. Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: oportunidades en la fitoprotección. In: Congreso Nacional Agronómico (X, 1996, San José, Costa Rica). Memoria. pp. 81-84.
- Restrepo, J. 1996. *Abonos Orgánicos Fermentados, Experiencias de Agricultores en Centroamérica y Brasil*. San José, Costa Rica. 51 p.
- Rivas-Platero, G. G. 1997. Avances de investigación en micorizas vesículo arbusculares. In: *Semana Científica CATIE*. (3,1997, Turrialba, C. R.) Actas. pp. 124-126.
- Rivas-Platero, G. G.; Cuervo, A. J. 1998. Interacción de hongos endomicorrízicos con *Meloidogyne exigua* en café. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 49:68-72.

- Rivera, R.; Fernández, C.; Sánchez, C.; Bustamante, C.; Herrera, R.; Ochoa, M. 1997. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos y bacterias rizoféricas sobre el crecimiento de las posturas de cafeto. *Cultivos Tropicales* 18:15-23.
- Rodríguez, O. 1990. Evaluación de programas de fertilización de almacigales de café en el cantón de Pérez Zeledón. *ICAFFE, Boletín Técnico* 53 (1):1.
- Saif, S. R. 1987. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil* 97:25-35.
- Sánchez, P. A. 1981. *Suelos del trópico, características y manejo*. San José, Costa Rica. IICA. 634p.
- Sánchez, P.; Szott, L.; Cuevas, E.; Lal, R. 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. In: Coleman, J. M. and G. Uehara (eds). *Dynamics of soil aorganic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii. 249 p.
- Sasaki, S.; Alvarado, M.; Li Kam, A. 1994. *Manual del Curso Básico de Agricultura Orgánica*. Universidad de Costa Rica. 30 p.
- Sieverding, E. 1989. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo-arbúscular. In: Sieverding, E.; Sánchez, M. de P and Bravo, N. (eds). *Investigaciones sobre micorrizas en Colombia (I, 1989, Palmira, Colombia)*. Proceedings. 2<sup>da</sup> ed. CIAT/GTZ. pp. 65-81.
- Soto, F.; Morales, D.; Dell'Amico, J.; Jerez, E. 1991. Dinámica del crecimiento de plántulas de cafeto bajo diferentes condiciones de aviveramiento. *Cultivos Tropicales* 12:77-85.
- Suarez de Castro, F.; Montenegro, L.; Aviles, C.; Moreno, M.; Bolaños, M. 1961. Efecto del sombrío en los primeros años de vida de vida de un cafetal. *Café (Costa Rica)* 3:81-102.
- Subba, N. 1993. *Biofertilizer in Agriculture and Forestry*. New York, International Science Publisher. 242 p.
- Szott, L. T.; Kass, D. C. 1994. Los fertilizantes en los sistemas agroforestales. In: Krishnamurthy, L and Leos-Rodríguez, J. A. (eds). *Agroforestería en Desarrollo:*

- Educación, Investigación y Extensión. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 281 p.
- Taylor, A. L.; Sasser, J. N. 1983. Biología, Identificación y Control de los Nemátodos de Noduló de la Raíz. Carolina del Norte, USA. 111 p.
- Thurston, H. 1992. Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. Boulder, USA Westview Press. 279 p.
- Tineo, A. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas. Turrialba, Costa Rica. CATIE/RENARM/Manejo de cuencas. 32 p.
- Tranquillini, W. 1964. The physiology of plants at high altitudes. Annual Review of Plant Physiology 15:345-362.
- Uribe, H.; Salazar, A. N. 1983. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. Cenicafé 34: 44-58.
- Valencia, A. G. 1970. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el cafeto. Cenicafé 21:105-114.
- Valencia, A. G. 1993. La materia orgánica y su importancia en el cultivo del café. Boletín técnico, No. 16, Cenicafé. 23 p.
- Vargas, R.; Laprade, S.; Barquero, M. 1996. Consideraciones básicas sobre la biotransformación (composteo) de residuos orgánicos, Corbana (Costa Rica) 21:163-177.
- Vilas, B. O. 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización de nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales, en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 152 p.
- Yarwood, C. E. 1967. Response to parasites. Annual Review of Plant Physiology 18:419-438.

