

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

18 DIC 1999  
RECIBIDO  
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

**CALIDAD DE *Coffea arabica* BAJO SOMBRA DE *Erythrina poeppigiana*  
A DIFERENTES ELEVACIONES EN COSTA RICA**

**POR**

**EDUARDO ISIDRO SALAZAR CABEZAS**

**CATIE**

Turrialba, Costa Rica  
1999

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

SECRETARÍA DE ASESORIA TÉCNICA  
TURRIALBA, COSTA RICA

26 DIC 1999

RECIBIDO

TURRIALBA, COSTA RICA

**CALIDAD DE *Coffea arabica* BAJO SOMBRA DE *Erythrina poeppigiana* A  
DIFERENTES ELEVACIONES EN COSTA RICA.**

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

***Magister Scientiae***

por

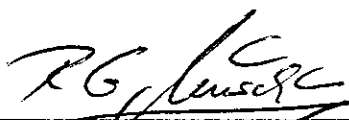
**Eduardo Isidro Salazar Cabezas**

**Turrialba, Costa Rica  
1999**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

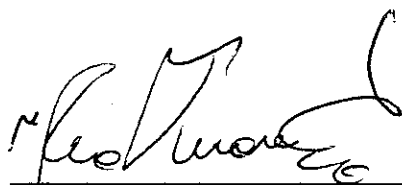
**MAGISTER SCIENTIAE**

**FIRMANTES:**



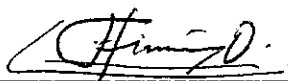
---

Reinhold Muschler, Ph.D.  
Consejero Principal



---

Vera Sánchez, Ph.D.  
Miembro Comité Consejero



---

Francisco Jiménez, Ph.D.  
Miembro Comité Consejero

---

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



---

Eduardo Salazar, C.  
Candidato

## DEDICATORIA

**Al Padre Eterno por Su amor sublime.  
A Jesús que es Soberano y Redentor.  
Al Espíritu Santo dador de Sabiduría.**

**A mi amada esposa Bernardita por su  
incondicional amor y apoyo.  
A mi adorada Madre y a mi siempre extrañado  
Viejo que goza del esplendor Divino.  
A mis hermanos y demás familia.  
A todos les amo muchísimo.**

*Sabiduría ante todo; adquiere sabiduría; y sobre todas las posiciones adquiere  
inteligencia. Engrandécela, y ella te engrandecerá; Ella te honrará, cuando tú la hayas  
abrazado. Prov. 7 - 8.*

## AGRADECIMIENTOS

### **Deseo hacer expresivo mi agradecimiento:**

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) por el financiamiento parcial otorgado a mis estudios de postgrado.

Al Ph.D. Reinhold Muschler por su constante estímulo, apoyo y gran amistad durante la realización de la investigación. Por sus consejos y asistencia científica, los que fueron fundamentales para el éxito de la investigación.

A la Ph.D. Vera Sánchez y Ph.D. Francisco Jiménez, miembros del Comité Asesor, por su valiosa colaboración, apoyo y aporte a través de las discusiones en pro de la investigación, así como por los conocimientos, tiempo y amistad brindados.

Al Señor Jimmy Bonilla Saborío, Catador del Consorcio de Cooperativas Cafetaleras de Guanacaste y Montes de Oro R.L. (COOCAFE), por su gran apoyo en el análisis de Catación y la interpretación de los resultados.

Al señor Francisco Zamora Fernández, gerente general del Consorcio de Cooperativas Cafetaleras de Guanacaste y Montes de Oro R.L. (COOCAFE), por haber permitido la realización de los análisis de catación en la empresa. Además, por la disposición y cooperación en el desarrollo de la investigación científica.

Al señor Ramón Ramírez, mandador de la finca comercial "Cafetalera Lindo", en Santa Rosa, Turrialba y al señor Gerardo Rojas, mandador de la finca comercial "Playa Junquiyal del Norte S.A." en La Esmeralda, Turrialba. Por su colaboración y anuencia en la realización de los experimentos en ambas áreas cafetaleras.

Al señor Ernesto Carman, dueño de la finca orgánica "La Cristina" en Paraíso de Cartago y el señor Minor Esquivel, propietario de la finca "Cerco Viejo" en La Pastora, San Marcos de Tarrazú, San José por haber permitido realizar los experimentos sus fincas cafetaleras.

Al Lic. Gustavo López de la unidad de informática del CATIE por su apoyo en el análisis estadístico y recomendaciones para la interpretación de datos.

Al Señor Walter Ramírez por su ayuda brindada en el proceso de beneficiado y secado de las muestras de café.

A todo el personal de la Escuela de Postgrado y del Proyecto GTZ por su eficiencia y espíritu de colaboración durante mis estudios.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton del CATIE, especialmente al Sr. Rigoberto Aguilar por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la investigación.

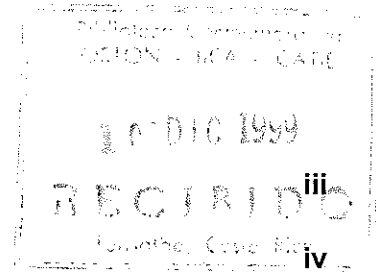
A mis hermanos Carlos Luis y Adrián Salazar, que me apoyaron durante el proceso de muestreos y recolección de datos; su labor fue incondicional demostrando su gran capacidad de amar y servir.

A toda mi familia y amigos que estuvieron en mis buenos y malos momentos y que a la vez me brindaron su apoyo moral y espiritual.

A todos mis hermanos en Cristo Jesús, que cada día realizaron oración para que mis estudios terminaran con éxito, Dios les Bendiga.

A mi buen amigo Hector Vladimir Libreros que fue mi apoyo desde lejos, gracias por tus consejos que siempre fueron motivo inspiración y esperanza, Dios te guarde.

# INDICE



DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	Xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.2 Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 El café	5
2.1.1 Clima y suelos	5
2.1.2 Variedades comerciales de importancia en Costa Rica	6
2.1.3 Función de la sombra en el sistema cafetalero	7
2.1.4 Ecofisiología de producción del café al sol y sombra	8
2.2 Calidad de café	9
2.2.1 Parámetros que intervienen en la calidad de café	9
2.2.2 Efecto de sombra y elevación sobre la calidad de café	10
2.2.3 Otros factores que afectan la calidad	11
2.2.4 Caracterización del aspecto físico del grano	12
2.2.5 Descripción de los principales defectos del grano	13
2.2.6 Características del tueste	14
2.2.7 Cualidades de la bebida	15
2.2.8 Descripción de sabores anormales en café	16

<b>3. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Selección y caracterización de las áreas de investigación</b>	<b>17</b>
3.1.1 Selección de plantas	17
3.1.2 Zonificación agroecológica	17
<b>3.2 Área experimental “El cañal”</b>	<b>19</b>
3.2.1 Sitio y manejo de la plantación	19
3.2.2 Tratamientos	20
3.2.3 Variables de respuesta	21
3.2.4 Análisis de datos	21
<b>3.3 Área experimental “La Esmeralda”</b>	<b>21</b>
3.3.1 Sitio y manejo de la plantación	21
3.3.2 Establecimiento de parcelas de muestreo	22
3.3.3 Variables de respuesta	23
3.3.4 Recolección de datos	23
<b>3.4 Área experimental “Birrisito”</b>	<b>23</b>
3.4.1 Sitio y manejo de la plantación	23
3.4.2 Establecimiento de parcelas de muestreo	24
3.4.3 Variables de respuesta	25
3.4.4 Recolección de datos	25
<b>3.5 Área experimental “La Pastora”</b>	<b>25</b>
3.5.1 Sitio y manejo de la plantación	25
3.5.2 Establecimiento de parcelas de muestreo	26
3.5.3 Variables de respuesta	27
3.5.4 Recolección de datos	27
<b>3.6 Variables evaluadas</b>	<b>27</b>
3.6.1 Fertilidad de suelo	27
3.6.2 Nutrición de la planta	28
3.6.3 Producción total	28
3.6.4 Peso de fruto, pulpa y pergamino	29
3.6.5 Fruto vano	29
3.6.6 Incidencia de enfermedades del fruto	29
3.6.7 Determinación de calidad de café	29
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>32</b>
4.1 Caracterización de los sitios según la fertilidad del suelo	32
4.2 Caracterización de los sitios según la nutrición de plantas	35
4.3 Producción	35
4.4 Incidencia de enfermedades del fruto	37
4.5 Calidad de café	40



<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>52</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>62</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>63</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>71</b>

Salazar C., E. 1999. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: café, *Coffea arabica*, densidad de sombra, *Erythrina*, Caturra, Catimor, producción, enfermedades, calidad, altitud.

## RESUMEN

En Costa Rica, el café se cultiva principalmente a plena exposición solar y bajo sombra regulada (dos podas/árbol/año). Un árbol frecuentemente utilizado es *Erythrina poeppigiana* (poró gigante). El objetivo del estudio fue determinar el efecto de diferentes densidades de sombra y de elevación sobre la calidad de grano y la incidencia de enfermedades del fruto. Las cuatro densidades de sombra evaluadas fueron: sombra densa, sombra intermedia, sombra variable y el control sin sombra en var. Caturra y Catimor 5175 del área experimental "El Cañal" (700 m.s.n.m., Turrialba, Cartago); sombra variable e intermedia en var. Caturra de "La Esmeralda" (1041 m.s.n.m., Turrialba, Cartago) y de "Birrisito" (1300 m.s.n.m., Paraíso, Cartago), y sombra variable y sin sombra en var. Caturra de "La Pastora" (1650 m.s.n.m., San Marcos de Tarrazú, San José).

La calidad del café mejoró conforme que aumentó la sombra en "El Cañal". Los principales beneficios de la sombra intermedia y densa fueron el aumento de peso fresco y tamaño del fruto, y menores porcentajes de fruto vano, y de fruto afectado por los hongos Chasparria (*Cercospora coffeicola*) o Antracnosis (*Colletotrichum* sp.). Bajo sombra las características físicas y organolépticas del grano fueron mejores para color, uniformidad y acidez en var. Caturra y en color, ranura, dureza y cuerpo para var. Catimor 5175. En "La Esmeralda" la sombra intermedia disminuyó la producción de café y la incidencia de Chasparria y Antracnosis. Las cualidades físicas de uniformidad, ranura y dureza del grano, así como la acidez, aroma y cuerpo fueron mejores bajo sombra intermedia en "La Esmeralda" y "Birrisito". En "La Pastora" solo se mejoró la dureza y el cuerpo con la utilización de sombra.

La producción en "El Cañal" y "Birrisito" no difirió entre densidades de sombra. La incidencia del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en los frutos aumentó con la utilización de sombra intermedia y densa comparado con sombra variable y sin sombra en "El Cañal" resultando más afectados los frutos de var. Catimor 5175. Las cualidades físicas y organolépticas no difirieron entre fechas de Catación para var. Caturra y Catimor en "EL Cañal".

Salazar C, E. 1999. The quality of *Coffea arabica* under the shade of *Erythrina poeppigiana* at different elevations in Costa Rica. Thesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Key words: coffee, *Coffea arabica*, shade, *Erythrina*, Caturra, Catimor, production, diseases, quality, elevation.

### Abstract

In Costa Rica, coffee is cultivated mainly in full sun and under variable shade (two prunings/tree/year). A frequently utilized tree is *Erythrina poeppigiana* (giant poró). The objective of this study was to determine the effect of different densities of shade and elevation on the quality and disease load of coffee beans. The effects of the treatments: dense shade, intermediate shade, variable shade and a control without shade, were assessed for the varieties Caturra and Catimor 5175 in the experimental area "El Cañal" (700 m a.s.l., Turrialba, Cartago); variable shade and intermediate shade over Caturra in "La Esmeralda" (1040 m a.s.l., Turrialba, Cartago) and "Birrisito" (1300 m a.s.l., Paraíso, Cartago), and variable shade and no shade, over Caturra in "La Pastora" (1650 m a.s.l., San Marcos de Tarrazú, San José).

The quality of coffee was improved by increasing shade levels in "El Cañal". The main benefits with the management of intermediate shade and dense shade were increased fresh weight and size the best, less empty beans and a lower incidence of Chasparria (*Cercospora coffeicola*) and of Antracnosis (*Colletotrichum* sp.). Under shade, the physical and organoleptic characteristics of the beans were better in color, uniformity and acidity for Caturra and in color, center-cut, hardness and body for Catimor 5175. In "La Esmeralda", intermediate shade diminished coffee production and the incidence of chasparria and antracnosis diseases. The physical qualities of uniformity, center-cut and hardness of the beans, and the organoleptic qualities of acidity, aroma and body were better under intermediate shade in "La Esmeralda" and "Birrisito" than under less shade. In "La Pastora", only the qualities of hardness and body improved under shade.

The production in "El Cañal" and "Birrisito" did not differ among treatments. The incidence of Ojo de Gallo (*Mycena citricolor*) in the fruit incremented with the utilization of intermediate shade and dense shade compared with variable shade and without shade in "El Cañal", and affected the fruits of Catimor 5175 more than those of Caturra. The physical and organoleptic qualities did not differ among dates for the varieties Caturra and Catimor in "El Cañal".

## LISTA DE CUADROS

### CUADROS

- 1 Caracterización de las áreas de investigación definidas en cada zona altitudinal de Costa Rica, 1999. 18
- 2 Manejo agronómico de *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor 5175 con *Erythrina poeppigiana* en "Cafetalera Lindo S.A.", Santa Rosa, Turrialba, Costa Rica, 1999. 20
- 3 Manejo de tratamientos sombra - sol en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm de precipitación por año, 1999. 20
- 4 Manejo agronómico de *C. arabica* var. Caturra y Catimor con *Erythrina poeppigiana* en la finca "Playa Junquiyal del Norte S.A." La Esmeralda, Turrialba, Costa Rica, 1999. 22
- 5 Manejo de las parcelas de muestreo en "La Esmeralda", Turrialba, Costa Rica; 1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999. 23
- 6 Manejo de sombra en las parcelas "Birrisito", Paraíso, Costa Rica; 1300 m.s.n.m., 1800 mm, 1999. 25
- 7 Manejo agronómico de *Coffea arabica* var. Caturra con y sin sombra de *E. poeppigiana* en la finca "Cerco Viejo", La Pastora San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, 1999. 26
- 8 Manejo de las parcelas de muestreo en "Cerco Viejo", La Pastora San Marcos de Tarrazú, Costa Rica; 1650 m.s.n.m., 1500 - 2000 mm. 27
- 9 Propiedades químicas del suelo\* bajo *C. arabica* var. Caturra en los tratamientos sombra tupida (T4) de *Erythrina poeppigiana* y a plena exposición solar (T1) en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999. 33
- 10 Propiedades químicas del suelo\* bajo *Coffea arabica* var. Catimor 5175 en los tratamientos sombra tupida (T4) de *Erythrina poeppigiana* y a plena exposición solar (T1) en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999. 34
- 11 Concentración de nutrimentos (n= 2) en hojas de *C. arabica* var. Caturra y Catimor bajo cuatro niveles de sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999. 36

- 12 Producción y atributos de frutos de Caturra bajo cuatro niveles de sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999. 38
- 13 Producción y atributos de frutos de Catimor 5175 bajo cuatro niveles de sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999. 38
- 14 Producción, atributos de frutos y enfermedades del grano en var. Caturra bajo tres niveles de sombra en diferentes zonas experimentales de Costa Rica, 1999. 39
- 15 Porcentaje de grano grande 18/64 en tres fechas consecutivas de *Coffea arabica* var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) bajo cuatro niveles de sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999. 41
- 16 Cualidades físicas y organolépticas del fruto de *Coffea arabica* var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) bajo cuatro niveles de sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999. 46
- 17 Cualidades físicas y organolépticas del fruto de *Coffea arabica* var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) en tres fechas de evaluación (n=2) con cuatro niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Cartago, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999. 48
- 18 Cualidades físicas y organolépticas del fruto de *Coffea arabica* var. Caturra bajo dos niveles de sombra en "La Esmeralda" (1041 m.s.n.m.), "Birrisito" (1300 m.s.n.m.) y "La Pastora" (1650 m.s.n.m.), Costa Rica, 1999. 49

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURAS

- 1 Distribución por tamaño de grano de *Coffea arabica* var. Caturra (arriba) y Catimor T5175 (abajo) bajo cuatro niveles de sombra (la intensidad aumenta de izquierda a derecha) en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999 (700 m.s.n.m., 2600 mm). 42
- 2 Distribución por tamaño de grano de *Coffea arabica* var. Caturra bajo dos niveles de sombra en diferentes zonas altitudinales de Costa Rica, 1999. 43
- 3 Atributos de la calidad de grano verde y tostado en dos variedades de *Coffea arabica* cultivadas a pleno sol y bajo sombra tupida de *Erythrina poeppigiana* a baja elevación en "El Cañal", 700 m.s.n.m., 2600 mm, Turrialba, Costa Rica, 1999. 47
- 4 Atributos de la calidad del grano verde y tostado de *Coffea arabica* var. Caturra en tres diferentes altitudes de Costa Rica 1999, (A) "La Esmeralda" 1040 m.s.n.m. Turrialba, Cartago; (B) "Birrisito" 1300 m.s.n.m. Paraíso, Cartago y (C) "La Pastora" 1650 m.s.n.m. San Marcos de Tarrazú, San José. 50
- 5 Los símbolos ♦ y ■ corresponden a sombra variable e intermedia, respectivamente en "El Cañal" (700 m.s.n.m., Turrialba, Cartago), "La Esmeralda" (1040 m.s.n.m., Turrialba, Cartago), "Birrisito" (1300 m.s.n.m., Paraíso, Cartago), y sin sombra y con sombra variable en "La Pastora" (1650 m.s.n.m., San Marcos de Tarrazú, San José). 51

## LISTA DE ANEXOS

### ANEXOS

1	Manejo de plaguicidas y fertilizantes en la parcela experimental "El Cañal" en Santa Rosa, Turrialba, Costa Rica (700 m.s.n.m., 2600 mm de precipitación, 1999).	71
2	Manejo de plaguicidas y fertilizantes en la parcela experimental "La Esmeralda" en Esmeralda, Turrialba, Costa Rica (1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999).	72
3	Descripción de cualidades físicas y organolépticas para caracterizar la calidad de café ( <i>Coffea arabica</i> ).	73
4	Propiedades químicas del suelo* en el tratamiento sombra podada y abierta con <i>E. poeppigiana</i> ( <i>Coffea arabica</i> var. Caturra, "La Esmeralda", 1999).	74
5	Propiedades químicas del suelo* en los tratamientos con sombra podada y abierta de <i>E. poeppigiana</i> ( <i>Coffea arabica</i> var. Caturra, "Birrisito" 1999).	75
6	Promedio de las propiedades químicas de varias muestras de suelo* en la comunidad de "La Pastora" de San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, 1999.	76
7	Concentración de nutrimentos (n = 1) en hojas de <i>Coffea arabica</i> var. Caturra bajo sombra podada y abierta de <i>Erythrina poeppigiana</i> en "La Esmeralda", Turrialba, Costa Rica (1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999).	77
8	Concentración de nutrimentos (n = 2) en hojas de <i>Coffea arabica</i> var. Caturra bajo sombra podada y abierta de <i>Erythrina poeppigiana</i> en "Birrisito", Cartago, 1300 m.s.n.m., 1300 mm, 1999.	77
9	Análisis de varianza para producción, grano vano, peso de fruto, pulpa y pergamino e incidencia de enfermedades del grano en var. Caturra "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba, 1999.	78
10	Análisis de varianza para producción, grano vano, peso de fruto, pulpa y pergamino e incidencia de enfermedades del grano en var. Catimor "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba, 1999.	79

- 11 Análisis de varianza para tamaño de grano de café (*Coffea arabica*) var. Caturra y Catimor 5175 en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999. 80
- 12 Análisis de varianza para calidad de café en var. Caturra en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999. 81
- 13 Análisis de varianza para calidad de café en var. Catimor 5175 en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999. 82



## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ecológica es una forma de producción equilibrada (Dalzell *et al.* 1993). Se basa en el manejo sostenido de los recursos naturales tierra, agua, vegetación y animales la cual provoca una producción agrícola más estable a largo plazo, mejorando la calidad de los productos y manteniendo los rendimientos estables durante el tiempo. Además, la agricultura ecológica posibilita el desarrollo familiar independiente, económicamente viable, ecológicamente saludable y socialmente justo (Figueroa *et al.* 1998, Kolmans 1995).