# ANEXOS

Anexo 1. Efecto de sombra y sustratos en la sobrevivencia (%) de plántulas de café a los dos meses después del trasplante (2 mdt) y en la altura (cm) en tres fechas de evaluación (2, 4 y 6 mdt). Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Altura (2 mdt)		Altura (4 mdt)		Altura (6 mdt)		Sobrevivencia (2 mdt)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	3.1 abcd	2.2 def	8.1 abc	4.6 bcd	15.3 ab	8.1 abcd	100 a	69 cd
LC 25% + Mic.	2.9 abcd	2.2 def	8.1 abc	4.3 bcde	15.9 a	7.6 abcdef	96 a	70 cd
LC 25% + Ca y Mg	3.3 a	2.0 f	7.9 cd	3.9 e	14.9 abcd	7.0 defg	96 a	79 abc
LC 25% + Zn	3.2 abc	2.1 ef	8.3 abc	4.1 cde	15.6 ab	7.2 cdef	95 a	81 abc
LC 50 %	3.0 abcd	2.4 cde	7.9 bc	4.3 bcde	15.8 a	6.9 defg	96 a	53 efg
LC 75 %	2.9 bcd	3.0 a	6.6	4.4 bcde	11.0 ij	5.8 g	98 a	46 fg
Pulpa 25%	3.0 abcd	2.0 ef	7.1 fg	4.1 bcde	13.7 def	7.2 cdef	89 a	66 cde
Pulpa 25 % + Mic	2.9 abcd	2.5 bcd	7.2 efg	4.3 bcde	14.0 cdef	7.7 abcdef	96 a	59 def
Pulpa 25 % + Ca y Mg	3.0 abcd	2.0 f	7.8 cd	4.9 a	15.1 abc	7.1 cdef	96 a	79 abc
Pulpa 25 + Zn	3.2 ab	2.0 ef	7.9 bc	3.9 de	15.3 ab	6.8 efg	98 a	70 cd
Pulpa 50 %	3.1 abcd	2.7 abc	7.2 defg	4.0 cde	13.7 ef	5.9 g	98 a	61 def
Pulpa 75 %	3.3 a	2.9 ab	6.3 h	4.6 bc	9.9 j	6.0 g	98 a	66 cde
Bocashi 25%	2.8 cd	2.0 ef	7.9 bc	4.3 bcde	15.5 ab	7.7 abcde	100 a	70 cd
Micorrizas	3.0 abcd	2.0 ef	7.8 cde	4.6 bc	11.0 ij	8.4 ab	98 a	86 ab
Poró 200	3.0 abcd	2.0 ef	7.9 bc	4.5 bcde	10.8 ij	8.4 ab	94 a	76 bc
Poró 400	3.1 abc	1.9 f	8.5 ab	4.6 bc	12.2 gh	8.4 ab	94 a	76 bc
Poró 600	3.0 abcd	2.0 f	8.6 a	4.3 bcde	13.1 fg	8.2 abc	90 a	76 bc
Fert. Química	2.9 d	2.2 def	6.7 gh	4.5 bcde	12.2 gh	7.4 bcdef	90 a	59 def
Convencional	2.7 d	1.9 f	7.6 cdef	3.7 e	14.5 bcde	6.5 fg	90 a	40 g
Testigo	3.0 abcd	1.9 f	7.8 cde	4.7 b	11.3 hi	8.6 a	98 a	89 a
CV (%)	9.98		7.84		8.01		13.96	
Illuminación	**		**		**		**	
Illum. * Trat.	**		**		**		**	