El café (*Coffea arabica*) es una planta que se caracteriza por cultivarse en diferentes latitudes a nivel mundial, contribuyendo en las economías de muchos países tales como: Guatemala, El Salvador, Costa Rica, México, Puerto Rico, Haití, Cuba, Colombia, Brasil, Venezuela, Angola y Camerún (Carvajal 1984). Es originario de Etiopía y Sudán donde crece cubierto por grandes árboles de sombra que proveían condiciones estables al cultivo (Irigóyen 1994). Esa estabilidad de condiciones microclimáticas ha demostrado ser favorable en los atributos de la calidad del café verde y tostado en variedades comerciales como Caturra y Catimor 5175 en Costa Rica (Muschler 1998). Sin embargo, a pesar de la naturaleza de estos sistemas agroforestales, durante este siglo se ha discutido sobre los beneficios de los árboles de sombra sobre el cultivo (Rodríguez 1935, González 1955, 56, Montealegre 1954, 55, 56, Fournier 1988, Muschler 1997b).

En Costa Rica, el café se cultiva principalmente a plena exposición solar y bajo sombra regulada (manejo convencional, dos podas/árbol/año) (Ramírez 1997, Muschler 1998). Entre los árboles de sombra más utilizados están las leguminosas, donde se destaca el uso de *Erythrina poeppigiana* (poró gigante) (Beer 1997). Dentro de las ventajas que ofrecen los árboles de sombra se encuentran; disminución de la evapotranspiración y menor estrés en la planta durante la época de verano (Aldazábal *et al.* 1994, Saravia 1995).

En Costa Rica el cultivo a pleno sol aumentó 297 kg el rendimiento de café oro/ha/año, o sea, un 35% con respecto a la producción bajo sombra (Pérez *et al.* 1963). Sin embargo, aunque las plantas al sol estimulan el desarrollo de más flores y frutos, pueden presentar un gran deterioro al final de la cosecha (Rodríguez 1935, Carvajal 1984, Ramírez y González 1990, Muschler 1997a). Dado que, plantas expuestas al sol sufren de podas más intensivas que reducen su vigor (Rodríguez 1935) y resistencia al ataque de plagas y enfermedades (ICAFE-MAG 1989). Según Rice (1996), la exposición del café a pleno sol reduce la longevidad del cultivo observándose plantas caducar entre 12 y 15 años. Además, los suelos en condiciones topográficas inadecuadas como alta pendiente, tienen problemas con la erosión hídrica reduciendo la fertilidad del suelo. Por tanto, el dosel de árboles podría jugar un papel importante en la protección del suelo, área foliar del café y aumento de la vida útil del cultivo (Duicela y Sotomayor 1993).

En Colombia se encontró que el café presenta mejor calidad en plantaciones donde se utilizan árboles de sombra (Zuluaga 1990). Contrariamente, cafetos sin sombra producen granos pequeños, duros y amargos que maduran rápidamente y concentran sustancias como el ácido clorogénico, cafeína, sacarosa y trigonelina en menor tiempo (Alarcón *et al.* 1996, Guyot *et al.* 1996). El café al sol produce más granos vanos, posiblemente porque el rango de temperatura es mucho mayor que en los sistemas agroforestales (Cohen 1935, Ochoa 1988, Muschler 1998). Así, los árboles de sombra ayudan a mejorar la calidad de café a través de sus aportes a la fertilidad del suelo y un microclima más moderado (Bertsch 1995, Fassbender y Bornemisza 1994, Fournier 1988). Las características físicas y organolépticas del grano mejoran con la altitud como lo demuestra Guyot *et al.* (1996) con mayor tamaño del grano y acidez cuando se aumentó la altura de 1100 a 1400 m.s.n.m. en la var. Catuaí.

Basado en estos antecedentes se decidió estudiar cuadro densidades de sombra de *Erythrina poeppigiana* en diferentes sistemas cafetaleros de Costa Rica, a diferentes elevaciones (área experimental "El Cañal", 700 m.s.n.m., Turrialba,

Cartago; “*La Esmeralda*”, 1041 m.s.n.m. en Turrialba, Cartago; “*Birrisito*” 1300 m.s.n.m., en Paraíso, Cartago y en “*La Pastora*” 1650 m.s.n.m., en San Marcos de Tarrazú, San José) y analizaron como la altitud afectó la calidad del grano y de taza, incidencia de enfermedades y producción del cultivo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de sombra y elevación sobre la calidad de grano y el rendimiento en diferentes sistemas de producción.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar el efecto de sombra a diferentes elevaciones sobre la calidad y producción de café.
- Determinar el efecto de la sombra de *E. poeppigiana* sobre la calidad de café en un sistema convencional vs. un sistema orgánico a 1300 m.s.n.m.
- Evaluar la influencia de la sombra de *E. poeppigiana* sobre la incidencia de enfermedades del fruto.

## 1.2 Hipótesis

- Las elevaciones y niveles de sombra de *E. poeppigiana* afectan la calidad de café y la producción total de *C. arabica*.
- La sombra de *E. poeppigiana* influye sobre las enfermedades del fruto de café.
- La calidad del café con sombra de *E. poeppigiana* difiere de un sistema convencional y otro orgánico.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El café

El café arabica pertenece al género *Coffea* con más de 100 especies en el mundo; entre ellas *C. arabica* y *C. canephora* de importancia comercial (Sondal et al. 1991). La actividad cafetalera Centroamericana brinda empleo en labores de mantenimiento, recolecta, beneficiado e industrialización del grano (ICAFFE – MAG 1989, Enríquez 1993). En Costa Rica el cultivo es fuente de empleo permanente, generando un promedio de 65800 jornales al año (1986 – 1987), lo que significa un 7% de la fuerza del trabajo del país (ICAFFE – MAG 1989).

#### 2.1.1 Clima y suelos

En Costa Rica el café se cultiva desde 500 m.s.n.m. hasta aproximadamente los 1700 m.s.n.m. (ICAFFE – MAG 1989). En este rango altitudinal se presentan condiciones climáticas muy variadas; sin embargo, las diferentes zonas altitudinales presentan promedios de temperaturas óptimas que oscilan entre 17 y 23 °C. Temperaturas mayores de 24 °C aceleran el crecimiento vegetativo, reducen floración y desarrollo del frutos (Nunes et al. 1968, Kumar y Tieszen 1980, Cannell 1985, Enríquez 1993). La precipitación en las zonas cafetaleras oscila generalmente entre 1000 y 3000 mm anuales. La humedad relativa prevaleciente en los sistemas cafetaleros se encuentra entre 70 y 95%, no obstante arriba de 85% afecta la calidad de café. Por ejemplo, altas humedades en el cultivo benefician el ataque de enfermedades fungosas del grano tales como: chasparria (*Cercospora coffeicola* Berk y Coke.), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk et Curt.) y antracnosis (*Colletotrichum coffeanum* Penz Sacc.) (ICAFFE – MAG 1989).

Los suelos aptos para el cultivo del café deben presentar: buen drenaje, profundos, ligeramente ácidos, ricos en nutrientes y materia orgánica. Los suelos sueltos y arenosos limitan el crecimiento y fructificación de los cafetos al haber poca humedad en épocas de sequía (Enríquez 1993, ICAFFE - MAG 1989).

### 2.1.2 Variedades comerciales de importancia en Costa Rica

Siembra de variedades de alta producción como Caturra y Catimor constituyen, junto con la alta densidad de siembra, uno de los principales factores que influyen en la productividad de las plantaciones (Carvajal 1984).

La variedad Caturra es un mutante de la var. Bourbón originaria de Brasil. Presenta entrenudos cortos, un tronco grueso, abundantes ramas laterales y un aspecto vigoroso. Posee hojas verdes y anchas, su sistema radical es extensivo y de gran densidad (Figueroa *et al.* 1998). La planta es precoz y presenta gran producción. Hay dos mutantes, uno con granos de color rojo y otro amarillo (Enríquez 1993, Figueroa *et al.* 1998). En Costa Rica, específicamente en Turrialba se utilizó el sistema de poda por planta, donde se observó que la producción de var. Caturra aumentó a partir de la cuarta cosecha (Soto y Pérez 1976). Los atributos organolépticos de la taza muestran buen aroma, cuerpo y acidez, además una apariencia (tueste) excelente (Helfenberger 1985). La var. Caturra presenta menores tamaños que la var. Catimor 5175 (Muschler 1998) y Catuaí (Aguilar 1995).

La variedad Catimor resultó del cruce entre las variedades Caturra rojo e Híbrido de Timor. Se caracteriza por su porte bajo, tronco de grosor intermedio, alto número de ramas laterales que forman una copa medianamente vigorosa y compacta. Además, su productividad es relativamente alta con un promedio de 54 fanegas/ha/año, 14 toneladas de café en fruta/ha/año (Jiménez y Ramírez 1988) y se caracterizó por presentar resistencia a la roya *Hemileia vastatrix* (Helfenberger 1985), hongo que bajo condiciones ambientales óptimas, causa altas defoliaciones y disminuye la producción en otras variedades como Caturra y Catuaí (Figueroa *et al.* 1998). Además, Catimor 5175 presenta buena uniformidad en porte, sin embargo, existen dudas en cuanto a su respuesta de poda y en la calidad de bebida, que es inferior a la var. Costa Rica 95, Caturra y Catuaí (Astúa y Aguilar 1997).

### 2.1.3 Función de la sombra en el sistema cafetalero

Los árboles de sombra protegen el café de la radiación directa del sol, disminuyendo la transpiración de plantas y la evaporación del agua del suelo, de gran importancia en meses secos (Carvajal 1984). Además la sombra reduce la temperatura del suelo hasta los 30 centímetros de profundidad, siendo más notable este efecto en horas de la tarde (Súarez de Castro *et al.* 1961), asimismo favorece la asimilación de nutrientes (Montealegre 1954, 55, 56, Saravia 1995). La inducción de floración se ve levemente favorecida con la utilización de sombra al disminuir las variaciones de temperatura (Duicela y Sotomayor 1993). Con la utilización de sombra (densidad de 60 – 80%) se observó una producción promedio aproximada de 60 kg de fruta de calidad (peso fresco) durante las cosechas 94/95, 95/96, 96/97 y 97/98 (Muschler 1998), lo cual demostró que la sombra ayuda a disminuir hasta cierto punto, la bianualidad del cultivo.

Por otra parte, la sombra limita el crecimiento agresivo de malezas (Montealegre 1955), reduce o impide la erosión hídrica (Carvajal 1984), favorece la acumulación de materia orgánica en el cafetal (Rice 1996) y atenúa vientos fuertes dentro del cultivo (Rodríguez 1935, Carvajal 1984, Duicela y Sotomayor 1993, Saravia 1995). Sin embargo, niveles excesivos de sombra pueden afectar la actividad fotosintética y por ende la productividad (Cook 1923, González 1955, Muschler 1998, Beer *et al.* 1998). El follaje excesivo de árboles obstaculiza la circulación del aire dentro del cafetal y mantiene la humedad relativa a niveles altos, creándose un microclima favorable para el desarrollo de enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk et Curt.) y mal de hilachas (*Corticium salmonicolor* Cook Von. Hochnee) (Carvajal 1984). Además, estas condiciones favorecen el desarrollo de plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) (ICAFE- MAG 1989) y ciertas plantas epífitas como líquenes y musgos (Greenberg *et al.* 1995, Perfecto *et al.* 1996, Rice 1996).

### 2.1.4 Ecofisiología de la producción del café al sol y sombra

Carvajal (1984) indica que el cultivo del café bajo sombra es común en países de América Central, México y Colombia y el cultivo a pleno sol en Hawai, Brasil y Kenia. Sin embargo, especifica que una desventaja del cultivo al sol es su grano pequeño, conclusión similar a la que llegó Muschler (1998) en observaciones para var. Caturra y Catimor 5175. Esta respuesta fisiológica del cultivo al sol se relaciona con las altas temperaturas que recibe el cultivo durante el transcurso del día, mayor necesidad de nutrientes, desgaste del vigor por manejo y cosecha, además trastornos en los factores fisiológicos de respiración, transpiración, fijación de CO<sub>2</sub> durante el día (Fournier 1988).

Según Cannell (1976) los factores que determinan la producción en café son: el área foliar, tasa de absorción de CO<sub>2</sub> por unidad de área foliar y la distribución de la materia seca entre frutos y otras partes de la materia primaria. Por tanto, para aumentar la productividad de café se debe aumentar el área de follaje por unidad de área cultivada. Esta razón ayuda a incrementar el número de nudos y botones florales, además posibilita un dosel amplio y estructurado, las plantas jóvenes invierten de 40 - 45% de materia seca por año en producir nuevas hojas. Cuando el café se encuentra en producción y no hay suficiente área foliar es notable en este período una tendencia a la caída de frutos inmaduros y además se observan problemas fitosanitarios, principalmente con enfermedades fungosas (Fournier 1988, Fournier y Herrera 1983).

Cannell (1976), encontró que la máxima fotosíntesis neta en las hojas de café es de 7 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/h a una temperatura de 20 °C. Al tener la planta de café un punto de compensación relativamente bajo es de esperar que aún a temperaturas ambientales de 20 a 25 °C la tasa de fotosintética neta sea baja. La exposición solar aumenta la temperatura en las hojas y estas pueden llegar hasta 40 °C, la temperatura mayor de 20 °C puede aumentar gradualmente la fotorespiración y la concentración interna de CO<sub>2</sub>, lo que induce al cierre de estomas. Según Cannell



(1976) y Fournier (1988), en condiciones de campo esto podría repercutir también disminuyendo el potencial hídrico de la hoja, afectando el cierre de estomas, la actividad de la carboxilasa y posible reducción en RUDP (ribulosa difosfato carboxilasa).

Maestri y Santos Barros (1977) consideran que aunque la planta de café se clasifica como  $C_3$  y parece poseer fotorespiración, el origen del aumento de  $CO_2$  en el mesófilo con temperaturas crecientes no es fácil de explicar, ya que en condiciones de campo las altas temperaturas coinciden con alta luminosidad. Una alta temperatura y una alta luminosidad en períodos secos reducen el crecimiento de ramas y hojas en favor de troncos y sistema radicular. Esto parece ser en buena parte controlado por reguladores de crecimiento (Briceño 1983).

## **2.2 Calidad de café**

El precio de cualquier producto en el mercado está determinado por su calidad y el café no es la excepción. Las características de calidad de café dependen (1) del manejo agronómico, (2) de las condiciones ambientales y (3) del manejo poscosecha. Los países industrializados, como algunos europeos, están cada día más dispuestos a pagar un mayor precio por productos de mejor calidad, producidos en condiciones totalmente naturales y menos onerosos para el medio ambiente. Lo que prevé como la mejor estrategia para enfrentar en un futuro próximo el Comercio Internacional es una excelente calidad de café producido naturalmente y que a la vez conserve el medio ambiente del lugar (Zuluaga 1990).

### **2.2.1 Parámetros que intervienen en la calidad de café**

La altitud de la zona y la sombra son factores que intervienen fuertemente en las condiciones de cultivo, afectando la maduración del grano y calidad del café (Gopal y D'Souza 1977). Según Menchú (1966) los parámetros que determinan la calidad pueden agruparse por un lado en aspectos físicos del grano verde y tostado y, por otro, en las características organolépticas de la bebida (calidad de

taza), sobre todo aroma, acidez y cuerpo. Además, se deben considerar las condiciones del medio ambiente donde el productor no influye (Cook 1923). Otros factores que influyen en la calidad de taza se relacionan con el sistema de producción (manejo de finca), recolección del grano (café maduro mezclado con verde, pintón y seco o solo café maduro), beneficiado en húmedo o seco, secado del grano oro (al sol o en estufas) y almacenamiento del mismo (instalaciones ventiladas para mantener el porcentaje de humedad) (Duicela y Sotomayor 1993).

Para evaluar la calidad del café se utilizan características específicas para las necesidades y gustos del consumidor (Menchú 1966). En Costa Rica se realizaron pruebas comparativas de las cualidades organolépticas en las principales variedades comerciales, demostrándose que la var. Catimor 5175 presenta menor calidad de taza que la var. Catimor "Costa Rica 95", Caturra y Catuaí, lo cual demuestra que hay diferencias en diferentes genotipos (Astúa y Aguilar 1997). Sin embargo, cuando se trata de hídricos como el "Catimor 5175" y "Sarchimor" la calidad de bebida se garantiza solamente con selecciones sucesivas en programas de mejoramiento genético (Duicela y Sotomayor 1993).

### **2.2.2 Efecto de sombra y elevación sobre la calidad de café**

La sombra y la altitud son factores que retrasan la madurez permitiendo un mejoramiento de la calidad, sobretodo en variedades que responden con un aumento en acidez y del contenido de azúcar. Guyot *et al.* (1996) encontraron que la var. Catuai mejoró el aroma al incrementar estos factores. En este mismo estudio la sombra incrementó el contenido de ácidos clorogénicos en 10%, la acidez en aproximadamente 16%, el contenido de cafeína en 4% y la sacarosa en 3%. Mientras que, el contenido de trigonelina disminuyó en aproximadamente 10%, mientras que el contenido de grasa no varió.

En cuanto a los factores climáticos que influyen en la calidad del café, Gialluly (1969) encontró que la humedad relativa, la temperatura y la precipitación son las variables más importantes que conjuntamente con la altura influyen sobre el

tamaño de grano y su calidad. Herrera y Milian (1984) observaron en algunos casos que en lugares de mayor altura, la temperatura disminuye, la precipitación aumenta y la humedad relativa es más alta, lo cual favorece los atributos organolépticos del grano. Entre tanto, Silva (1987) considera que la mayor altura sobre el nivel del mar ejerce una influencia positiva en el tamaño del grano del café y su calidad. Resultados similares encontraron Cabrera *et al.* (1992) al evaluar la temperatura y precipitación en relación con la altura, concluyendo que éstas influyen en el aspecto físico y calidad de la bebida. Además, Kimenia *et al.* (1988) y Blanco *et al.* (1989) observaron que plantas expuestas totalmente al sol produjeron más café, pero con granos pequeños y de calidad de bebida (taza) inferior.

### **2.2.3 Otros factores que afectan la calidad de café**

Los países que producen café de calidad "otros suaves" (México y América Central) basan su comercialización en la calidad del producto, no obstante, la variabilidad en los procesos agronómicos influye directamente en la calidad del grano (Menchú 1966). Entre los factores cuestionables se encuentran el uso inadecuado de herbicidas los cuales afectan las plantas de café y provocan problemas fitotóxicos. Además, la falta de políticas en Manejo Integrado de Plagas (MIP) y especialmente de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) que ocasiona grandes pérdidas en producción y afecta la calidad del grano. También, la recolección del fruto en zonas y épocas de alta precipitación y humedad relativa ocasionan que los recolectores no hagan un corte selectivo, sino que colecten granos maduros, amarillos (pintones) y verdes, afectando así la calidad de la bebida "taza". La mezcla de frutos maduros, verdes y pintones producen un sabor "áspero" en la bebida y el café sobremaduro un sabor "vinoso" por el proceso de fermentación. Otro factor que afecta la calidad de *C. arabica* son las mezclas con el café robusta, práctica que se ha utilizado en algunos estados de México como Chiapas, Oaxaca y Veracruz. Asimismo, el cultivo de café en zonas bajas y cálidas produce granos de menor tamaño independientemente de la variedad, este efecto

se debe posiblemente a las altas temperaturas y a las bajas humedades relativas (Ochoa 1988).

#### 2.2.4 Caracterización del aspecto físico del grano

Actualmente en el mercado cafetalero es muy importante la apariencia general del grano y su grado de homogeneidad. Para determinar esto se definieron los siguientes factores:

- **Forma:** el mercado tiene como base el grano plano convexo o chato considerado como la forma normal de compra en los mercados. De allí que los caracoles, triángulos y elefantes (gigantes) se consideran en última instancia como defectos, aunque si están sanos producen un bebida normal (Menchú 1966, Radillo 1963).
- **Tamaño:** este es sumamente variable y depende, en primer lugar, de la variedad, por ejemplo Maragogipe produce grano más grande que var. Typica y Borbón. No obstante, el tamaño es también influenciado por la altitud del lugar y otros factores bióticos como la temperatura, humedad relativa y precipitación (Menchú 1966).
- **Color:** esta característica puede ser influida por la región donde se cultiva (altura y condiciones climáticas) y el proceso de beneficiado. En zonas altas se ha observado una tendencia a producir granos de color verde – azul, en tanto que los de baja o mediana altura presentan tonalidades distintas de color claro (Menchú 1966, Radillo 1963).
- **Uniformidad:** es el conjunto de cualidades que se señalaron anteriormente. Indica *a priori* la buena o mala preparación y permite “fijar la atención en los defectos individuales”, por ejemplo granos dañados en el despulpado y secado, manchados o dañados por hongos e insectos (Radillo 1963, Menchú 1966).

### 2.2.5 Descripción de los principales defectos del grano

- **Granos negros:** tienen una coloración de pardo a negro y su tamaño es inferior al normal, presentan cara plana y hendidura abierta, debido principalmente por problemas con enfermedades fungosas (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Granos sobre fermentados:** presentan coloración pálida y apariencia cerosa, con la hendidura marcadamente libre de tegumentos y el germen reventado si el daño es total. Además, la bebida adquiere un aroma y sabor agrio purgante (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Granos verdes:** granos que proceden de frutos que se cortaron sin haber llegado a madurar, dan un sabor áspero y astringente en la taza, además su tamaño es ligeramente inferior al normal. Poseen, adherida una película plateada a veces de color verdoso y con una hendidura marcadamente abierta (Radillo 1963).
- **Granos blanqueados o descoloridos:** su decoloración es uniforme o solamente en las aristas, también presentan parques blancos irregulares. Esta decoloración uniforme presenta un grano hinchado producto del almacenamiento con humedad mayor al 12% (Menchú 1966).
- **Granos manchados:** ellos presentan tamaño y forma normales; sin embargo, en la superficie se observan manchas o parches de diferentes coloraciones, no alterando la textura de la porción manchada. La causa es el secado defectuoso (disparejo) (Menchú 1966, Radillo 1963).
- **Granos deformes:** su forma es distinta a la comercial "plano convexa" en los granos sanos. Entre ellos se encuentran: caracoles, triángulos y los gigantes o abortados (Radillo 1963).

- **Granos pequeños:** son granos que pasan a través de zaranda No. 15 (medidas en sesenticuatavos de pulgada 1/64 igual 0.3968 mm) y que se consideran como defectuosos al no presentar el tamaño idóneo (Menchú 1966).
- **Granos quebrados:** provienen de granos anormalmente grandes, elefantes o abortados, que resultan quebrados por la trilla y de ellos se originan las “conchas”, “orejas” o “muelas” (Menchú 1966, Radillo 1963).

### 2.2.6 Características de tueste

Para caracterizar el tueste en la muestra se debe observar si este es brillante, ordinario u opaco (Radillo 1963). Sin embargo, este dependerá de su procedencia, por ejemplo el café de zonas bajas tuesta más rápido que un café de altura principalmente por las condiciones óptimas del lugar (Menchú 1966, Guyot *et al.* 1996). Otro aspecto importante es la superficie del grano, la cual aparecerá más o menos corrugada y oscura según la altura de plantación, que unida al aspecto de hendidura, color de película y amplitud de cobertura definen el “carácter” del grano (Menchú 1966).

La abertura de la hendidura del grano esta relacionada con la altitud, donde el café de zonas bajas presenta mayor abertura que el café de zonas altas. Además, el color uniforme de la película en la hendidura resalta con el tueste haciendo más perceptibles los defectos en los cafés lavados (Menchú 1966). El contenido en materias grasas es superior en muestras de café de altura facilitando su extracción en el tueste. Además, los tratamientos mecánicos como el pulido o bien el envejecimiento del grano, atenúan la fluidez de aceites en superficie del grano. La calificación final del tueste, en general puede ser: excelente, bueno, regular y malo. Los granos muy livianos y anormales, procedentes del fruto verde o enfermo, dan tueste muy claros y abiertos, con sabor a maní (Menchú 1966, Figueroa 1997).

### 2.2.7 Cualidades de la bebida

- **Aroma:** es la primera cualidad que el catador percibe e investiga en la taza. Si el proceso de beneficiado o bien el de almacenamiento no fueron óptimos, en el aroma aparecerán defectos más o menos marcados, por ejemplo moho, sobre fermento y es posible que se note otro tipo de contaminaciones ocurridas durante el almacenamiento. Los cafés suaves que son los de mejor calidad presentan un tipo de aroma limpio y dulce similar al chocolate (Radillo 1963, Menchú 1966, Puerta 1996).
- **Cuerpo:** lo define o está relacionado con la naturaleza de los sólidos solubles de la infusión. El catador lo considera como la fuerza o consistencia de la bebida. Esta cualidad llega a su máximo en los granos de tipos duros y se muestra apagada en los tipos bajos (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Acidez:** esta cualidad se incrementa con la altitud del lugar de cosecha, siendo influida por el grado de madurez del fruto y por el tiempo transcurrido entre la cosecha y el despulpado (Menchú 1966, Guyot *et al.* 1996). Por otra parte, no hay que confundir la acidez, con café agrio o sobrefermentado (Radillo 1963).
- **Sabor:** las cualidades nombradas anteriormente en distintos grados e intensidades dan a cada taza un sabor determinado, pero el sabor puede ser fácilmente alterado por la presencia de granos procedentes de frutos verdes o imperfectamente maduros o por el contrario de frutos sobre maduros y más aún de frutos secos en la planta. Además, de la fermentación, secado, o descuido en el almacenamiento, se producen sabores y olores diferentes que afectarán en algunos casos el aspecto físico del grano (Radillo 1963, Menchú 1966, Puerta 1996, Figueroa 1997).

### 2.2.8 Descripción de los principales sabores anormales en café

- **Astringencia, áspero y con sabor a maní (*Arachis hipogaea*):** se denominan Hash, "Greenish - Grass - Straw y Quakers", respectivamente. En su orden decreciente están todos relacionados con mayor o menor presencia de café medio maduro o verde (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Sabor vinoso (winey):** su origen es la recolección de café sobre maduro o bien el retraso en el despulpado del fruto y se identifica por la presencia de una película dorada o rojiza en el pergamino (endospermo + endocarpio) (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Sabor sucio:** es un café mal preparado con granos que proceden de pilas donde el café estuvo en agua por mucho tiempo "natas verdes" y que afectan la calidad (Menchú 1966).
- **Sabor terroso:** es parecido al café con sabor sucio, pero mucho más fuerte y desagradable. En los cafés lavados podría resultar de un lavado defectuoso y del almacenamiento a medio secar (Radillo 1963, Menchú 1966).
- **Sabor sobrefermentado:** se presenta en café que permanece mucho tiempo en pilas de fermento, tolvas de secadoras y hasta en las secadoras, donde oscurece y adquiere una bebida con sabor agriopurgante (Radillo 1963).
- **Sabor a cosecha vieja:** es producto natural del envejecimiento del grano aun estando bien procesado (Menchú 1966).
- **Sabor mohoso:** son cafés almacenados sin secar completamente. Por tanto, los afecta el avance del proceso de secado y el clima durante el almacenamiento (Radillo 1963, Menchú 1966).



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Selección y caracterización de las áreas de investigación

En las siguientes secciones se caracteriza el ambiente biofísico de cada una de las parcelas de investigación.

##### 3.1.1 Selección de plantas

Las plantas de café de cada unidad experimental (25 plantas) presentaron características homogéneas en cuanto al material genético, distancia de siembra y tipo de árbol de sombra (Cuadro 1).

##### 3.1.2 Zonificación agroecológica

El trabajo se realizó en los sitios conocidos como: “*El Cañal*”, “*La Esmeralda*”, “*Birrisito*” y “*La Pastora*” ubicadas en diferentes altitudes y con diferentes valores para las variables climáticas temperatura, humedad relativa y precipitación (Cuadro 1). La caracterización de cada zona cafetalera evaluada fue importante para entender como influyeron la condiciones ambientales sobre la calidad del café y su relación con la zonas optimas de cultivo (Rojas 1987).

Las áreas experimentales “*El Cañal*” y “*La Esmeralda*” fueron ubicadas en plantaciones de café (*Coffea arabica*) antes del inicio de la cosecha 98/99. En las áreas experimentales “*Birrisito*” y “*La Pastora*” se iniciaron los muestreos posterior a las primeras fechas de recolección del grano. Cada área experimental fue elegida de acuerdo con la altitud de la zona (metros sobre el nivel del mar; m.s.n.m.) y la densidad de sombra para evaluar la calidad de café. Además, las áreas presentaron condiciones adecuadas para el establecimiento y recolección de datos. El manejo agronómico fue intensivo en todas las fincas comerciales (Cuadro 2, 4, 7) con el uso de plaguicidas (Anexo 1, 2), excepto en finca orgánica “*La Cristina*”.

Cuadro 1. Caracterización de las áreas de investigación seleccionadas en cada zona altitudinal de Costa Rica, 1999.

VARIABLES	AREA EXPERIMENTALES			
	"El Cañal"	"La Esmeralda"	"Birrisito"	"La Pastora"
Tratamientos	Cuatro	Dos	Dos	Dos
Repeticiones	Dos	Dos	Dos	Una
Ubicación	Santa Rosa, Turrialba, Cartago	Esmeralda, Turrialba, Cartago	Birrisito, Paraíso, Cartago	La Pastora, San Marcos de Tarrazú, San José
Altitud	700 m.s.n.m	1040 m.s.n.m.	1300 m.s.n.m.	1650 m.s.n.m.
Precipitación	2600 mm	2500 – 3000 mm	1800 mm	1500 – 2000 mm
Temperatura y humedad	22 °C y 87%	19 °C y 89%	17 °C y 82%	19 °C y 84%
Zona de vida	Bosque húmedo premontano	Bosque húmedo premontano	Bosque muy húmedo montano bajo	Bosque húmedo montano bajo
Área aprox. de parcela	4000 m <sup>2</sup>	5000 m <sup>2</sup>	20000 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>
Manejo	Convencional	Convencional	Orgánico y convencional	Convencional
Variedad	Caturra y Catimor 5175	Caturra	Caturra	Caturra
Edad de cafetos	9 años	11 años	25 años	25 años
Distancia y densidad de siembra del café	2 x 1 (5000 plantas)	1.3 x 1.7 (4524 plantas)	2 x 1 (5000 plantas)	2 x 1 (5000 plantas)
Árbol de sombra	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>
Distancia y densidad de siembra del árbol de sombra.	9 x 9 (123 árboles)	9 x 9 (123 árboles)	4 x 4 (625 árboles)	7 x 7 (204 árboles)
Tipo de muestreo	Bloque completo al azar (BCA)	Muestreo aleatorio en líneas (MAL)	Muestreo aleatorio polietápico (MAP)	Muestreo aleatorio en líneas (MAL)

## 3.2 Área experimental “El Cañal”

### 3.2.1 Sitio y manejo de la plantación

El estudio se realizó en la finca comercial “Cafetalera Lindo S.A.” en Santa Rosa, Turrialba, Cartago, Costa Rica. Geográficamente ubicada a 9°55' Lat. N. y 83° 41' Long. O., a una altitud de 700 m.s.n.m (IGN-MOPT 1981). El sitio se caracteriza por presentar una topografía regular con una pendiente menor al 5% (Muschler 1998). La zona de vida según Holdridge se clasifica como bosque húmedo premontano (Tosi 1969). La temperatura y precipitación media anual son de 22 °C y 2600 mm, la humedad relativa de 87% y la radiación solar de 11,82 MJ/m<sup>2</sup> (Jiménez 1994). El lugar posee suelos Typic Hapludand (Muschler 1998) con un ph H<sub>2</sub>O entre 4,0 y 4,5 (Cuadro 9, 10). El uso de la tierra esta constituido por plantaciones de café (*C. arabica*) con árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*) que poseen más de 20 años de edad (Ramón Ramírez, Cafetalera Lindo S.A., com. pers. 1999).

La finca “Cafetalera Lindo S.A.” posee una extensión de 90 hectáreas, dedicadas exclusivamente a la producción del café (*C. arabica*, var. Caturra y Catimor) en asocio con poró (*E. poeppigiana*). El manejo agronómico es intensivo (Cuadro 2) y se aplican plaguicidas (Anexo 1), (Ramón Ramírez, Cafetalera Lindo S.A., com. pers. 1999). Las enfermedades más frecuentes del café en la finca son: roya (*Hemileia vastatrix* Bert y Br.), chasparria (*Cercospora coffeicola* Berk y Coke.), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk et Curt.) y antracnosis (*Colletotrichum coffeanum* Penz Sacc.).

Cuadro 2. Manejo agronómico de *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor 5175 con *E. poeppigiana* en "Cafetalera Lindo S.A." Santa Rosa, Turrialba, Costa Rica, 1999.

Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cosecha							X	X	X	X	X	X
Replante								X				
Fertilización	X						X			X		X
Poda de café	X											
Deshija						X						
Poda de poró	X				X						X	
Herbicidas	X			X		X		X		X		
Fungicidas			X		X				X			

### 3.2.2 Tratamientos

Se ubicaron dos parcelas experimentales, ambas con sistemas agroforestales (SAF) de *C. arabica* y *E. poeppigiana*, pero que difieren en var. Caturra y Catimor 5175 (5000 plantas/ha de café a 2 x 1 m y 123 árboles/ha de poró a 9 x 9 m). Para cada una se delimitaron cuatro tratamientos con diferentes niveles de sombra y dos repeticiones que presentan características de suelo y topografía homogéneas. Los tratamientos asignados presentaron café sin sombra, sombra variable, sombra intermedia y sombra densa (Cuadro 3). Cada tratamiento consistió en 25 cafetos (25 metros lineales). La unidad experimental constó de 25 plantas las cuales se identificaron con cintas plásticas numeradas y fueron dos por tratamiento.

Cuadro 3. Manejo de tratamientos sol - sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm de precipitación por año, 1999.

Tratamiento	Manejo
Sin sombra	Podas continuas al tallo de <i>E. poeppigiana</i> durante todo el año.
Sombra variable	Poda de <i>E. poeppigiana</i> dos veces al año, se mantiene un rango de sombra entre 0 y 50%.
Sombra intermedia	Sombra de <i>E. poeppigiana</i> entre 50 y 70% sobre el café.
Sombra densa	Sombra de <i>E. poeppigiana</i> entre el 60 y 80% sobre el café.

### 3.2.3 Variables de respuesta

Se evaluaron la fertilidad de suelo, nutrición de la planta, producción total, peso fresco de fruto, pulpa y pergamino, fruto vano, incidencia de enfermedades en el fruto y calidad de café. El procedimiento se describe en la sección 3.6.

### 3.2.4 Análisis de datos

Los tratamientos fueron asignados conforme un diseño de bloques completos al azar (DBCA) (Steel y Torrie 1985), con cuatro tratamientos y dos repeticiones en ambas variedades, Caturra y Catimor. Para comparar las medias de tratamientos se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA). Se llevó a cabo un análisis de residuos para verificar si se cumplieron los supuestos del ANDEVA. Dentro de las variables incidencia de enfermedades en el fruto, la variable ojo de gallo fue la única que no cumplió con los supuestos debido a la poca presencia de la enfermedad en el fruto. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Para tamaño de grano, se llevó a cabo un ANDEVA con un diseño de bloques en arreglo de parcelas divididas, tomándose a los tratamientos como la parcela grande y a las zarandas como subparcelas (Steel y Torrie 1985).

## 3.3 Área experimental “La Esmeralda”

### 3.3.1 Sitio y manejo de la plantación

El estudio se realizó en la finca “Playa Junquiyal del Norte S.A.” en Esmeralda, Turrialba, Costa Rica (9°55'16 Lat. N. y 83° 43'17 Long. O., a una altitud de 1040 m.s.n.m; IGN-MOPT 1981). En la zona se presentan suelos de origen volcánico cuaternario (AID/RIC 1965) con textura franco limosa. Los suelos son profundos y de color oscuro, poco pedregosos y se clasifican como Andisoles (Estivarez 1997). La zona de vida según Holdridge se clasifica como bosque muy húmedo premontano (Tosi 1969). La vegetación del área está predominantemente constituida por plantaciones de café con sombra de *E. poeppigiana*. La

precipitación anual fluctúa entre 2500 a 3000 mm (MAG-IMN 1982, Jiménez 1994).

La finca de 75 ha esta dedicada principalmente al café (*C. arabica*) var. Caturra y Catimor en asocio con poró (*E. poeppigiana*). El manejo agronómico es intensivo (Cuadro 4) y continuamente se aplican plaguicidas (Anexo 2), (Gerardo Rojas, Playa Junquiyal del Norte S.A, com. pers. 1999). Las enfermedades y plagas más frecuentes del café en la finca son: roya (*H. vastatrix*), chasparria (*C. coffeicola*), ojo de gallo (*M. citricolor*), antracnosis (*C. coffeanum*) y nemátodos (*Meloidogyne* spp.).

Cuadro 4. Manejo agronómico de *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor con *Erythrina poeppigiana* en la finca "Playa Junquiyal del Norte S.A." Esmeralda, Turrialba, Costa Rica, 1999.

Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cosecha	X							X	X	X	X	X
Replante						X	X					
Fertilización	X		X					X				
Poda de café		X	X									
Deshija					X	X						
Poda de poró		X					X					
Herbicidas	X	X			X	X						
Fungicidas			X	X	X					X		
Encalado			X									

### 3.3.2 Establecimiento de parcelas de muestreo

El área experimental se ubicó en un SAF de café (*C. arabica*) var. Caturra y poró (*E. poeppigiana*) de once años de edad (4500 plantas/ha de café a 1.3 x 1.7m y 123 árboles/ha de poró a 9 x 9 m). Se utilizó un muestreo por conglomerados en líneas (Steel y Torrie 1985), delimitándose dos conglomerados en el nivel de sombra variable y dos conglomerados en sombra intermedia (Cuadro 5). Cada conglomerado constó de 25 elementos, estos se encontraron identificados con cinta plástica numerada.

Cuadro 5. Manejo de los niveles de sombra en "La Esmeralda", Turrialba, Costa Rica; 1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999.

Nivel de sombra	Manejo
Sombra variable	Poda de todas las ramas "descumbra" <i>E. poeppigiana</i> 2 podas/árbol/año, se mantiene un rango de sombra entre 0 y 50%.
Sombra intermedia	Sombra de <i>E. poeppigiana</i> entre 40 y 60% sobre el café.