Anexo 2. Efecto de sombra y sustratos en el número de nudos de plántulas de café en cinco fechas de evaluación (2, 3, 4, 5 y 6 mdt). Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	No. nudos (2 mdt)		No. nudos (3 mdt)		No. nudos (4 mdt)		No. nudos (5 mdt)		No. nudos (6 mdt)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	2.4 a	2.1 a	5.4 abc	4.4 abc	8.1 a	7.5 abcd	10.2 a	9.2 a	11.7 a	10.8 a
LC 25% + Mic.	2.4 a	2.2 a	5.7 a	4.0 cde	7.9 abc	7.6 abcd	10.1 a	9.5 a	11.9 a	10.8 a
LC 25% + Ca y Mg	2.3 a	2.3 a	5.2 abcde	4.2 bcde	7.9 abc	7.3 bcde	9.8 a	9.1 a	11.3 a	11.1 a
LC 25% + Zn	2.5 a	2.1 a	5.5 ab	4.2 bcde	7.9 abc	7.2 cde	9.8 a	8.7 a	11.2 a	10.3 a
LC 50 %	2.4 a	2.3 a	5.4 abc	4.1 bcde	8.1 a	7.8 a	10.2 a	9.2 a	11.8 a	11.0 a
LC 75 %	2.7 a	2.1 a	5.0 cdef	4.0 cde	7.7 abcde	7.3 cde	6.6 a	8.4 a	10.7 a	10.1 a
Pulpa 25%	2.4 a	2.2 a	5.1 bcde	3.9 de	7.5 cde	7.2 de	9.7 a	9.3 a	11.1 a	10.6 a
Pulpa 25 % + Mic.	2.1 a	2.2 a	5.0 cdef	4.0 cde	7.8 abcde	7.3 bcde	9.8 a	9.3 a	11.6 a	10.3 a
Pulpa 25 % + Ca y Mg	2.3 a	2.1 a	5.3 abcd	3.9 de	7.9 abc	7.7 abc	10.1 a	9.1 a	11.4 a	10.6 a
Pulpa 25 + Zn	2.3 a	2.1 a	5.4 abc	4.3 bcd	7.8 abcde	7.3 cde	9.9 a	9.0 a	11.5 a	10.5 a
Pulpa 50 %	2.3 a	2.9 a	4.9 def	3.8 e	7.7 abcde	6.9 ef	9.9 a	8.1 a	11.3 a	9.4 a
Pulpa 75 %	2.3 a	2.1 a	4.8 ef	4.1 bcde	7.3 e	6.9 ef	9.1 a	8.2 a	10.3 a	9.7 a
Bocashi 25%	2.1 a	2.3 a	4.7 f	4.0 cde	7.4 de	7.5 abcd	9.6 a	9.4 a	11.2 a	9.7 a
Micorrizas	2.3 a	2.3 a	4.8 ef	4.5 ab	7.6 bcde	7.5 abcd	9.5 a	9.2 a	10.8 a	10.2 a
Poró 200	2.4 a	2.2 a	5.0 cdef	3.9 de	7.7 abcde	7.7 abc	9.4 a	9.1 a	10.9 a	10.3 a
Poró 400	2.3 a	2.3 a	5.1 bcde	4.5 ab	7.7 abcde	7.7 ab	9.6 a	9.4 a	10.8 a	10.4 a
Poró 600	2.5 a	2.3 a	5.2 bcde	4.3 abcd	7.7 abcde	7.6 abcd	9.9 a	9.4 a	11.0 a	10.5 a
Fert. Química	2.2 a	2.5 a	5.2 abcde	4.8 a	7.6 bcde	7.4 abcd	9.5 a	9.0 a	11.4 a	10.1 a
Convencional	2.2 a	2.0 a	5.2 bcde	4.1 bcde	8.0 ab	6.7 f	10.1 a	8.8 a	11.7 a	10.5 a
Testigo	2.3 a	2.2 a	5.0 cdef	4.5 ab	7.6 bcde	7.2 de	9.3 a	8.8 a	10.7 a	10.2 a
CV (%)	12.07		7.02		4.37		5.10		4.69	
Illuminación	**		**		**		**		**	
Ilum. * Trat.	NS		**		*		NS		NS	