### 3.3.3 Variables de respuesta

Se evaluaron la fertilidad de suelo, nutrición de la planta, producción total, peso fresco de fruto, pulpa y pergamino, fruto vano, incidencia de enfermedades del fruto y calidad de café, el procedimiento se describe en la sección 3.6.

### 3.3.4 Recolección de datos

Se definió como unidad muestral 25 plantas. Para cada nivel de sombra (variable e intermedia) se utilizaron dos líneas. De las 25 plantas se obtuvo una muestra compuesta por fecha. En cada variable se obtuvieron estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, coeficiente de variación y prueba de t).

## 3.4 Área experimental "Birrisito"

### 3.4.1 Sitio y manejo de la plantación

El estudio se realizó en las fincas comerciales "Los Chiles" (sistema de manejo convencional) y "La Cristina" (sistema de manejo orgánico) en Birrisito, Paraíso, Cartago, Costa Rica (9°51' Lat. N. y 83° 51' Long. O., a 1300 m.s.n.m; IGN-MOPT 1981). La zona de vida según Holdridge se clasifica como bosque muy húmedo montano bajo (Tosi 1969). La temperatura y precipitación media anual son de 17 °C y 1800 mm, respectivamente. La topografía se caracteriza por lomas redondeadas sobre cenizas volcánicas recientes, con diferente grado de meteorización (Chinchilla 1987). Los suelos pertenecen al orden Andisol

caracterizados por su origen volcánico de buenas propiedades físicas, fertilidad moderada y altos contenidos de alofana (Bertsch 1995).

La finca "Los Chiles" posee una extensión de 10 hectáreas, dedicadas exclusivamente a la producción del café (*C. arabica*, var. Caturra) en asocio con poró (*E. poeppigiana*). El manejo es convencional y se aplican plaguicidas. Las enfermedades y plagas más frecuentes del café en la finca son: roya (*H. vastatrix*), chasparria (*C. coffeicola*), ojo de gallo (*M. citricolor*), antracnosis (*C. coffeanum*) y nemátodos de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus* (Araya 94).

La finca "La Cristina" posee una extensión de 8 hectáreas, dedicadas exclusivamente a la producción del café (*C. arabica*, var. Caturra) en asocio con poró (*E. poeppigiana*). El manejo es orgánico desde 6 años aproximadamente. Las enfermedades y plagas más frecuentes del café en la finca son: roya (*H. vastatrix*), chasparria (*C. coffeicola*), ojo de gallo (*M. citricolor*), antracnosis (*C. coffeanum*) y los nemátodos (*Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp.). Para el manejo de la fertilidad del suelo se aplica abono orgánico "compost" que se prepara a base de pulpa de café (Ernesto Carman, La Cristina, com. pers. 1999).

### 3.4.2 Establecimiento de parcelas de muestreo

Dado que ambas áreas experimentales presentaron un SAF de *C. arabica* var. Caturra y *E. poeppigiana* de 25 años de edad (5000 plantas/ha de café a 2 x 1m y 625 árboles/ha de poró a 4 x 4 m). El muestreo fue aleatorio polietápico (MAP) (Steel y Torrie 1985), en ambos tipos de sombra "parcelas grandes" (Cuadro 6). Dentro de cada parcela grande (unidad primaria; UP) se definieron 2 subparcelas (unidad secundaria; US) que poseían 50 surcos cada una, de estos se escogieron 12 y 13 surcos al azar (unidad terciaria; UT) dentro de cada una de las cuales se evaluó una planta permanentemente para cada surco (unidad cuaternaria; UC) para un total de 25 plantas. Se escogieron 2 subparcelas en cada nivel de sombra (Cuadro 6) porque las condiciones de lugar eran muy heterogéneas en cuanto a pendiente de suelo. La sombra de los árboles fue medida con un Ceptómetro (Decagon Devices Inc.) para conocer la densidad aproximada.



Cuadro 6. Manejo de los niveles de sombra "Birrisito" Paraíso, Costa Rica; 1300 m.s.n.m., 1800 mm, 1999.

Nivel de sombra	Manejo
Sombra variable	Se podó los árboles de <i>E. poeppigiana</i> dos veces al año manteniendo la densidad de sombra entre 0 y 50%.
Sombra intermedia	Los árboles de <i>E. poeppigiana</i> se mantienen con una densidad de sombra entre el 50 y 70% durante el año.

### 3.4.3 Variables de respuesta

Se evaluaron la fertilidad de suelo, nutrición de la planta, producción total y calidad de café, el procedimiento se describe en la sección 3.6.

### 3.4.4 Recolección de datos

Se definió un muestreo aleatorio polietápico (MAP) (Steel y Torrie 1985), dentro de cada finca (orgánica y convencional) seleccionándose una parcela grande (UP) con 100 surcos; en el sistema de manejo convencional (sombra variable) y el sistema de manejo orgánico (sombra intermedia). En cada parcela grande se definieron 2 subparcelas (US) que poseen 50 surcos cada una, de estos se escogieron al azar 12 y 13 surcos (UT) dentro de los cuales se evaluó una planta permanentemente (UC) para la variable producción. La variable calidad de grano se evaluó por medio de una muestra compuesta durante cinco fechas. En ambas variables se obtuvieron estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, coeficiente de variación y prueba de t).

## 3.5 Area experimental "La Pastora"

### 3.5.1 Sitio y manejo de la plantación

El estudio se realizó en la finca "Cerro Viejo" en La Pastora, San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica (9°40' Lat. N. y 84°02' Long. O., a una altitud de 1650 m.s.n.m; IGN-MOPT 1981). En la zona se presentan suelos alfisoles y ultisoles (AID/RIC 1965). Los suelos son poco profundos y rojos, donde

generalmente ocupan las partes más altas de las cuencas y pendientes de la zona (Bertsch 1995). La zona de vida según Holdridge se clasifica como bosque húmedo montano bajo (Tosi 1969). La vegetación del área está predominantemente constituida por plantaciones de café a pleno sol y algunas fincas poseen sombra de *E. poeppigiana*. La precipitación anual fluctúa entre 1500 a 2000 mm (MAG-IMN 1982).

La finca posee una extensión de 9 ha dedicadas exclusivamente a la producción del café (*C. arabica*, var. Caturra), ocho de ellas a pleno sol y una en asocio con sombra de *E. poeppigiana*. El manejo agronómico es intensivo (Cuadro 7) y se aplican plaguicidas continuamente (Minor Esquivel, Cerco Viejo, com. pers. 1999). Las enfermedades y plagas más frecuentes del café en la finca son ojo de gallo (*M. citricolor*), chasparria (*C. coffeicola*) y la cochinilla harinosa (*Planococcus citri* Rissao) en época seca (ICAFE-MAG 1989).

Cuadro 7. Manejo agronómico de *Coffea arabica* var. Caturra con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* en la finca "Cerco Viejo" La Pastora San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, 1999.

Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cosecha	X	X	X									X
Replante					X	X	X					
Fertilización						X				X		
Poda de café				X								
Deshija									X			
Poda de poró						X			X			
Herbicidas						X					X	
Fungicidas							X			X		
Encalado				X								

### 3.5.2 Establecimiento de parcelas de muestreo

El área experimental se instaló en un SAF de *C. arabica* var. Caturra y *E. poeppigiana* de veinticinco años de edad (5000 plantas/ha de café a 2 x 1 m y 204 árboles/ha de poró a 7 x 7 m). Se utilizó un muestreo por conglomerados en líneas (MCL) (Steel y Torrie 1985), delimitándose un conglomerado en el manejo, sin sombra y sombra variable (Cuadro 8). La utilización de un solo conglomerado para

cada nivel de sombra se debió a que las plantas fueron recolectadas con anterioridad, por lo que, hubo que muestrear un solo surco. Cada conglomerado constó de 25 elementos y fueron muestreados solamente una vez.

Cuadro 8. Manejo de la sombra de *Erythrina poeppigiana* en "Cerro Viejo" La Pastora San Marcos de Tarrazú, Costa Rica; 1650 m.s.n.m., 1500 - 2000 mm.

Nivel de sombra	Manejo
Sin sombra	Area muestreada sin ningún tipo de árboles de sombra.
Sombra variable	Dos podas al árbol de <i>E. poeppigiana</i> durante el año, manteniendo sombra entre 0 - 50%.

### 3.5.3 Variables de respuesta

Se evaluaron la fertilidad de suelo, peso fresco de fruto, pulpa y pergamino, fruto vano, incidencia de enfermedades del fruto y calidad de café. El procedimiento se describe en la sección 3.6.

### 3.5.4 Recolección de datos

Se definió como unidad muestral 25 plantas. Para cada nivel de sombra (Cuadro 8) se utilizó una sola línea, esto porque en el lugar de muestreo ya se había recolectado el café que estaba bajo sombra. Cada conglomerado tubo 25 plantas (25 metros lineales), de donde se obtuvo solamente una muestra compuesta.

## 3.6 Variables evaluadas

### 3.6.1 Fertilidad del suelo

En el suelo de las parcelas seleccionadas se usaron muestras compuestas de 0 a 30 cm de profundidad. En "El Cañal" se muestrearon los tratamientos sin sombra y con sombra densa en ambos bloques de var. Caturra y Catimor (Cuadro 9, 10). En "La Esmeralda" se sacaron dos muestras de suelo compuestas, una para cada nivel de sombra (Anexo 4). En "Birrisito" con áreas de muestreo más extensas y

con pendientes diferentes se tomaron cuatro muestras compuestas de suelo, dos para cada nivel de sombra (Anexo 5). En "*La Pastora*" de San Marcos de Tarrazú se caracterizó por datos de análisis de suelos (n=3) del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) (Anexo 6). Las muestras de suelo se realizaron al azar y estuvieron compuestas por 16 submuestras asegurando representatividad en cada unidad experimental (Carvajal 1984), para esto las muestras se obtuvieron en el círculo de fertilización a una distancia de 15 centímetros del tronco que es donde se encuentran el mayor porcentaje de raíces de la planta (Carvajal 1984). El análisis químico de las muestras realizado en el CATIE, incluyó: N total, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, B, pH en agua, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica.

### **3.6.2 Nutrición de la planta**

En "*El Cañal*" se recolectaron muestras compuestas de todos los tratamientos y sus respectivas repeticiones, en total 16 muestras para ambas variedades: dos muestras de sombra variable, dos de sombra intermedia, dos de sombra densa y dos sin sombra (Cuadro 11). En "*La Esmeralda*" se recolectó una muestra compuesta en sombra variable y otra en sombra intermedia (Anexo 7). En "*Birrisito*" se tomaron cuatro muestras compuestas, dos para cada nivel de sombra (Anexo 8). En "*La Pastora*" no se realizó muestreo foliar. El tejido foliar fue elegido del cuarto par de hojas en bandolas orientadas a los cuatro puntos cardinales y en la parte superior de la planta (Carvajal 1984). Cada muestra foliar estuvo compuesta por 100 hojas, cuatro por cada planta. Los elementos evaluados en el CATIE fueron: N total, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, S y B.

### **3.6.3 Producción total**

Se recolectaron los frutos de café (peso fresco en kg/25 plantas) por tratamiento desde julio 1998 hasta febrero 1999.

### **3.6.4 Peso del fruto, pulpa y pergamino**

Para cada tratamiento se determinó el peso fresco (en gramos) de 100 frutos de café; es decir, la pulpa (epicarpio) y pergamino (endospermo + endocarpio). La muestra fue tomada al azar de la producción extraída por cada fecha.

### **3.6.5 Fruto vano**

Se registró el porcentaje medio de frutos vanos para cada tratamiento en la muestra (100 frutos de café): “*El Cañal*” (n = 4); “*La Esmeralda*” (n = 8) y “*La Pastora*” (n = 1). Estas fueron tomadas al azar de la producción extraída en cada tratamiento por fecha.

### **3.6.6 Incidencia de enfermedades del fruto**

Se registró el porcentaje medio de frutos enfermos por tratamiento en una muestra (100 frutos de café). Estas fueron tomadas al azar de la producción extraída en cada tratamiento por fecha. Para clasificar y reconocer los síntomas de cada enfermedad se realizó al inicio de muestreos una prueba de diagnóstico en el laboratorio de fitopatología del CATIE.

### **3.6.7 Determinación de calidad en café**

#### **Recolección de muestras**

Se recolectaron muestras de 2 kg de café por tratamiento. La muestra incluía frutos de todo el dosel de las 25 plantas que constituían cada unidad experimental. El beneficiado se realizó en húmedo. El café fue despulpado y fermentado durante aproximadamente 18 horas. Luego la muestra de café se lavó con agua limpia para eliminar el mucilago adherido, basura y los frutos vanos. El secado se realizó en un horno a 45 °C durante un período de aproximadamente 20 horas hasta obtener una humedad entre 10 y 12%.

## **Análisis de laboratorio**

Las propiedades físicas y organolépticas se determinaron por el catador Sr. Jimmy Bonilla Saborío en el laboratorio de Catación de **COOCAFE** (Consortio de Cooperativas Cafetaleras de Guanacaste y Montes de Oro R.L.) en Alajuela. La caracterización física fue basada en el tamaño, color, olor, uniformidad, ranura y dureza y porcentaje de humedad del grano oro. Además se determinaron las características organolépticas aroma, cuerpo y acidez (Anexo 3) (Menchú 1966, Radillo 1963).

### **Propiedades físicas del grano.**

Para determinar las propiedades físicas del grano de café se tomaron 100 gramos y se identificó:

- **Distribución del tamaño de grano:** cada muestra de 100 gramos se pasó a través de un juego de zarandas No 18, 17, 16 y 15 (perforaciones circulares en sesenticuatros de pulgada) (Anexo 3). Posteriormente, las cantidades retenidas fueron pesadas para cada zaranda y se sacaron los diferentes tamaños del grano oro (Menchú 1966).
- **Color del grano:** se tomó una muestra de 100 gramos de café despergaminado para cada tratamiento y se calificó la tonalidad de color intrínseca del grano (Menchú 1966).
- **Olor del grano:** esta propiedad física se evaluó por medio de la observación al grano verde, determinándose los posibles problemas del beneficiado y lavado del café (Jimmy Bonilla, Coocafé, com. pers. 1999).

### **Tueste del grano**

La uniformidad, ranura (abertura de hendidura) y dureza de los granos tostados se evaluó visualmente por el catador oficial de Coocafé Sr. Jimmy Bonilla.

## **Propiedades organolépticas de la infusión**

Se pesaron 100 gramos por muestra de café y se colocaron dentro de bandejas de catación. Posteriormente el catador observó las muestras y dictaminó los índices color/olor y posibles daños del grano de café. Cada muestra se tostó en cilindros rotativos a una temperatura de 150°C durante 7 minutos para lograr un tueste homogéneo. Seguidamente se molió una submuestra de 48 gramos, la cual se dividió en cuatro tazas (repeticiones) de 12 gramos cada una. Cada taza se preparó con 240 ml de agua en ebullición. La infusión preparada se olió y degustó para determinar el aroma, cuerpo y acidez (Jimmy Bonilla, Coocafé, com. pers. 1999) (Anexo 3).

## **Escala de evaluación de la Calidad**

Para cada cualidad física y organoléptica se definió una escala según el Anexo 3; es decir: para las variables uniformidad, ranura y dureza el rango fue de 1 a 15 siendo este último el más alto. Asimismo para las variables color, olor aroma, acidez y cuerpo el rango fue más amplio y abarcó de 1 a 20.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de los sitios según la fertilidad del suelo

En "*El Cañal*" la fertilidad fue clasificada como baja a media (Cuadro 9, 10). Las parcelas presentaron bajo contenido de P el cual es común en suelos volcánicos (Bertsch 1995). Los contenidos de materia orgánica, Mg y K fueron medianos, mientras que el B mostró un nivel alto en todas las parcelas (Cuadro 9, 10). El pH y la saturación de acidez indicaron posibles problemas de toxicidad de aluminio en el café para ambas áreas (Bertsch 1995). En var. Caturra se observaron diferencias en los contenidos de Ca y Zn (Cuadro 9) y al contrario en Catimor no las hubo (Cuadro 10).

En "*La Esmeralda*", la fertilidad se clasificó como baja (Anexo 4), con pH bajo y saturación de acidez media que indican posibles problemas de toxicidad de aluminio. Ambos tipos de sombra presentaron bajos contenidos de P, de bases (Ca, Mg y K) y de CIC (Anexo 4) (Bertsch 1995). El contenido de materia orgánica fue muy alto en ambos niveles de sombra lo cual es normal en suelos volcánicos donde hay complejos de alofanas y cenizas (Bertsch 1995).

"*Birrisito*" presentó una fertilidad de baja a media. El pH, el contenido de bases (Ca, Mg y K) y de P y Zn fueron bajos y la saturación de bases media, lo que podría provocar problemas de toxicidad de aluminio. El contenido de materia orgánica fue intermedia en ambas parcelas (Anexo 5).

En "*La Pastora*", la fertilidad se clasificó como media, donde el pH, la acidez extraíble y el boro fueron bajos según la media de tres análisis de suelos realizados por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) (Anexo 6).



Cuadro 9. Propiedades químicas del suelo\* bajo *Coffea arabica* var. Caturra en los tratamientos con sombra densa de *Erythrina poeppigiana* y sin sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999.

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. <sub>1</sub> (%)	N <sub>2</sub> total (%)	P <sub>3</sub> mg/l	K <sub>3</sub> cmol(+)/l	Al+H <sub>4</sub> cmol(+)/l
Sin sombra	1	0 - 20	4.40	5.79	0.39	7.75	0.20	4.13
	2	0 - 20	4.30	6.49	0.41	12.14	0.27	4.55
	$\bar{x}$	0 - 20	4.35 (B)	6.14 -	0.40 -	9.94 (B)	0.24 (M)	4.34 (A)
Sombra densa	1	0 - 20	4.40	6.01	0.38	7.90	0.20	2.51
	2	0 - 20	4.50	6.42	0.42	8.63	0.21	3.11
	$\bar{x}$	0 - 20	4.45 (B)	6.21 -	0.40 -	8.26 (B)	0.21 (M)	2.81 (A)

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	Ca <sub>4</sub> cmol(+)/l	Mg <sub>4</sub> cmol(+)/l	Cu <sub>3</sub> mg/l	Zn <sub>3</sub> mg/l	Mn <sub>3</sub> mg/l	B <sub>5</sub> mg/Kg
Sin sombra	1	0 - 20	2.70	1.18	11.01	1.72	14.64	0.74
	2	0 - 20	2.96	0.96	17.33	1.98	20.96	0.96
	$\bar{x}$	0 - 20	2.83 (M)	1.07 (M)	14.17 (M)	1.85 (B)	17.80 (M)	0.85 (A)
Sombra densa	1	0 - 20	3.67	1.25	17.81	2.13	39.35	1.14
	2	0 - 20	4.46	1.16	20.15	4.23	27.02	0.64
	$\bar{x}$	0 - 20	4.06 (A)	1.20 (M)	18.98 (M)	3.18 (M)	33.18 (M)	0.89 (A)

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	C.I.C <sub>6</sub>	Ca <sub>7</sub>	Mg <sub>7</sub>	K <sub>7</sub>	Na <sub>7</sub>
			----- cmol(+)/kg -----				
Sin sombra	1	0 - 20	36.08	2.79	0.87	0.50	0.01
	2	0 - 20	35.14	2.80	1.07	0.64	0.03
	$\bar{x}$	0 - 20	35.61	2.80	0.97	0.57	0.02
Sombra densa	1	0 - 20	33.67	3.78	1.16	0.51	0.04
	2	0 - 20	33.70	4.36	0.99	0.59	0.03
	$\bar{x}$	0 - 20	33.69	4.07	1.08	0.55	0.03

\* Muestras compuestas replicadas en ambos bloques. 1 Método de Walkley Black. 2 Semimicro Kjeldahl. 3 Extracción en Olsen Modificado pH 8.5. 4 Extracción con 1N KCL. 5 Extracción con solución de fosfato de calcio y determinación colorimétrica. 6 Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 y luego en NaCl 10%, pH 2.5 con destilación del amonio. 7 Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 (lectura por absorción atómica). Condiciones: A = alta, M = media y B = baja (Criterios según Carvajal 1984 y Bertsch 1995).

Cuadro 10. Propiedades químicas del suelo\* bajo *Coffea arabica* var. Catimor 5175 en los tratamientos con sombra densa de *Erythrina poeppigiana* y sin sombra en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999.

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. <sub>1</sub> (%)	N <sub>2</sub> total (%)	P <sub>3</sub> mg/l	K <sub>3</sub> cmol(+)/l	Al+H <sub>4</sub> cmol(+)/l
Sin sombra	1	0 - 20	4.4	6.23	0.41	20.92	0.26	3.77
	2	0 - 20	4.4	5.64	0.42	6.29	0.20	5.73
	$\bar{x}$	0 - 20	4.4	5.94	0.42	13.6	0.23	4.75
			(B)	-	-	(B)	(M)	(A)
Sombra densa	1	0 - 20	4.4	6.00	0.41	6.44	0.19	3.05
	2	0 - 20	4.6	7.02	0.46	7.32	0.21	3.00
	$\bar{x}$	0 - 20	4.5	6.51	0.44	6.88	0.20	3.02
			(B)	-	-	(B)	(M)	(A)

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	Ca <sub>4</sub> cmol(+)/l	Mg <sub>4</sub> cmol(+)/l	Cu <sub>3</sub> mg/l	Zn <sub>3</sub> mg/l	Mn <sub>3</sub> mg/l	B <sub>5</sub> mg/Kg
Sin sombra	1	0 - 20	3.01	0.89	17.62	3.83	36.93	0.65
	2	0 - 20	4.99	1.49	9.29	3.82	26.63	0.72
	$\bar{x}$	0 - 20	4.00	1.19	13.46	3.82	31.78	0.68
			(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(A)
Sombra densa	1	0 - 20	4.44	1.09	15.51	2.61	28.38	0.96
	2	0 - 20	5.41	1.38	14.76	4.27	24.79	0.74
	$\bar{x}$	0 - 20	4.92	1.23	15.14	3.44	26.58	0.85
			(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(A)

Tratamiento	Bloque	Prof (cm)	C.I.C <sub>6</sub>	Ca <sub>7</sub>	Mg <sub>7</sub>	K <sub>7</sub>	Na <sub>7</sub>
			----- cmol(+)/kg -----				
Sin sombra	1	0 - 20	33.74	2.88	1.01	0.72	0.06
	2	0 - 20	39.76	4.90	1.43	0.56	0.04
	$\bar{x}$	0 - 20	36.75	3.89	1.22	0.64	0.05
Sombra densa	1	0 - 20	35.09	4.66	0.98	0.53	0.02
	2	0 - 20	37.49	5.88	1.37	0.65	0.03
	$\bar{x}$	0 - 20	36.29	5.27	1.17	0.59	0.02

\* Muestras compuestas replicadas en ambos bloques. 1 Método de Walkley Black. 2 Semimicro Kjeldahl. 3 Extracción en Olsen Modificado pH 8.5. 4 Extracción con 1N KCL. 5 Extracción con solución de fosfato de calcio y determinación colorimétrica. 6 Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 y luego en NaCl 10%, pH 2.5 con destilación del amonio. 7 Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 (lectura por absorción atómica). Condiciones: A = alta, M = media y B = baja (Criterios según Carvajal 1984 y Bertsch 1995).

## 4.2 Caracterización de los sitios según la nutrición de las plantas

En general las concentraciones foliares de nutrimentos en "*El Cañal*" fueron de intermedias a altas en var. Caturra (Cuadro 11). Los niveles de S fueron bajos en todos los tratamientos y el análisis de varianza mostró que no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre las concentraciones encontradas. Similar ocurrió en var. Catimor pero con K, S y Zn, donde también no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre concentraciones. El Mg y Mn fueron altos en los tejidos de ambas variedades, sin embargo, solamente hubo diferencias ( $p < 0.05$ ) en las concentraciones de Mg en el tratamiento a pleno sol de var. Catimor. Otros elementos que mostraron diferencias ( $p < 0.05$ ) en esta variedad fueron N y B, sin embargo no hubo deficiencias en las plantas. La var. Catimor presentó menores concentraciones de elementos en las hojas que var. Caturra (bajo - media) (Cuadro 11). El comportamiento del análisis general guarda relación con el contenido de nutrientes en el suelo y reflejan la importancia de la fertilización en estas condiciones.

En "*La Esmeralda*", en general las concentraciones variaron entre alto y medio (Anexo 7). Los niveles de K y S fueron bajos en ambos tipos de sombra (variable e intermedia) y el Zn fue deficiente. Los niveles de Ca y P fueron intermedios. Los tejidos vegetales presentaron un comportamiento similar con el contenido de nutrientes del suelo. En "*Birrisito*" las concentraciones foliares fueron medias - altas, similar a "*La Esmeralda*". El Zn fue deficiente en ambos tratamientos y el K en sombra variable. El S se presentó bajo en ambos tratamientos. En "*La Pastora*" no se realizó un análisis de tejido foliar.

## 4.3 Producción

En "*El Cañal*" la producción no varió entre tratamientos ( $p > 0.05$ ) de var. Caturra y Catimor 5175 (Cuadro 12, 13). Para ambas variedades el peso fresco de fruto en sombra intermedia y densa fue significativamente mayor que para sombra variable y sin sombra (Cuadro 12, 13). El peso fresco de la pulpa de sombra intermedia y densa fue mayor que con sombra variable y sin sombra de var. Caturra ( $p > 0.01$ ).

Cuadro 11. Concentración de nutrimentos (n= 2) en hojas de *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor 5175 bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999.

Tratamiento	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	P (%)	S (%)
<b>Caturra</b>					
Sin Sombra	1.45 a (M)	0.63 a (A)	1.88 a (M)	0.15 a (M)	0.12 a (B)
Sombra variable	1.22 a (M)	0.40 a (A)	2.11 a (M)	0.15 a (M)	0.12 a (B)
Sombra intermedia	1.47 a (M)	0.61 a (A)	2.23 a (M)	0.16 a (M)	0.12 a (B)
Sombra densa	1.46 a (M)	0.62 a (A)	2.28 a (M)	0.15 a (M)	0.12 a (B)
<b>Catimor</b>					
Sin Sombra	1.73 a (A)	0.98 a (A)	1.30 a (B)	0.14 a (M)	0.12 a (B)
Sombra variable	1.78 a (A)	0.88 ab (A)	1.55 a (B)	0.14 a (M)	0.12 a (B)
Sombra intermedia	1.80 a (A)	0.70 b (A)	1.62 a (B)	0.14 a (M)	0.12 a (B)
Sombra densa	1.72 a (A)	0.70 b (A)	1.49 a (B)	0.14 a (M)	0.12 a (B)

Tratamiento	N (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	B (mg/Kg)
<b>Caturra</b>					
Sin Sombra	2.92 a (A)	11.76 a (M)	9.84 a (D)	315 a (A)	96 a (M)
Sombra variable	2.96 a (A)	12.12 a (A)	11.21 a (B)	292 a (A)	81 a (M)
Sombra intermedia	2.97 a (A)	13.43 a (A)	10.37 a (B)	258 a (A)	87 a (M)
Sombra densa	2.81 a (M)	13.36 a (A)	11.60 a (B)	234 a (A)	87 a (M)
<b>Catimor</b>					
Sin Sombra	2.61 a (M)	12.12 a (A)	11.00 a (B)	472 a (A)	93 a (M)
Sombra variable	2.62 ab (M)	10.76 a (M)	11.40 a (B)	422 a (A)	72 ab (M)
Sombra intermedia	2.72 b (M)	12.19 a (A)	14.80 a (B)	314 a (A)	59 b (B)
Sombra densa	2.67 ab (M)	11.66 a (M)	12.12 a (B)	335 a (A)	67 ab (M)

Digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórica, 5:1. Determinación por A.A. para (Ca, Mg, K, Cu, Zn y Mn). Fósforo por colorimetría. Azufre por método turbidimétrico. Nitrógeno por método semimicro Kjeldahl. Boro por método digestivo seco, luego determinación colorimétrica. Condiciones: A= alta, M= media, B= baja y D= defiende (Criterios según Carvajal 1984). Promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), según la prueba Tukey.

La var. Catimor no hubo diferencias ( $p < 0.05$ ). En peso fresco del pergamino no presentó diferencias ( $p > 0.1$ ), sin embargo se observó un incremento entre media de tratamientos. El porcentaje de fruto vano fue mayor sin sombra y con sombra variable (8 y 9.5%, respectivamente), que en sombra intermedia y densa (3.5 y 5.5, respectivamente) (Cuadro 12, 13).

En “*La Esmeralda*” el nivel de sombra variable presentó mayor producción que con sombra intermedia (prueba t;  $p < 0.1$ ) (Cuadro 14). En “*La Pastora*” no se registraron datos de producción. El peso fresco de fruto en “*La Esmeralda*” fue mayor en sombra intermedia que en sombra variable. En “*La Pastora*”, el peso fresco fue similar sin sombra que bajo sombra variable. Desafortunadamente la falta de repeticiones no permitió un análisis estadístico en este sitio. El peso fresco de pulpa y pergamino mostró diferencias entre las medias según la prueba t (Cuadro 14). En “*La Esmeralda*”, el porcentaje de grano vano fue mayor en sombra variable que con sombra intermedia y en “*La Pastora*” no hubo diferencias entre sombra variable y sombra intermedia (Cuadros 14).

#### 4.4 Incidencia de enfermedades del grano

En “*El Cañal*” los frutos de ambas variedades fueron más afectados por chasparria (*C. coffeicola*) en los tratamientos sin sombra y con sombra variable que bajo sombra intermedia y densa (Cuadro 12, 13). La antracnosis (*Colletotrichum* sp.) en var. Caturra ( $p < 0.01$ ) afectó mayormente a los frutos sin sombra y con sombra variable. En Catimor no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ). El ojo de gallo (*M. citricolor*) ( $p < 0.01$ ) afectó más los tratamientos con sombra intermedia y densa en ambas variedades (Cuadro 13, Anexo 10, 11).

En “*La Esmeralda*” se observaron más frutos chasparriados en sombra variable y en “*La Pastora*” sin sombra. La antracnosis se observó mayormente en frutos bajo sombra variable en “*La Esmeralda*”. En “*La Pastora*”, no hubo problemas con esa enfermedad. El ojo de gallo afectó solo los frutos en sombra intermedia de “*La Esmeralda*” (Cuadro 14).

Cuadro 12. Producción y características de frutos de Caturra bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999.

TRAT.	VARIABLES								
	--- Producción ---			----- Fruto -----			--- Enfermedades ---		
	kg/ha▶	Fan/ha✱	P fruto*	P pulpa*	P perg*	G vano◊	Chasp <sup>j</sup>	Antra <sup>j</sup>	Ojo <sup>j</sup>
Sin sombra	19,370 a	75	134 ab	58 a	76 a	9 a	9 a	4 a	0 a
Sombra variable	20,910 a	81	133 a	56 a	78 a	7 a	9 a	3 ab	0 a
Sombra intermedia	12,130 a	47	148 bc	66 b	82 a	4 b	4 b	2 b	3 b
Sombra densa	15,250 a	59	152 c	66 b	87 a	3 b	3 b	1 c	4 b

▶ kg/ha = producción en kilogramos por hectárea (peso fresco). ✱ Fan/ha= Fanegas por hectárea. \* P grano, P pulpa y P perg = peso fresco de 100 frutos, sin pulpa y grano pergamino. ◊ G vano= porcentaje de grano vano. <sup>j</sup> Chasp= porcentaje de *Cercospora coffeicola*, Antra= porcentaje de *Colletotrichum coffeanum*, Ojo= porcentaje de *Mycena citricolor*. Promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).

Cuadro 13. Producción y características de frutos de Catimor 5175 bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999.

TRAT.	VARIABLES								
	--- Producción ---			----- Frutos -----			--- Enfermedades ---		
	kg/ha▶	Fan/ha✱	P fruto*	P pulpa*	P perg*	G vano◊	Chasp <sup>j</sup>	Antra <sup>j</sup>	Ojo <sup>j</sup>
Sin sombra	19,520 a	76	151 a	62 a	89 a	10 a	12 a	5 a	0 a
Sombra variable	20,180 a	78	158 b	67 a	92 a	9 a	13 a	4 a	0 a
Sombra intermedia	15,380 a	60	164 b	69 a	95 a	6 b	3 b	3 a	5 b
Sombra densa	16.080 a	62	163 b	70 a	94 a	5 b	3 b	3 a	5 b

▶ kg/ha = producción en kilogramos por hectárea (peso fresco). ✱ Fan/ha= Fanegas por hectárea. \* P grano, P pulpa y P perg = peso fresco de 100 frutos, su pulpa y grano pergamino. ◊ G vano= porcentaje de grano vano. <sup>j</sup> Chasp= porcentaje de *Cercospora coffeicola*, Antra= porcentaje de *Colletotrichum coffeanum*, Ojo= porcentaje de *Mycena citricolor*. Promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).

Cuadro 14. Producción, características de frutos y enfermedades del grano en var. Caturra bajo tres niveles de sombra en diferentes zonas experimentales de Costa Rica, 1999.

VARIABLES	AREAS EXPERIMENTALES							
	"La Esmeralda"			"Birrisito"			"La Pastora"	
	Var.◇	Inter☆	P>T (n=8)	Var.◇	Inter.☆	P>T (n=6)	Sin.γ	Var.◇
Producción en Kg/ha ^	10,323	5,787	0.09	9,927	9,447	0.80	-	-
Fan/ha »	40	22	-	38	37	-	-	-
D.E.	6.0	3.7	-	1.5	1.2	-	-	-
Peso fresco de 100 frutos (g)	131	147	0.001	-	-	-	167	161
D.E.	7.7	5.5	-	-	-	-	-	-
Peso fresco de pulpa de 100 frutos (g)	57	66	0.004	-	-	-	62	60
D.E.	7.3	3.6	-	-	-	-	-	-
Peso fresco de pergamino de 100 frutos (g)	74	82	0.001	-	-	-	98	90
D.E.	4.3	4.7	-	-	-	-	-	-
Granos vanos (%)	8	5	0.001	-	-	-	3	3
D.E.	2.1	1.9	-	-	-	-	-	-
Granos chasparriados (%) <sup>j</sup>	11	6	0.002	-	-	-	2	1
D.E.	4.6	2.8	-	-	-	-	-	-
Granos con antracnosis (%) <sup>j</sup>	6	2	0.002	-	-	-	0	0
D.E.	3.7	1.5	-	-	-	-	-	-
Granos con Ojo de gallo (%) <sup>j</sup>	0	1	0.005	-	-	-	0	0
D.E.	0	1.6	-	-	-	-	-	-

◇ Sombra variable. ☆ Sombra intermedia. γ Sin sombra, datos de una sola muestra compuesta. ^ Producción en kilogramos por hectárea (peso fresco). » Fan/ha= fanegas cosechadas por hectárea (en volumen). <sup>j</sup> Chasp= porcentaje de *Cercospora coffeicola*, Antra= porcentaje de *Colletotrichum* sp., Ojo= porcentaje de *Mycena citricolor*. La prueba t fue significativamente diferente a  $p < 0.1$ .

## 4.5 Calidad de café

### 4.5.1 Propiedades físicas del grano

#### Tamaño de grano

En *"El Cañal"* los porcentajes de granos de mayores tamaños de fruto 18/64 y 17/64 incrementaron en los tratamientos con sombra intermedia y densa (Figura 1) en ambas variedades, Caturra y Catimor 5175. Por otra parte, se observó que el porcentaje de grano más grande que 18/64 (sesenticuatros de pulgada) se mantuvo casi constante durante tres fechas consecutivas en sombra intermedia y densa de ambas variedades (6.5 a 10.5 porcentaje de variación), respectivamente. En contraste la variación entre los tratamientos sin sombra y con sombra variable en las diferentes fechas fue de (5.8 a 23.4 porcentaje de variación) (Cuadro 15).

En *"La Esmeralda"* y *"Birrisito"* se observaron tendencias similares a *"El Cañal"*. Sombra intermedia aumentó las fracciones de grano de 18/64 y 17/64 (Figura 2). En *"La Pastora"* la muestra compuesta obtenida presentó una tendencia inversa para la fracción de grano con respecto a las demás áreas experimentales, el grano grande 18/64 en sombra variable resultó menor que sin sombra (Figura 2).



Cuadro 15. Porcentaje de grano grande 18/64 en tres fechas consecutivas de producción de *Coffea arabica* var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999.

Tratamiento	Fechas			C.V.
	1 (09/11/98)	2 (23/11/98)	3 (5/12/98)	
<b>A. Caturra</b>				
Sin sombra (T1)	23.0	29.5	18.5	23.4
Sombra variable (T2)	22.5	34.0	23.0	20.2
Sombra intermedia (T3)	30.5	34.5	29.5	8.4
Sombra densa (T4)	29.5	32.5	33.5	6.5
Diferencia T4 – T1	6.5	3.0	15.0	
<b>B. Catimor</b>				
Sin sombra (T1)	26.5	24.0	24.0	5.8
Sombra variable (T2)	24.0	31.0	31.0	14.1
Sombra intermedia (T3)	26.5	30.0	30.0	7.0
Sombra densa (T4)	31.5	38.0	38.0	10.5
Diferencia T4 – T1	5.0	14.0	14.0	

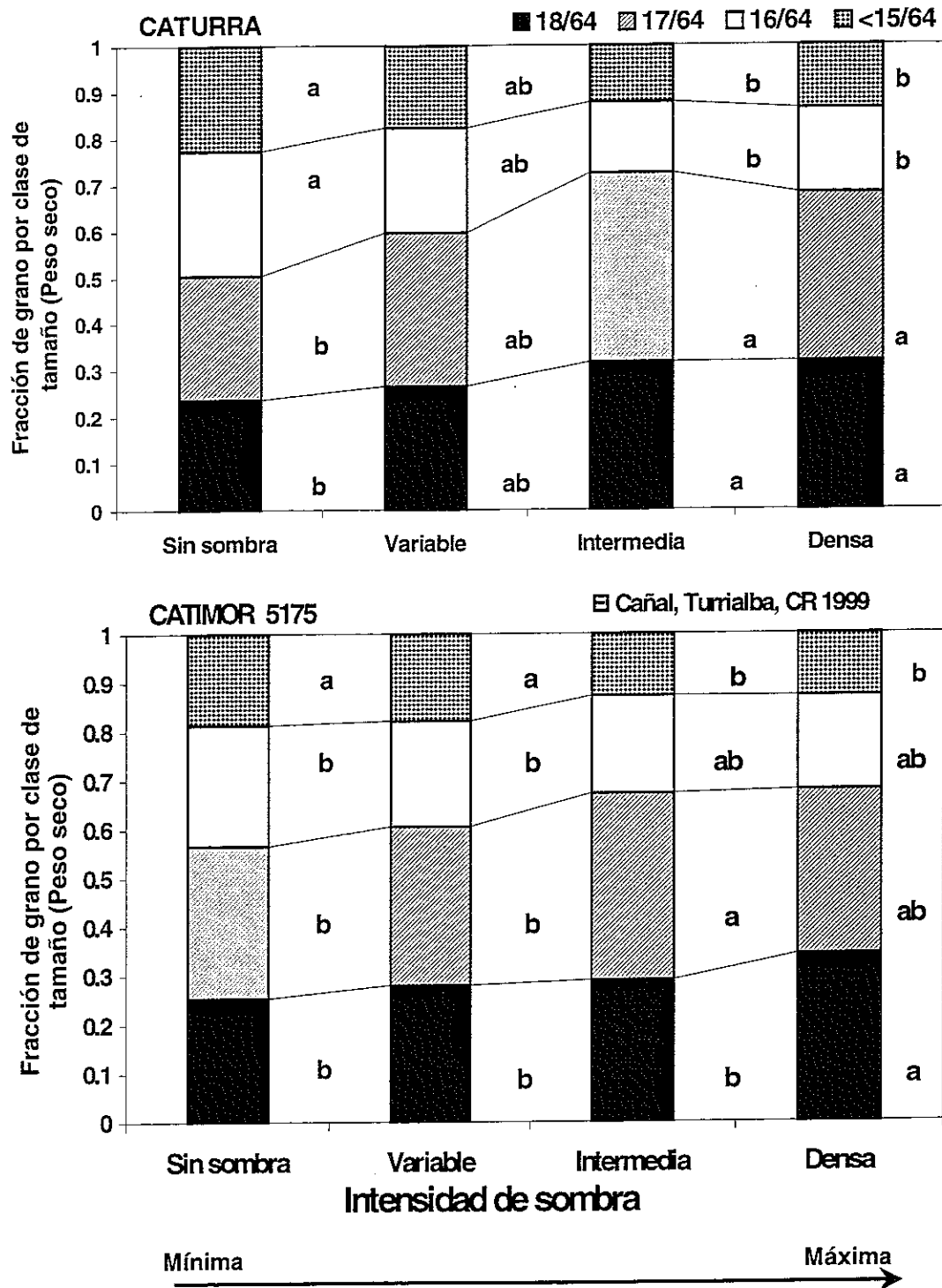


Figura 1. Distribución por tamaño de grano de *Coffea arabica* var. Caturra (arriba) y Catimor 5175 (abajo) bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* (la intensidad aumenta de izquierda a derecha) en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica, 1999 (700 m.s.n.m., 2600 mm). Las letras iguales no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) entre tratamientos.