Anexo 3. Efecto de sombra y sustratos en la defoliación (%) de plántulas de café en cinco fechas de evaluación (2, 3, 4, 5 y 6 mdt). Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Defoliación (2 mdt)		Defoliación (3 mdt)		Defoliación (4 mdt)		Defoliación (5 mdt)		Defoliación (6 mdt)	
	Sombra	Sol								
LC 25%	12.6 a	29.5 a	19.4 a	11.2 a	10.7 a	11.2 a	11.3 a	8.6 a	10.3 a	11.3 ab
LC 25% + Mic.	13.6 a	24.7 a	12.7 a	14.9 a	9.5 a	10.4 a	5.8 a	8.6 a	13.1 a	16.5 abcd
LC 25% + Ca y Mg	17.0 a	15.7 a	31.3 a	14.9 a	15.1 a	17.4 a	19.1 a	12.2 a	19.5 abc	8.3 a
LC 25% + Zn	22.3 a	22.6 s	9.4 a	11.9 a	13.1 a	15.8 a	11.2 a	13.1 a	14.9 ab	15.0 abc
LC 50 %	17.0 a	11.4 a	15.4 a	13.4 a	11.8 a	11.9 a	16.1 a	19.7 a	15.8 ab	26.1 cd
LC 75 %	17.2 a	18.6 a	23.3 a	28.1 a	17.7 a	12.4 a	19.7 a	15.6 a	26.4 bcd	25.7 cd
Pulpa 25%	20.7 a	26.4 a	21.9 a	13.9 a	11.5 a	22.3 a	9.7 a	26.4 a	16.8 ab	23.7 bcd
Pulpa 25 % + Mic	19.0 a	32.7 a	21.2 a	21.2 a	17.9 a	12.8 a	13.1 a	28.5 a	15.2 ab	18.2 abcd
Pulpa 25 % + Ca y Mg	27.1 a	32.1 a	15.8 a	27.3 a	15.7 a	11.2 a	17.0 a	10.3 a	18.5 abc	13.1 abc
Pulpa 25 + Zn	16.3 a	31.6 a	11.7 a	17.7 a	11.6 a	14.7 a	15.0 a	15.0 a	14.4 ab	25.7 cd
Pulpa 50 %	15.6 a	30.3 a	11.1 a	21.8 a	14.5 a	12.2 a	21.5 a	26.3 a	17.0 ab	17.4 abcd
Pulpa 75 %	21.2 a	22.4 a	16.4 a	16.6 a	15.6 a	15.4 a	27.7 a	21.1 a	43.3	ef 40.7 e
Bocashi 25%	15.8 a	13.6 a	14.2 a	14.8 a	19.0 a	18.3 a	11.1 a	10.4 a	16.2 ab	9.2 a
Micorrizas	18.6 a	25.1 a	7.7 a	18.9 a	10.3 a	11.8 a	21.0 a	12.3 a	46.7	f 19.6 abcd
Poró 200	22.6 a	21.8 a	22.7 a	11.5 a	11.4 a	19.4 a	19.3 a	10.1 a	47.7	f 26.4 cd
Poró 400	18.9 a	33.6 a	10.1 a	11.6 a	14.6 a	10.2 a	15.7 a	10.6 a	43.1	ef 25.9 cd
Poró 600	17.0 a	27.6 a	11.5 a	12.6 a	7.8 a	9.1 a	19.4 a	11.6 a	41.5	ef 24.3 bcd
Fert. Química	25.3 a	26.0 a	11.5 a	13.5 a	23.3 a	19.6 a	29.1 a	21.7 a	31.6	cde 27.9 de
Convencional	17.6 a	23.2 a	12.4 a	17.5 a	8.7 a	11.2 a	11.8 a	6.6 a	12.1 a	10.4 ab
Testigo	19.6 a	25.0 a	14.1 a	12.1 a	10.8 a	13.6 a	17.6 a	12.0 a	37.5	def 27.6 de
CV (%)	37.61		55.30		54.34		51.03		40.73	
Illuminación	NS	NS								
Illum. * Trat.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**