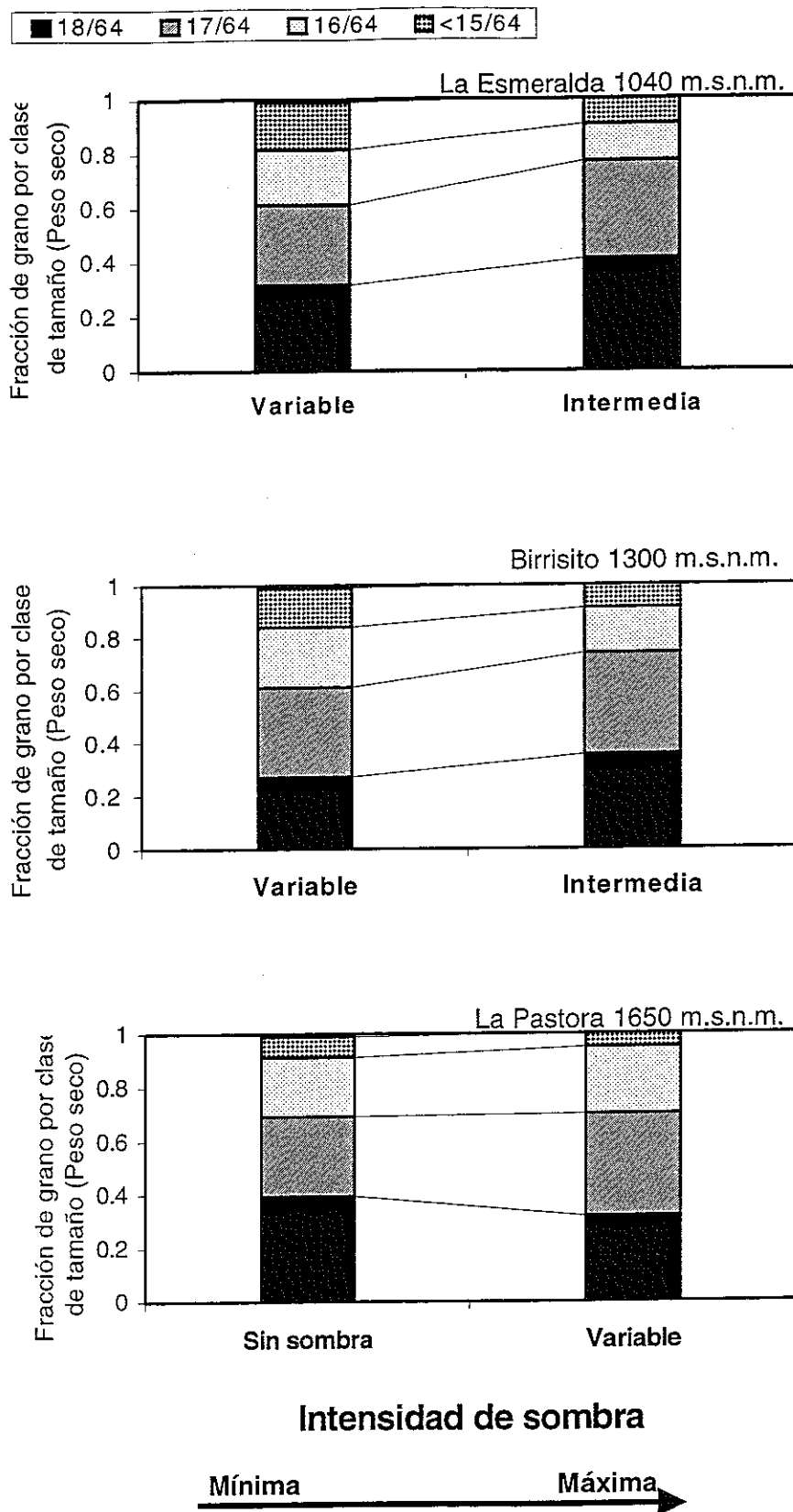


Figura 2. Distribución por tamaño de grano de *Coffea arabica* var. Caturra bajo dos niveles de sombra en "La Esmeralda" (n = 4; 1040 m.s.n.m. Turrialba, Cartago); "Birrisito" (n = 5; 1300 m.s.n.m. Paraíso, Cartago) y "La Pastora" (n = 1; 1650 m.s.n.m. San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, 1999).

## Grano verde

Las muestras del café oro obtuvieron al final del proceso de beneficiado y secado 11,5% de humedad, un porcentaje considerado óptimo para la caracterización física y organoléptica del café (Menchú 1966). Para var. Caturra, el índice de color del grano resultó menor sin sombra que bajo sombra variable, intermedia y densa (Fig. 3, Cuadro 16). En Catimor también hubo ( $p < 0.1$ ) diferencias en color y fueron los mejores tratamientos sombra intermedia y densa (Cuadro 16, Anexo 13). Además, se hallaron diferencias ( $p < 0.1$ ) entre fechas de muestreo para calidad física en var. Caturra (Cuadro 17). El olor no mostró diferencias ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos para ambas variedades (Fig. 3, Cuadro 16). En "La Esmeralda", "Birrisito" y "La Pastora", los índices de color y olor fueron superiores bajo sombra alta (Fig. 4, Cuadro 18).

## Tueste de grano

Los granos tostados de Caturra fueron más uniformes ( $p < 0.01$ ) con sombra intermedia y densa que con sombra variable o sin sombra en "El Cañal". En la var. Catimor no hubo diferencias entre tratamientos (Anexo 12, 13) pero sí ( $p < 0.01$ ) entre fechas de muestreo, observándose una mayor media en el primer muestreo (Cuadro 18). Un comportamiento similar se observó en "La Esmeralda" y "Birrisito" en cuanto al nivel de sombra intermedia la cual ayudó posiblemente ayudando la uniformidad. Sin embargo, en "La Pastora" esta calidad física no varió entre sombra variable y sin sombra en una sola muestra compuesta, aunque la falta de repeticiones no permitió este resultado estadísticamente (Figura 4). La ranura del grano Caturra no fue diferente entre tratamientos ( $p > 0.1$ ), pero Catimor sí mostró diferentes entre tratamientos ( $p < 0.1$ ), resultando mayores con sombra intermedia y densa (Cuadro 16, Anexo 13). La ranura en "La Esmeralda", "Birrisito" y "La Pastora" presentó los mayores valores a niveles altos de sombra (Fig. 4, Cuadro 18). En "El Cañal" la dureza del grano no varió entre tratamientos ( $p > 0.1$ ) de var. Caturra, pero sí ( $p < 0.1$ ) para var. Catimor en los tratamientos con sombra intermedia y densa (Anexos 12, 13). Además, se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre las fechas de muestreo de esta calidad física (Cuadro 17). La dureza del

grano en "*La Esmeralda*", "*Birrisito*" y "*La Pastora*" aumentó con la sombra (Fig. 4, Cuadro 18). Las cualidades físicas de grano (uniformidad, ranura y tueste) mostraron diferencias entre las medias para "*La Esmeralda*" y "*Birrisito*" según la prueba t (Cuadro 18).

### **Propiedades organolépticas de la bebida (taza)**

El aroma no mostró diferencias entre tratamientos ( $p > 0.1$ ) de var. Caturra y Catimor, pero los valores fueron consistentemente mayores en sombra intermedia y densa (Fig. 3, Cuadro 16). También en "*La Esmeralda*" y "*Birrisito*" el aroma se mejoró con el aumento del nivel de sombra. En "*La Pastora*" el aroma fue pareció inferior bajo sombra variable que sin sombra variable, aunque la falta de repeticiones no permitió hacer un análisis estadístico (Fig. 4, Cuadro 18). La tendencia en las diferentes áreas experimentales demostraron que la diferencia entre niveles de sombra para aroma se reduce con la elevación, sin embargo se debe aclarar que en el área experimental "*La Pastora*" se utilizaron los niveles de sombra variable y sin sombra (pleno sol), por lo que, no son del todo comparables. Además, en esta área solo se realizó un muestreo y hubo solo una repetición (Figura 5).

La sombra intermedia y densa aumentó la acidez del café para ambas variedades (Fig. 3, Cuadro 16). Asimismo hubo diferencias ( $p < 0.1$ ) entre fechas de var. Catimor (Cuadro 16). En "*La Esmeralda*" y "*Birrisito*" aumentaron medias a mayores niveles de sombra, según la prueba t. En "*La Pastora*" la acidez fue menor en sombra variable que sin sombra (Fig. 4, Cuadro 18) y la tendencia mostró que la sombra afectó la acidez en "*La Pastora*" (Figura 5).

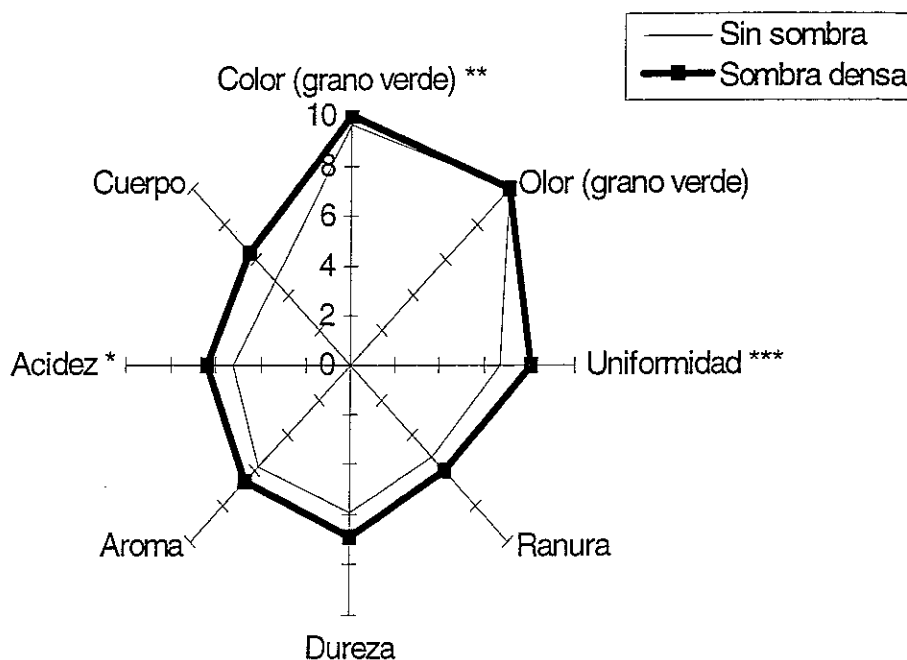
El cuerpo no mostró diferencias ( $p > 0.1$ ) en var. Caturra (Cuadro 15), pero sí para var. Catimor ( $p < 0.1$ ) resultando menor el tratamiento sin sombra (Fig. 3, anexo 14). En "*La Esmeralda*", "*Birrisito*" y "*La Pastora*" se observó una tendencia al aumento de las medias con uso de mayores niveles de sombra (Fig. 5, Cuadro 18). Asimismo, las cualidades organolépticas presentaron diferencias ( $p < 0.1$ ) entre medias, según la prueba t (Cuadro 18).

Cuadro 16. Cualidades físicas y organolépticas del fruto de *Coffea arabica* var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999.

TRATAMIENTOS	CUALIDADES FÍSICAS Y ORGANOLEPTICAS							
	----- Verde -----		-----Tueste -----			----- Taza -----		
	Color	Olor	Uniformidad	Ranura	Dureza	Aroma	Acidez	Cuerpo
<b>A. Caturra</b>								
Sin sombra	18.7 a	20.0 a	10.0 a	7.8 a	8.8 a	11.7 a	10.3 a	9.5 a
Sombra variable	19.3 ab	20.0 a	10.7 a	8.7 a	9.2 a	12.2 a	11.5 ab	10.8 a
Sombra intermedia	20.0 b	20.0 a	12.3 b	9.0 a	10.0 a	13.2 a	12.3 b	12.3 a
Sombra densa	20.0 b	20.0 a	12.2 b	9.0 a	10.3 a	13.2 a	12.7 b	12.8 a
<b>B. Catimor</b>								
Sin sombra	19.0 a	20.0 a	7.3 a	7.3 a	7.2 a	11.5 a	8.3 a	9.8 a
Sombra variable	19.6 ab	20.0 a	7.7 a	7.3 a	7.3 a	10.7 a	8.5 a	10.7 ab
Sombra intermedia	20.0 b	20.0 a	10.0 a	7.8 b	8.3 ab	12.0 a	11.0 b	11.3 ab
Sombra densa	19.7 ab	20.0 a	10.2 a	7.8 b	8.7 b	12.3 a	11.0 b	12.3 b

Promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p < 0,1$ ), según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).

### Caturra



### Catimor 5175

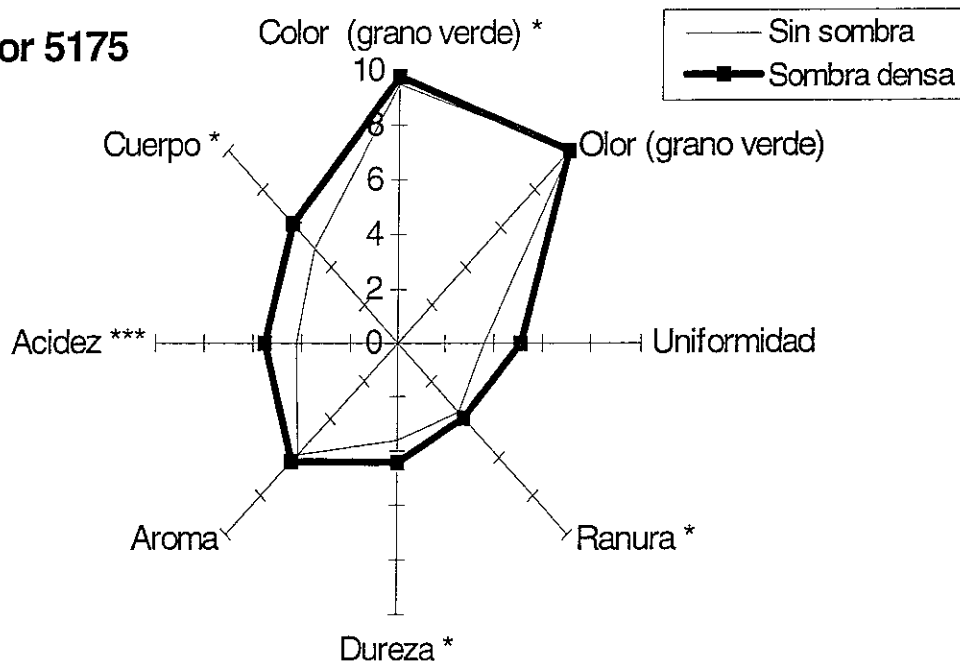


Figura 3. Atributos de la calidad de grano verde (color y olor) y tostado (uniformidad, ranura y dureza) en dos variedades de *Coffea arabica* cultivadas sin sombra y bajo sombra densa de *Erythrina poeppigiana* ( $n = 3$ ) a baja elevación en "El Cañal" (700 m.s.n.m., 2600 mm, Turrialba, Costa Rica, 1999). La escala utilizada fue un índice relativo con un máximo de 10. La significancia entre los tratamientos fue: \*\*\* $\alpha < 0.01$ , \*\* $\alpha < 0.05$  y \* $\alpha < 0.1$ .

Cuadro 17. Cualidades físicas y organolépticas del café (*Coffea arabica*) var. Caturra (A) y Catimor 5175 (B) en tres fechas consecutivas (n=2) bajo cuatro tratamientos con sombra de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal", Turrialba, Cartago, Costa Rica; 700 m.s.n.m., 2600 mm, 1999.