Anexo 4. Efecto de sombra y sustratos sobre la incidencia de *Cercospora coffeicola* (%) en plántulas de café en cinco fechas de evaluación (2, 3, 4, 5 y 6 mdt). Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSM-EAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Incidencia (2 mdt)		Incidencia (3 mdt)		Incidencia (4 mdt)		Incidencia (5 mdt)		Incidencia (6 mdt)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	20.2 a	0.0	14.8 a	17.8 a	17.7 a	15.2 a	15.1 a	16.3 abcde	27.6 a	14.7 a
LC 25% + Mic.	14.9 a	0.0	10.9 a	17.4 a	10.1 a	11.8 a	15.1 a	10.9 ab	27.1 a	23.5 a
LC 25% + Ca y Mg	29.3 a	0.0	21.4 a	15.2 a	19.2 a	7.1 a	18.1 a	10.8 a	25.4 a	17.1 a
LC 25% + Zn	19.7 a	0.0	14.3 a	17.7 a	24.5 a	11.4 a	23.1 ab	13.5 abc	34.5 a	20.4 a
LC 50 %	21.3 a	0.0	25.4 a	19.1 a	15.0 a	14.0 a	16.3 a	17.9 abcde	22.7 a	28.7 a
LC 75 %	13.9 a	0.0	20.9 a	13.4 a	34.5 a	17.2 a	21.3 ab	20.6 abcde	25.6 a	29.6 a
Pulpa 25%	15.6 a	0.0	16.8 a	26.3 a	17.5 a	13.3 a	20.3 a	14.7 abcd	28.1 a	27.4 a
Pulpa 25 % + Mic	20.3 a	0.0	18.1 a	18.4 a	12.5 a	16.1 a	18.6 a	25.6 e	27.5 a	28.6 a
Pulpa 25 % + Ca y Mg	38.7 a	0.0	18.3 a	22.7 a	22.4 a	12.4 a	18.3 a	11.9 abc	26.7 a	23.4 a
Pulpa 25 + Zn	0.0 a	0.0	13.3 a	19.9 a	18.6 a	16.1 a	21.7 ab	22.6 de	28.1 a	31.4 a
Pulpa 50 %	0.0 a	0.0	22.5 a	24.9 a	21.7 a	16.2 a	19.3 a	16.3 abcde	25.8 a	20.6 a
Pulpa 75 %	15.6 a	0.0	22.8 a	23.5 a	25.4 a	16.1 a	30.4 bc	21.6 cde	31.4 a	30.5 a
Bocashi 25%	18.6 a	0.0	24.0 a	22.3 a	16.4 a	15.3 a	20.4 a	13.2 abcd	28.4 a	24.2 a
Micorrizas	14.3 a	0.0	11.9 a	27.5 a	36.3 a	15.9 a	42.0 de	15.9 abcde	42.2 a	36.8 a
Poró 200	28.2 a	0.0	12.4 a	13.1 a	21.4 a	15.9 a	46.0 e	14.7 abcd	47.1 a	38.8 a
Poró 400	14.9 a	0.0	20.3 a	17.2 a	30.2 a	11.9 a	40.5 de	18.1 abcde	46.4 a	40.1 a
Poró 600	0.0 a	0.0	12.1 a	20.2 a	31.4 a	17.7 a	35.4 cd	12.7 abcd	38.2 a	33.2 a
Fert. Química	15.6 a	0.0	28.3 a	21.2 a	27.4 a	13.1 a	23.4 ab	19.4 abcde	29.9 a	46.7 a
Convencional	0.0 a	0.0	12.8 a	11.9 a	11.8 a	12.0 a	16.4 a	11.2 abc	17.3 a	20.6 a
Testigo	17.3 a	0.0	12.8 a	13.9 a	22.7 a	18.2 a	34.4 cd	20.9 bcde	39.6 a	48.2 a
CV (%)	28.66		39.95		52.84		34.28		27.17	
Illuminación	NS		NS		NS		**		NS	
Illum. * Trat.	NS		NS		NS		**		NS	