Tratamiento	Fecha	Cualidades Físicas y Organolépticas							
		Valor max.	---- Verde ----		----- Tueste -----			----- Taza -----	
		Color	Olor	Unifor.	Ranura	Dureza	Aroma	Acidez	Cuerpo
		20	20	15	15	15	20	20	20
<b>A. Caturra</b>									
Sin sombra	1	18.5 a	20.0 a	10.5 a	7.5 a	8.0 a	11.5 a	10.5 a	8.0 a
	2	19.0 a	20.0 a	9.5 a	8.5 a	8.0 a	12.0 a	10.0 a	9.5 a
	3	18.5 a	20.0 a	10.0 a	7.5 a	10.5 a	11.5 a	10.5 a	11.0 a
Sombra variable	1	19.0 a	20.0 a	11.5 a	8.5 a	9.5 a	12.0 a	11.0 a	10.0 a
	2	20.0 b	20.0 a	9.5 a	9.0 a	9.0 a	12.0 a	12.0 a	11.0 a
	3	19.0 a	20.0 a	11.0 a	8.5 a	9.0 a	12.5 a	11.5 a	11.5 a
Sombra intermedia	1	20.0 b	20.0 a	13.0 a	9.0 a	10.0 a	13.0 a	12.0 a	12.5 a
	2	20.0 b	20.0 a	12.0 a	9.0 a	10.5 a	13.0 a	13.0 a	12.5 a
	3	20.0 b	20.0 a	12.0 a	9.0 a	9.5 a	13.5 a	12.0 a	12.0 a
Sombra densa	1	20.0 b	20.0 a	12.0 a	9.0 a	10.0 a	13.5 a	12.0 a	12.5 a
	2	20.0 b	20.0 a	12.5 a	9.0 a	10.5 a	12.5 a	14.0 a	11.5 a
	3	20.0 b	20.0 a	12.0 a	9.0 a	10.5 a	13.5 a	12.0 a	14.5 a
<b>B. Catimor</b>									
Sin sombra	1	19.0 a	20.0 a	9.0 ab	7.0 a	6.5 a	11.0 a	8.5 a	9.5 a
	2	19.0 a	20.0 a	7.0 a	7.0 a	7.5 a	11.0 a	7.0 a	11.0 a
	3	19.0 a	20.0 a	6.0 a	8.0 a	7.5 a	12.5 a	9.5 a	9.0 a
Sombra variable	1	20.0 a	20.0 a	9.0 ab	7.5 a	7.0 a	11.5 a	9.5 a	9.5 a
	2	19.5 a	20.0 a	7.0 a	7.0 a	8.0 a	11.0 a	7.0 a	12.0 a
	3	19.5 a	20.0 a	7.0 a	7.5 a	7.0 a	9.5 a	9.0 a	10.5 a
Sombra intermedia	1	20.0 a	20.0 a	12.5 b	8.0 a	8.0 a	12.5 a	12.0 b	11.5 a
	2	20.0 a	20.0 a	10.0 ab	8.0 a	8.5 ab	13.0 a	11.0 ab	11.5 a
	3	20.0 a	20.0 a	8.0 a	7.5 a	8.5 ab	10.5 a	10.0 ab	11.0 a
Sombra densa	1	19.0 a	20.0 a	11.5 b	8.0 a	8.0 a	13.0 a	11.0 ab	12.5 a
	2	20.0 a	20.0 a	10.5 ab	8.0 a	10.0 b	13.0 a	12.0 b	12.5 a
	3	20.0 a	20.0 a	8.0 a	7.5 a	8.0 a	11.0 a	10.0 ab	12.0 a

Para la comparación de tratamientos dentro de cada variedad los promedios con letras iguales no fueron significativamente diferentes ( $p < 0,1$ ), según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).

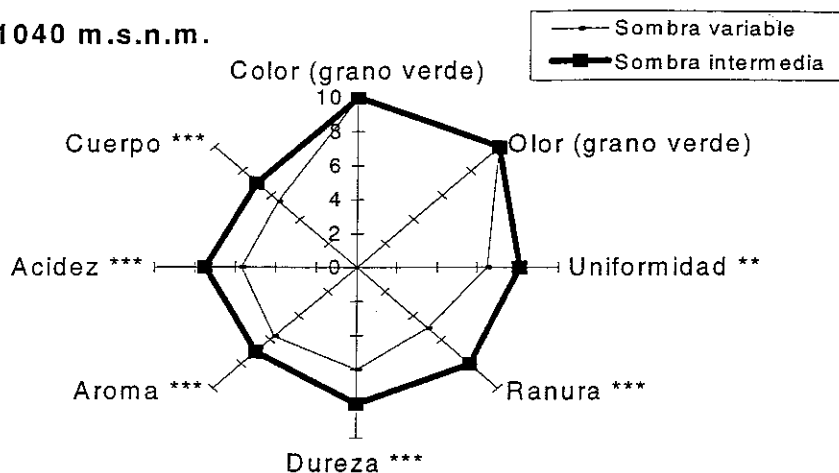


Cuadro 18. Cualidades físicas y organolépticas del café (*Coffea arabica*) var. Caturra bajo dos niveles de sombra en "La Esmeralda" (1041 m.s.n.m.), "Birrisito" (1300 m.s.n.m.) y "La Pastora" (1650 m.s.n.m) Costa Rica, 1999.

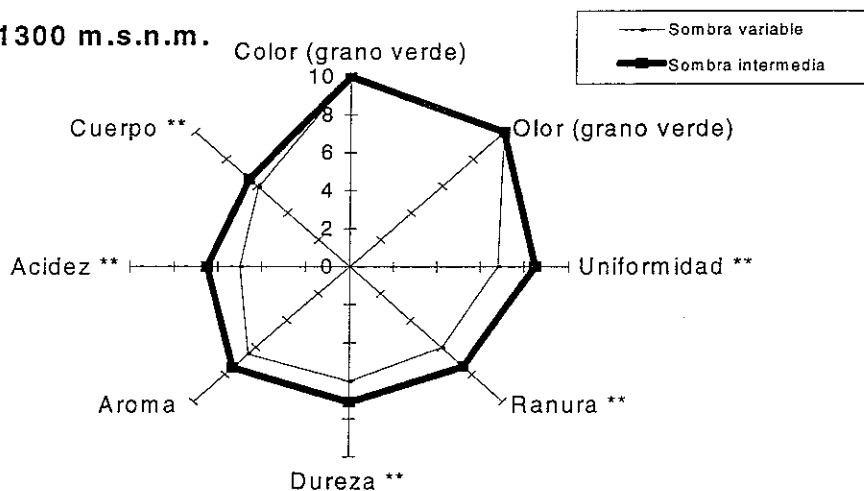
CUALIDADES FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS	AREAS EXPERIMENTALES							
	"La Esmeralda"			"Birrisito"			"La Pastora"	
	Var. ◇	Inter. ✧	P>T (n=4)	Var. ◇	Inter. ✧	P>T (n=5)	Sin. ✧	Var. ◇
<b>VERDE</b>								
Color de grano*	20	20	n.s.	20	20	n.s.	20	20
Olor de grano*	20	20	n.s.	20	20	n.s.	20	20
<b>TUESTE</b>								
Uniformidad de grano	9.8	12.1	0.030	10.2	12.7	0.015	15	15
D.E.	2.1	1.8	-	2.0	2.1	-	-	-
Ranura del grano	7.5	12	0.001	9	11.1	0.020	9	10
D.E.	1.2	1.6	-	1.7	2.0	-	-	-
Dureza de grano	9.0	12	0.001	9	10.6	0.021	13	14
D.E.	1.5	1.4	-	2.1	1.3	-	-	-
<b>TAZA</b>								
Aroma de la infusión	11.4	14	0.001	13	15.0	n.s.	18	17
D.E.	0.9	0.5	-	2.2	2.4	-	-	-
Acidez de la infusión	11.4	15	0.001	10	13	0.029	19	16
D.E.	0.9	0.6	-	2.8	2.8	-	-	-
Cuerpo de la infusión	11	14	0.001	11.8	13	0.024	14	15
D.E.	0.6	0.7	-	1.5	1.3	-	-	-

◇ Sombra variable. ✧ Sombra intermedia. ✧ Sin sombra, datos de una sola fecha de catación. \* El café verde presentó en los atributos color y olor los valores máximos de evaluación (20). La prueba t fue significativamente diferente para  $p < 0.1$ .

## A. 1040 m.s.n.m.



## B. 1300 m.s.n.m.



## C. 1650 m.s.n.m.

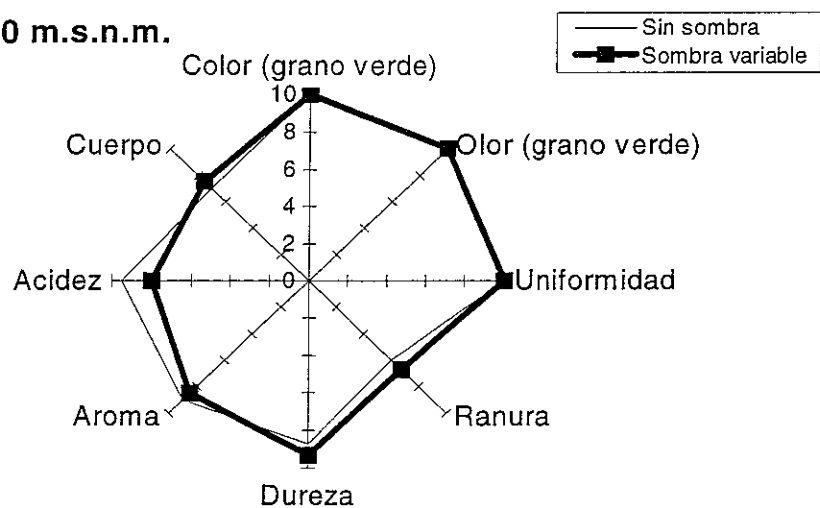


Figura 4. Atributos de la calidad del grano verde (color y olor) y tostado (uniformidad, ranura y dureza) de *Coffea arabica* var. Caturra en tres diferentes altitudes de Costa Rica 1999, (A) "La Esmeralda" (n = 4; 1040 m.s.n.m. Turrialba, Cartago); (B) "Birrisito" (n = 5; 1300 m.s.n.m. Paraíso, Cartago) y (C) "La Pastora" 1650 (n = 1; m.s.n.m. San Marcos de Tarrazú, San José). La escala utilizada fue un índice relativo con un máximo de 10. La significancia entre sombra variable y sombra intermedia fue: \*\*\* $\alpha < 0.01$ , \*\* $\alpha < 0.05$  y  $\alpha < 0.1$ , según la prueba t.

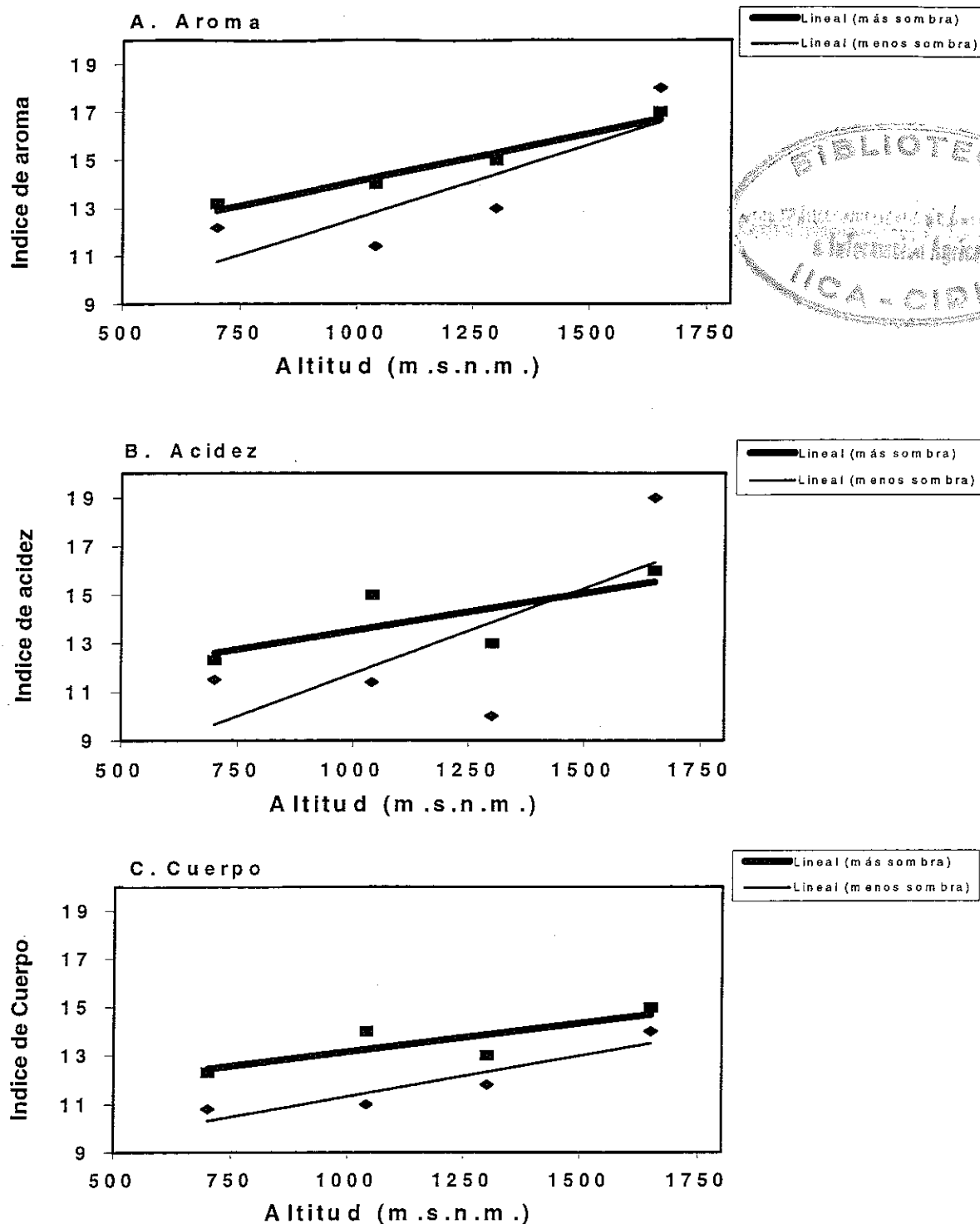


Figura 5. Los símbolos  $\blacklozenge$  y  $\blacksquare$  corresponden a sombra variable e intermedia, respectivamente en "El Cañal" (700 m.s.n.m., Turrialba, Cartago), "La Esmeralda" (1040 m.s.n.m., Turrialba, Cartago), "Birrisito" (1300 m.s.n.m., Paraíso, Cartago), y a los tratamientos sin sombra y sombra variable en "La Pastora" (1650 m.s.n.m., San Marcos de Tarrazú, San José).

## 5. DISCUSIÓN

En “*El Cañal*” el tratamiento con sombra variable no presentó diferencias con respecto al testigo sin sombra en la var. Caturra y Catimor 5175, sin embargo, se observó una leve mejoría en cuanto a la producción de ambas variedades (Cuadro 12, 13), lo cual son similares a los resultados de Muschler (1997a; 1998). Esto se debe posiblemente a que plantas sin sombra fueron podadas intensivamente (Ramón Ramírez, Cafetalera Lindo S.A., com. pers. 1999) después de una alta producción (cosecha 97/98), contrariamente las plantas de café que se encontraban bajo sombra se mantuvieron en un mejor microclima lo cual posiblemente les permitió sostener gran parte del sistema foliar y así prepararse mejor para la cosecha 98/99 (Muschler 1997a, 1998). Además, los tratamientos con sombra intermedia y densa presentaron condiciones microambientales similares por lo que los rendimientos fueron similar y también ayudó en la producción que el suelo mostró una fertilidad media, factores que son importantes para la producción del café (Duque 1953, Estivariz 1996, Suárez de Castro 1961). Por otra parte, los rendimientos producidos en sombra intermedia y densa fueron buenos y no fueron diferentes estadísticamente a los encontrados en los tratamientos con sombra variable y sin sombra.

Los mayores rendimientos de var. Caturra y Catimor en “*El Cañal*” se obtuvieron en sombra variable y sin sombra (19370 a 20910 kg/ha) y superaron el promedio nacional de 9,030 kg/ha (35 fan/ha) (ICAFE – MAG 1989), al igual que lo hicieron los tratamientos con sombra intermedia y densa (12130 a 16080 kg/ha). Sin embargo, para que el testigo sin sombra no presentará diferencias con respecto a los demás tratamientos debieron influir al menos dos factores. Primero la producción 97/98 fue alta (Muschler 1998), por lo que la mayoría de las plantas de café pueden haberse desgastado fisiológicamente. Segundo, las plantaciones de café poseían ocho años de edad aproximadamente y se encontraron expuestas al sol durante ese tiempo, esto probablemente influyó en la producción y ocasionó que los rendimientos fueran similares al café bajo sombra (Suárez de Castro *et al.* 1961, Alarcón *et al.* 1996). Además, a largo plazo se esperaría que la reducción en producción de los cafetos en densidades altas (sombra intermedia y densa) sea

compensada por una extensión de la vida útil de las plantas y una producción más estable (Estivariz 1997, Muschler 1998).

En "*La Esmeralda*" la producción con sombra variable fue 10323 kg/ha y superó ampliamente al rendimiento encontrado en sombra intermedia 5787 kg/ha, el cual fue menor al promedio nacional. Esto implica una pérdida sustancial para el productor, llevándolo posiblemente a realizar cambios en el manejo de sombra, a menos que posea un mercado alternativo el cual le brinde algún incentivo económico por su producción más ecológica bajo sombra intermedia. En "*Birrisito*" la producción también superó al promedio nacional en ambos tipos de sombra (sombra variable: 9927 kg/ha; sombra intermedia: 9447 kg/ha) (Cuadro 14), sin embargo, la producción fue similar entre los niveles de sombra, lo cual podría deberse a cuatro razones. Primero, las plantas de café bajo sombra variable (manejo convencional) fueron sometidas a una poda más intensa que aquellas bajo sombra intermedia (manejo orgánico) (cosecha 97/98). Segundo, en sombra variable con menor nivel de sombra la plantación de café se observó más desgastada (observación personal). Tercera, el manejo de cultivo fue similar al orgánico y se observó en la plantación problemas de malezas, enfermedades y además se notaban muchos árboles frutales que podrían haber competido con el cultivo. Cuarto, la sombra intermedia (manejo orgánico) mantuvo posiblemente un mejor microclima lo cual permitió que los cafetos se preparará mejor para la cosecha 98/99 y por tanto presentaron una buena producción.

En "*El Cañal*" el peso mayor fresco del fruto en sombra intermedia y densa que con menos sombra concordó resultados de Aldazábal y Alarcón (1994) para peso fresco del fruto a pleno sol y una densidad de sombra que posiblemente fue similar a sombra variable en la var. Isla F 6-14. Similarmente en "*La Esmeralda*" se observó un comportamiento similar donde la sombra intermedia mejoró el peso fresco y aspecto de los frutos de café (Cuadro 14). Estos resultados son posiblemente el producto de las mejores condiciones de humedad y temperatura, lo cual posibilitó una menor transpiración de las plantas y evaporación del agua del suelo (Aldazábal y Alarcón 1994). En "*La Pastora*" donde las condiciones climáticas y de elevación (1650 m.s.n.m.) son óptimas para la producción del café

(ICAFE-MAG 1987, Rojas 1987) la sombra posiblemente no fue necesaria porque parece haber reducido el peso fresco del fruto aunque esta diferencia no pudo ser examinada estadísticamente porque se trató de una sola muestra compuesta (Figura 2).

El peso fresco del fruto y pulpa aumentó en "*El Cañal*" bajo sombra intermedia y densa en var. Caturra. Catimor mostró tendencias similares aunque las diferencias no fueron significativas (Cuadros 13, 14). En "*La Esmeralda*" se presentó un comportamiento similar mejorándose la media de los tratamientos con el nivel de sombra intermedia y al contrario en "*La Pastora*" la sombra parece que afectó el peso fresco de pulpa (Cuadro 14). El peso fresco de pergamino mostró una tendencia parecida y aumentó la media de tratamientos en "*El Cañal*" y con el mayor nivel de sombra en "*La Esmeralda*" (Cuadro 12, 13, 14). Esto obedeció posiblemente a dos razones. Primero, la cosecha 98/99 presentó una disminución en la producción (bianualidad), por lo que posiblemente al haber menor cantidad de frutos en las plantas de café con sombra estos tendieron a mejorar el aspecto y aumentar el peso. Segundo, las plantas sin sombra o parcialmente sombreadas (sombra variable) produjeron más frutos lo cual pudo influir negativamente en el tamaño y la calidad (Aldazábal 1994, Blanco 1989, Keminia *et al.* 1988).