Anexo 5. Efecto de sombra y sustratos sobre materia seca de hoja, tallo, raíz (g/planta) y vigor de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Hoja (gr/pta)		Tallo (gr/pta)		Raíz (gr/pta)		Vigor	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	3.6 ab	2.5 a	1.0 ab	0.5 a	1.9 abcde	1.0 a	4.1 a	3.5 a
LC 25% + Mic.	3.7 a	1.8 abc	1.1 a	0.4 abcd	2.3 a	0.5 abcd	4.0 abc	3.3 ab
LC 25% + Ca y Mg	3.2 abcd	1.7 bcd	0.9 abc	0.4 abcd	2.2 abc	0.6 abcd	3.8 bcde	3.1 abc
LC 25% + Zn	3.4 ab	1.5 bcdef	1.0 ab	0.4 abcd	2.0 abcd	0.5 bcd	3.8 bcdef	3.1 abcd
LC 50 %	3.4 ab	1.6 bcde	0.9 bc	0.3 bcd	1.8 bcdefg	0.5 bcd	3.9 abcd	2.8 cdef
LC 75 %	1.7 fg	0.5 gh	0.5 i	0.2 cd	0.9	0.2 d	2.7 g	2.2 g
Pulpa 25%	2.9 bcde	1.2 bcdefg	0.7 efgh	0.3 bcd	1.4	0.5 bcd	3.3 f	2.5 fg
Pulpa 25 % + Mic	2.6 cde	1.2 cdefg	0.7 defg	0.3 bcd	1.4	0.4 cd	3.5 def	2.8 cdef
Pulpa 25 % + Ca y Mg	3.6 ab	1.0 defgh	1.0 ab	0.3 bcd	2.2 ab	0.4 cd	3.6 cdef	2.9 bcdef
Pulpa 25 + Zn	3.4 abc	1.3 bcdef	0.9 bcd	0.3 bcd	1.9 abcdef	0.5 bcd	3.9 abcd	2.6 efg
Pulpa 50 %	2.4 ef	0.8 fgh	0.7 cdef	0.2 d	1.4	0.3 d	3.4 ef	2.2 g
Pulpa 75 %	1.1 gh	0.3 h	0.5 i	0.2 d	0.6	0.2 d	2.0 h	1.5 h
Bocashi 25%	2.5 def	1.3 bcdef	0.9 bc	0.4 abcd	1.8 cdefg	0.6 abcd	3.7 bcdef	3.0 abcde
Micorrizas	1.2 gh	1.2 cdefg	0.5 i	0.4 ab	1.5	0.9 ab	2.1 h	2.7 cdef
Poró 200	1.0 h	1.0 defgh	0.5 hi	0.4 abc	1.5	0.8 abc	1.9 h	2.7 cdef
Poró 400	1.1 gh	0.9 efgh	0.6 fghi	0.4 ab	1.6	0.8 abc	2.1 h	2.6 def
Poró 600	1.3 gh	1.4 bcdef	0.7 cdef	0.4 abcd	2.0 abcd	0.8 abc	2.3 gh	2.8 cdef
Fert. Química	3.3 abc	1.9 ab	0.8 bcde	0.4 abc	1.6	0.5 abcd	3.4 ef	3.1 abcd
Convencional	3.8 a	1.4 bcdef	0.9 bcde	0.3 bcd	1.5	0.4 cd	4.4 a	2.9 bcdef
Testigo	1.1 gh	1.0 defgh	0.5 ghi	0.3 bcd	1.1	0.6 abcd	2.2 h	2.6 efg
CV (%)	28.39		26.77		29.56		11.83	
Iluminación	**		**		**		NS	
Ilum. * Trat.	**		**		**		**	

Anexo 6. Efecto de sombra y sustratos en los contenidos foliares de N, P, K, Ca y Mg de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=2$ ).

Tratamientos	Nitrógeno (%)		Fósforo (%)		Potasio (%)		Calcio (%)		Magnesio (%)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	2.5 bcd	3.1 bc	0.30 a	0.28 a	2.2 a	2.7 a	0.86 bcde	0.90 bc	0.21 ab	0.22 bc
LC 75%	2.7 b	3.1 bc	0.41 a	0.29 a	3.0 a	3.5 a	0.64 f	0.62 e	0.17 c	0.18 de
Pulpa 25%	2.2 e	2.7 d	0.43 a	0.26 a	2.6 a	2.8 a	0.84 cde	0.79 cd	0.21 ab	0.19 cde
Pulpa 50%	2.4 de	3.3 b	0.43 a	0.28 a	2.8 a	3.3 a	0.79 de	0.75 d	0.19 bc	0.17 e
Pulpa 75%	2.7 bc	3.1 bc	0.44 a	0.32 a	3.3 a	3.7 a	0.48 g	0.52 e	0.15 d	0.13 f
Bocashi 25%	2.4 de	2.9 cd	0.43 a	0.27 a	2.7 a	2.7 a	0.98 b	1.13 a	0.22 a	0.23 b
Micorrizas	2.5 bcd	2.3 e	0.49 a	0.33 a	2.4 a	2.5 a	0.97 b	1.14 a	0.22 a	0.27 a
Poró 200	2.7 bcd	2.3 e	0.52 a	0.31 a	2.6 a	2.6 a	0.90 bcd	1.11 a	0.20 abc	0.27 a
Poró 600	2.4 cde	2.3 e	0.46 a	0.29 a	2.6 a	2.5 a	1.12 a	1.17 a	0.21 ab	0.27 a
Fert. Química	3.7 a	4.5 a	0.27 a	0.26 a	2.0 a	2.3 a	0.83 cde	0.92 b	0.20 ab	0.20 bcd
Convencional	3.6 a	4.4 a	0.26 a	0.25 a	2.0 a	2.3 a	0.76 ef	0.88 bc	0.20 abc	0.20 bcd
Testigo	2.2 e	2.2 e	0.48 a	0.34 a	2.6 a	2.6 a	0.95 bc	1.11 a	0.22 a	0.27 a
CV (%)	4.99		13.35		5.37		6.59		6.85	
Illuminación	**		NS		NS		*		**	
Illum. * Trat.	**		NS		NS		*		**	

Anexo 7. Efecto de sombra y sustratos en los contenidos foliares de Cu, Zn, Mn y B de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra, dentro de cada columna, no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=2$ ).

Tratamientos	Cobre (mg/kg)		Zinc (mg/kg)		Manganeso (mg/kg)		Boro (mg/kg)			
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol		
LC 25%	9.9	d	9.65	a	28.3	b	35.1	b	44.4	a
LC 75%	11.5	c	10.7	a	26.0	b	34.6	b	44.7	a
Pulpa 25%	13.0	c	10.8	a	31.5	b	39.5	b	42.1	a
Pulpa 50%	12.6	c	13.3	ab	28.5	b	38.6	b	50.0	a
Pulpa 75%	14.3	c	14.3	a	29.4	b	36.1	b	38.8	a
Bocashi 25%	14.5	c	11.8	abc	35.1	b	44.5	b	41.5	a
Micorrizas	23.0	ab	11.9	abc	64.9	b	49.6	b	58.0	a
Poró 200	25.3	a	12.9	abc	17.8	a	66.0	b	61.1	a
Poró 600	21.5	b	9.3	cd	10.1	a	59.1	b	84.3	a
Fert. Química	5.5	e	5.4	de	11.9	a	583.0	a	822.1	a
Convencional	4.1	e	5.1	e	10.7	a	560.2	a	809.1	a
Testigo	20.1	b	12.13	abc	9.9	a	53.8	b	49.2	b
CV (%)	14.87		19.71		36.74		10.84			
Iluminación	NS		NS		NS		NS			
Ilum. * Trat.	**		NS		*		NS			

Anexo 8. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la altura de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba		Incremento Porcentual (Turrialba/Paraíso)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	15.3 a	8.1 ab	19.4 ab	12.8 ab	27 *	58 **
Pulpa 25%	13.7 bc	7.2 bc	21.2 a	11.3 bc	55 **	57 **
Bocashi 25%	15.5 a	7.7 ab	18.7 b	10.1 cd	21 NS	31 NS
Micorrizas	11.0 f	8.4 a	15.9 c	11.2 bc	45 **	33 *
Poros 200	10.8 f	8.4 a	13.9 de	10.1 cd	29 NS	20 *
Poros 400	12.3 de	8.4 a	13.7 de	10.6 cd	11 **	26 NS
Poros 600	13.1 cd	8.2 ab	13.4 e	9.2 d	2 **	12 NS
Convencional	14.5 ab	6.5 c	18.8 b	13.5 a	30 NS	108 **
Testigo	11.3 ef	8.6 a	15.3 cd	10.7 cd	35 NS	24 NS
CV (%)	7.16		9.29			
Iluminación	**		**			
Trat. * Ilum.	**		**			
Prob> T					**	*
						NS

Anexo 9. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el número de nudos de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	11.7 a	10.8 a	11.8 bc	11.0 ab
Pulpa 25%	11.1 a	10.6 a	13.1 a	10.4 bc
Bocashi 25%	11.2 a	9.7 a	10.9 de	10.8 ab
Micorrizas	10.8 a	10.2 a	11.7 cd	10.3 bc
Poros 200	10.9 a	10.3 a	11.4 cde	11.1 ab
Poros 400	10.8 a	10.4 a	11.4 cde	11.4 a
Poros 600	11.0 a	10.5 a	10.7 de	9.7 c
Convencional	11.7 a	10.5 a	12.7 ab	11.4 a
Testigo	10.7 a	10.2 a	11.6 cde	10.8 ab
CV (%)	4.02		6.12	
Iluminación	**		**	
Trat. * Ilum.	NS		**	

Anexo 10. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la defoliación de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba		Variación Porcentual (Turrialba/Paraíso)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	10.3 a	11.3 a	38.5 a	43.9 a	274 **	288 **
Pulpa 25%	16.8 a	22.6 b	31.2 a	33.1 a	86 **	46 **
Bocashi 25%	16.2 a	9.2 a	42.5 a	47.4 a	162 **	415 **
Micorrizas	46.7 b	19.6 b	42.5 a	40.6 a	- 10 **	107 *
Poros 200	47.7 b	16.4 b	58.0 a	58.6 a	22 NS	257 **
Poros 400	43.4 b	25.9 b	63.0 a	60.6 a	45 **	134 **
Poros 600	41.5 b	24.3 b	57.0 a	51.0 a	37 NS	109 NS
Convencional	12.1 a	9.3 a	22.9 a	30.4 a	89 *	227 **
Testigo	37.5 b	27.6 b	54.8 a	47.4 a	46 *	72 NS
CV (%)	37.79		20.29			
Iluminación	**		NS			
Trat. * Ilum.	*		NS			
Prob> T					**	*
						NS

Anexo 11. Efecto de sitio, sombra y sustratos en la incidencia de *Cercospora coffeicola* de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	27.6 a	14.7 a	32.0 a	35.9 a
Pulpa 25%	28.1 a	27.4 a	26.2 a	33.6 a
Bocashi 25%	28.4 a	24.2 a	40.9 a	38.4 a
Micorrizas	42.2 a	36.8 a	45.6 a	44.0 a
Poros 200	47.1 a	38.8 a	38.1 a	40.3 a
Poros 400	46.4 a	40.1 a	40.2 a	41.0 a
Poros 600	38.2 a	33.2 a	39.8 a	57.0 a
Convencional	17.3 a	20.6 a	23.9 a	31.2 a
Testigo	39.6 a	48.2	36.1 a	39.4 a
CV (%)	18.79		22.74	
Iluminación	NS		*	
Trat. * Ilum.	NS		NS	



Anexo 13. Variación porcentual de la materia seca de hoja de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante en función de en función de sitio, sombra y sustratos (Prueba "t" student).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba		Variación Porcentual (Turrialba/Paraíso)		
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
LC 25%	3.6	2.5	4.1	3.0	14 NS	20 NS	
Pulpa 25%	2.9	1.2	5.5	2.9	90 *	142 *	
Bocashi 25%	2.5	1.4	3.0	1.9	20 NS	36 NS	
Micorrizas	1.2	1.2	2.4	2.2	100 *	83 *	
Poros 200	1.0	1.1	0.6	0.7	- 67 NS	- 57 NS	
Poros 400	1.1	0.9	1.0	0.8	- 10 NS	- 13 NS	
Poros 600	1.3	1.4	0.9	0.6	- 44 *	- 133 *	
Convencional	3.8	1.4	6.9	3.9	82 NS	179 *	
Testigo	1.1	1.0	2.3	1.9	109 NS	90 NS	
Prob> T					**	*	NS

Anexo 14. Efecto de sitio, sombra y sustratos en el vigor de plántulas de café a los 6 meses después del trasplante. Valores con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente según la prueba LSMEAN ( $p < 0.05$ ) ( $n=4$ ).

Tratamientos	Paraíso		Turrialba	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol
LC 25%	4.1 ab	3.5 a	3.7 bc	3.6 b
Pulpa 25%	3.3 bc	2.5 c	4.0 ab	3.5 b
Bocashi 25%	3.7 bc	3.0 ab	3.4 cd	2.6 c
Micorrizas	2.1 d	2.7 bc	3.1 d	3.4 b
Poros 200	1.9 d	2.7 d	1.8 e	2.1 c
Poros 400	2.1 d	2.6 d	1.9 e	2.3 c
Poros 600	2.3 d	2.8 d	2.1 e	3.1 b
Convencional	4.4 a	2.9 a	4.4 a	4.3 a
Testigo	2.2 d	2.6 d	2.9 d	3.2 b
CV (%)	12.90		11.28	
Iluminación	NS		NS	
Trat. * Ilum.	**		**	