En cuanto a los defectos del fruto se consideró solamente el fruto vano, que puede reducir la conversión de café cereza a café pergamino (Zuluaga 1990). En "*El Cañal*" los porcentajes de fruto vano fueron mayores como era de esperarse en café sin sombra y bajo sombra variable (Jiménez y Ramírez 1988, Zuluaga 1990). Sin embargo, los mayores porcentajes de fruto vano se encontraron en var. Catimor (Cuadro 13), posiblemente por haber producido mayor cantidad de fruto que var. Caturra y con esto un mayor desgaste de las plantas de café. El Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) acepta como nivel máximo 5% (Jiménez y Ramírez 1988) y esta variedad alcanzó 10% en el tratamiento sin sombra y 9% bajo sombra variable. En "*La Esmeralda*" también el porcentaje de fruto vano fue excedido en el tratamiento con sombra variable (Cuadro 14) y en "*La Pastora*" no alcanzó el límite definido. Sin embargo, los altos porcentajes de fruto vano obedecen posiblemente a dos razones. Primero, la fertilidad del suelo en "*El*

*Cañal*” y *“La Esmeralda”* no fue la mejor “baja a media” para el café al sol y además el pH y la saturación de acidez indicaron posibles problemas de toxicidad de aluminio, lo cual pudo afectar la absorción y translocación de los nutrientes principalmente durante el llenado de los lóculos del fruto (Jiménez y Ramírez 1988, Zuluaga 1990). Segundo, al estar las plantas de café expuestas a pleno sol los frutos fueron mayormente afectados por los patógenos *Cercospora coffeicola* y *Colletotrichum* sp. que impidieron posiblemente el llenado y desarrollo de al menos un lóculo del fruto (Cabrera *et al.* 1992, Zuluaga 1990).

### **Incidencia de enfermedades**

En *“El Cañal”* la alta incidencia de *C. coffeicola* y *Colletotrichum* sp. en los tratamientos sin sombra y bajo sombra variable contrastó con la encontrada en sombra intermedia y densa (Cuadro 12, 13). Estas respuestas se deben probablemente a que plantas sin sombra y bajo sombra variable reciben temperaturas promedio más altas durante la mayor parte del año. Por lo tanto, las plantas de café se ven sometidas a estrés hídrico en la época seca, mayor transpiración y menor estabilidad de las variables climáticas (humedad relativa, temperatura y viento) (Rodríguez 1935, Suárez de Castro *et al.* 1961, Muschler 1997b). Además, las plantas durante el desarrollo del fruto se predisponen mayormente al ataque de patógenos debido a que en ese momento hay gran translocación de fotoasimilados de las hojas y raíces hacia los frutos (Fournier 1988). En Catimor se observó más evidentemente esta situación donde posiblemente la menor concentración de potasio (Cuadro 11) en hojas aumentó la incidencia de enfermedades comparado con la var. Caturra (Cuadro 12, 13). Agrios (1988) y Ramírez *et al.* (1997) encontraron que niveles bajos de potasio pueden incrementar la incidencia de *C. coffeicola* y mayormente cuando el cultivo se encuentra en condiciones de alta humedad y a plena exposición solar (Alvarado y Rojas 1994, Rodríguez 1935, Sotomayor 1993). Por el contrario, la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolor*) fue importante solamente en sombra intermedia y densa (Cuadro 12, 13) donde las condiciones microclimáticas de alta humedad fueron ideales para su desarrollo, especialmente en var. Catimor 5175 la cual es

altamente susceptible al patógeno *Mycena citricolor* (Alvarado y Rojas 1994, Carvajal 1984, ICAFE-MAG 1989, Sotomayor 1993).

En “*La Esmeralda*” las concentraciones de K y S fueron bajas y el Zn se presentó deficiente (Anexo 7), posiblemente contribuyendo a una mayor incidencia de *C. coffeicola* y *Colletotrichum* sp. en sombra variable (Cuadro 14). El ojo de gallo contrariamente, se observó solamente en sombra intermedia donde las condiciones microclimáticas de alta humedad lo favorecieron (ICAFE – MAG 1983, Sotomayor 1993). Por otra parte, “*La Pastora*” mostró solamente incidencia de *C. coffeicola*, lo cual se debió probablemente a tres cosas. Primero, a las condiciones climáticas del lugar son más estables durante el año que cualquiera de las demás áreas experimentales (Rojas 1987). Segundo, a una buena fertilidad del suelo. Tercero, el fruto maduró homogéneamente y fue colectado en solo tres cosechas, por lo que la planta no fue tan afectada por las enfermedades como sucedió en Turrialba donde se realizaron nueve recolectas en la cosecha 98/99.

### **Calidad de café**

#### **Tamaño de grano**

En “*El Cañal*”, el aumento del tamaño de grano con el aumento de sombra concuerda con los datos encontrados por Muschler (1997a; 1998) en ambas variedades. Los diámetros de zarandas (17/64 y 18/64) encontrados en sombra intermedia fueron superiores y mostraron un 72% de grano de exportación para Caturra y un 68% en Catimor. Esta misma tendencia incremento del grano se observó con sombra intermedia comparado con sombra variable en “*La Esmeralda*”, a 1040 m.s.n.m. y en “*Birrisito*” a 1300 m.s.n.m (Figura 2). Sin embargo, en “*La Pastora*” se observó que la utilización de sombra disminuyó los tamaños de grano grande (18/64 y 17/64) comparado con el café sin sombra (Figura 2), lo cual pudo deberse a dos razones. Primero, la cosecha en la zona es en época seca y posiblemente los árboles de sombra compitieron con las plantas de café por el agua del suelo. Segundo, en la época lluviosa la plantación de café bajo sombra fue afectada por el patógeno *M. citricolor*, el cual podría haber



afectado la fisiología de las plantas y por tanto las reservas de carbohidratos y aminoácidos que son utilizados para el llenado de los frutos.

### **Calidad física del grano**

El color de grano en Caturra y Catimor se mejoró con la utilización de sombra variable, intermedia y densa en "*El Cañal*" (Fig. 3, Cuadro 16, 17). En "*La Esmeralda*", "*Birrisito*" y "*La Pastora*" el color del grano fue verde intenso (verde - azul), donde influyó las condiciones climáticas del lugar de cultivo (Menchú 1966), la elevación de la zona (Zuluaga 1990) y proceso de beneficiado (Radillo 1963). Los cafés de altura tienden a producir granos de color más intensos (verde - azul), mientras que a baja o mediana altura se presentan tonalidades más claras (Menchú 1966, Radillo 1963). El olor de café verde no difirió entre tratamientos de ningún sitio (Cuadro 16, 18).

### **Tueste del grano**

El grano en "*El Cañal*" fue más uniforme con el uso de sombra intermedia y densa para var. Caturra, situación que no ocurrió en var. Catimor (Cuadro 16). Similar comportamiento se observó en "*La Esmeralda*" donde posiblemente la mayor altitud y las mejores condiciones del microclima (temperatura, precipitación y humedad relativa) influyeron para que la uniformidad del tueste aumentará. En "*Birrisito*" hubo una tendencia semejante con el nivel de sombra intermedia (manejo orgánico), el cual pudo ayudar a un mejor llenado y madurez de los frutos, posibilitando un tueste más parejo (Guyot *et al.* 1996). En "*La Pastora*" no hubo diferencias entre niveles de sombra (Fig. 4, Cuadro 18), lo cual se pudo deber a dos razones. La muestra compuesta se extrajo solamente una vez, lo cual posiblemente no reflejó el comportamiento real de esta variable. Segundo, la zona de Tarrazú presenta una de las mejores condiciones agroclimáticas para la producción de café de calidad en Costa Rica (Rojas 1987) y quizás el café en esta zona no necesita el uso de sombra. La ranura del grano mejoró solamente en var. Catimor y presentó los mayores índices en sombra intermedia y densa (Figura 3), sin embargo var. Caturra mejoró las medias de tratamientos con el uso de sombra.

"La Esmeralda" y "Birrisito" presentaron una tendencia similar al utilizar sombra intermedia, la ranura del grano no abrió tanto y presentó mejor apariencia en el tueste. "La Pastora" no presentó diferencias entre el café con y sin sombra (Figura 4), sin embargo, la única muestra compuesta extraída fue superior que en las demás áreas experimentales, quizás porque a mayor altitud aumentan los contenidos de materias grasas y la ranura no abre tanto (1650 m.s.n.m) (Guyot *et al.* 1996, Menchú 1966). La dureza mostró diferencias en var. Catimor con la utilización de sombra intermedia y densa, sin embargo, la calidad general fue inferior a var. Caturra (Cuadro 16), resultados que coinciden con los encontrados por Astúa y Aguilar (1996) para esa variedad. Estos resultados demuestran que las condiciones microclimáticas brindadas por árboles de *Erythrina poeppigiana* en "El Cañal" a 700 m.s.n.m. afectaron positivamente la calidad física de tueste. Así mismo, "La Esmeralda" y "Birrisito" presentaron medias mayores con la utilización de sombra intermedia (Figura 4), lo cual se debe posiblemente a las mejores condiciones microclimáticas del lugar. En "La Pastora" también se mejoró la dureza de la muestra compuesta con la utilización de sombra variable (Cuadro 18).

## Cualidades organolépticas

La acidez y cuerpo de la bebida fueron las cualidades organolépticas que más mejoraron con la utilización de sombra en "El Cañal" y que son de relevancia en la calificación de la calidad de café (Guyot *et al.* 1996, Cabrera *et al.* 1992). Las medias generales de los tratamientos fueron mayores en la var. Caturra que para la var. Catimor 5175 (Fig.3, Cuadro 16), lo cual coincidió con los resultados encontrados por otros autores (Astúa y Aguilar 1997, Muschler 1997a, 1998). La var. Caturra y Catimor no mostraron diferencias para aroma, pero se observó que la sombra intermedia y densa mejoró las medias totales (Figura 3). El nivel de sombra intermedia en "La Esmeralda" y "Birrisito" presentó mejoría en la cualidad aroma, resultados que coinciden con los encontrados por Menchú (1966), Cabrera *et al.* (1992), Cabrera *et al.* (1993). "La Pastora" mostró una tendencia contraria con la utilización de sombra variable y el aroma fue menor (Fig. 4, Cuadro 18). En "El Cañal" la acidez incrementó al aumentar el nivel de sombra para ambas variedades, Caturra y Catimor 5175 (Cuadro 16), lo cual coincide con Guyot *et al.* (1996) pero con var. Catuai y Muschler (1998) en Catimor 5175. La razón de este comportamiento se debe quizás al efecto microclimático de la sombra que reduce los rangos de temperatura y retarda la madures de los frutos y posibilita una mayor concentración de azúcares (Guyot *et al.* 1996). Por otra parte, una razón que probablemente redujo la calidad de taza en los tratamientos sin sombra y con sombra variable fue debido a la alta incidencia de *C. coffeicola* y *Colletotrichum* sp. y a los elevados porcentajes de fruto vano (Cuadro 12, 13). El mismo comportamiento se observó en "La Esmeralda" y "Birrisito" en cuanto a la acidez de la infusión (Cuadro 18). En "La Pastora" el efecto de la sombra disminuyó la acidez de la infusión, sin embargo, este nivel de sombra presentó una mejor acidez con respecto a las demás áreas experimentales (Figura 4). El cuerpo de la infusión respondió favorablemente a las condiciones microambientales proporcionadas por la sombra en ambas variedades, Caturra y Catimor 5175 (Cuadro 18). En "La Esmeralda", "Birrisito" y "La Pastora" hubo mejoramiento del cuerpo de la infusión con la utilización de sombra (Figura 4), resultados que coinciden con los encontrados por Menchú (1966), Cabrera *et al.* (1992), Cabrera *et al.* (1993), Guyot *et al.* (1996) y Muschler (1998).

Por otra parte, se observó que la elevación y la sombra afectaron las características organolépticas de la bebida en las áreas experimentales, sin embargo las diferencias entre niveles de sombra disminuyeron conforme aumentó la elevación (Figura 5). Además, el área experimental "*La Pastora*" solamente se realizó un solo muestreo, por lo que, los datos solo proceden de una muestra compuesta de 25 submuestras y quizás no reflejen el comportamiento real de la cosecha 98/99 en esa zona.

## CONCLUSIONES

- A. La producción no mostró diferencias entre densidades de sombra en “*El Cañal*” y “*Birrisito*”. Por el contrario en “*La Esmeralda*” la sombra intermedia redujo la producción considerablemente.
- B. El peso fresco del fruto fue mayor y el grano más grande bajo sombra intermedia y sombra densa. Además, el porcentaje de fruto vano y la incidencia de *Cercospora* y *Colletotrichum* disminuyeron con los mayores niveles de sombra.
- C. En “*EL Cañal*” se mejoraron los índices de color y acidez de la bebida de ambas variedades, Caturra y Catimor. La variedad Catimor 5175 mostró mayor respuesta a los niveles de sombra al mejorar la los índices de ranura y dureza del grano, además del cuerpo de la infusión. En “*La Pastora*” solamente se mejoraron las cualidades dureza y cuerpo de la bebida. Asimismo no se encontraron diferencias entre fechas de evaluación para las cualidades físicas y organolépticas en “*EL Cañal*”.
- D. Las cualidades físicas de tueste (uniformidad, ranura y dureza), así como de taza (acidez, aroma y cuerpo), fueron mejores con manejo orgánico (sombra intermedia) que bajo manejo convencional (sombra variable) en “*Birrisito*”. Sin embargo, los datos no permitieron separar el efecto de la sombra de otros factores del manejo de las dos fincas. En “*La Esmeralda*” se observó un comportamiento similar donde las características físicas y organolépticas aumentaron con sombra intermedia.
- E. La sombra intermedia y densa mantuvieron constantes los porcentajes de tamaño de fruto (zaranda 17/64 y 18/64) relativamente constantes durante las diferentes fechas de recolección de los frutos en “*El Cañal*”.
- F. La incidencia de *M. citricolor* aumentó en sombra intermedia y densa en “*El Cañal*”, encontrándose en var. Catimor los frutos más afectados.

## RECOMENDACIONES

- A. Realizar investigaciones adicionales que contemplen mayor número de tratamientos y repeticiones para aquellas áreas (tipo satélite) donde los análisis se realizaron mediante estadística descriptiva. Así mismo, se debe continuar con estudios adicionales para observar el comportamiento de la calidad de café en el tiempo.
  
- B. Redefinir la escala de calidad empleada, de tal forma que todas las cualidades físicas y organolépticas posean el mismo valor y se facilite el análisis estadístico.
  
- C. Efectuar estudios de campo donde se contemplen otros factores que no fueron evaluados en esta investigación y que podrían ser importantes para entender posibles efectos sobre la calidad, entre ellos el estado fitosanitario de las plantas, control biológico, flora microbiana, aplicación de plaguicidas y manejo del sistema agrícola.

## 8. Referencias bibliográficas

- Abruña, F.; Silva, S.; Vicente-Chandler, J. 1966.** Effects of yields and varieties on size of coffee beans. *J. Agric. Univ. P.R.* 50: 226-230.
- Agrios, N. 1988.** Plant pathology. 3 ed. New York; Academic Press. 803 p.
- Aguilar, G. 1995.** Variedad Costa Rica 95. San José, Costa Rica. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) - Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 34 p.
- AID/RIC.1965.** Costa Rica. Análisis regional de recursos físicos. Mapa Esc. 1:750:000. Color.
- Alarcón, O.; Aldazábal, M.; Terencio, J. 1996.** Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. *Centro Agrícola (Cuba)*. 23: 11-16.
- Aldazábal, M.; Alarcón, O. 1994.** Fisiología del cafeto en condiciones de montaña. 4. Indicadores físicos del fruto maduro bajo dos condiciones de iluminación. *Centro Agrícola (Cuba)* 21 (2): 47-53.
- Altieri, R. 1992.** Biodiversidad, agroecología y el manejo de plagas. California. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo. p. 11-23.
- Alvarado, M.; Rojas, G. 1994.** El cultivo y beneficiado del café. San José, C.R, Editorial UNED. 164 p.
- Araya, M. 1994.** Distribución y niveles poblaciones de *Meloidogyne* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 18 (2): 183-187.
- Astúa, G.; Aguilar, G. 1997.** Prueba comparativa de las cualidades organolépticas de la bebida del Catimor T5175, Variedad Costa Rica 95, Caturra y Catuaí, en ocho regiones cafetaleras de Costa Rica p. 263-267. *In.* Echeverri J., Zamora, L. (eds). Simposio Latinoamericano de Caficultura (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica, IICA. p. 263-267.
- Beer, J. 1997.** Efectos de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. *In.* Seminario Nacional de Investigación y Transferencia en Caficultura. (Memorias (11, Tegucigalpa, Honduras). Tegucigalpa, Honduras, Instituto Hondureño del Café. p. 15-25.

- Beer, J.; Muschler, R.; Somarriba, E.; Kass, D. 1998.** Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. 38: 139-164.
- Bertsch, F. 1995.** Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 77 p.
- Blanco, P.; Palomares, A. 1989.** Resúmenes de la I Jornada Científica de Café y Cacao. Santiago de Cuba, Tercer Frente. p. 59.
- Briceño, J. 1983.** Crecimiento vegetativo y reproductivo en relación con niveles endógenos de ácido abscísico y giberelinas en tres cultivares de *Coffea arabica*. Tesis Mag. Sc. San José, Universidad de Costa Rica. 60 p.
- Cabrera, C.; Acevedo, A.; Caro, P.; Vilches, E.; Lacerra, J.; Turiño, M.; Rodríguez, C. 1992.** Evaluación de algunos índices físicos y calidad a la taza de *Coffea arabica* var. Caturra rojo durante tres años en tres zonas del Escambray. *Centro Agrícola* 19 (2-3): 21-27.
- Cabrera, C.; Acevedo, A.; Caro, P.; Vilches, E.; Lacerra, J.; Turiño, M.; Rodríguez, C. 1993.** Evaluación de algunos índices físicos y calidad a la taza de *Coffea arabica* var. Caturra amarillo en tres años en la región montañosa del Escambray. *Centro Agrícola* 20 (1): 5-11.
- Cannell, R. 1976.** Physiology of the coffee crop. *In*. Clifford, M.N. and Willson, K.C. (eds). *Coffea botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom Helm. p. 108-134.
- Cannell, R. 1985.** Crop physiological aspects of coffee bean yield. *Kenya Coffee*. 41: 245-253.
- Carvajal, J. 1984.** Cafeto, cultivo y fertilización. Berna, Suiza. Instituto Internacional de la Potasa. 254 p.
- Cavalleto G.; Nagai, Y; Bittenbender, C. 1992.** Yield, size and cup quality of coffee grown in the Hawaii State coffee trial. *In*. Colloque Scientifique International sur le Café. (14, 1991, París). París, France, ASIC. p.674-678.
- Chinchilla, E. 1987.** Atlas cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. p. 175-178.
- Cohen, W. 1935.** ¿Cuáles son los factores que determinan la condición de los "Cafés suaves?" *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica*. 7: 89-93.
- Cook, F. 1931.** Efecto de la sombra en la calidad del café. *Revista de Agricultura de Puerto Rico*. 11: 7-10.



- Dalzell, W.; Biddlestone, J.; Gray, R.; Thurairajan, K. 1991.** Producción y uso de composte en ambientes tropicales y subtropicales. *In.* Boletín de suelos de la FAO no. 56. 178 p.
- Diaz-Romeu, R.; Hunter, A. 1978.** Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Proyecto, CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. 61 p.
- Duicela, G.; Sotomayor, I. 1993.** La calidad del café. *In.* Sotomayor I. (ed.). Manual del cultivo del café. Quevedo, Ecuador. p. 212-219.
- Elzakker, Bo van, comp. 1995.** Principios y prácticas de la agricultura en el trópico. 1 ed. San José, C.R.: Fundación Guilombé. 127 p.
- Enríquez, G. 1993.** Ecofisiología del cultivo del café. *In.* Sotomayor I. (ed.). Manual del cultivo del café. Quevedo, Ecuador. p. 28-41.
- Estivariz, J. 1997.** Efecto de sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var Caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.
- Fassbender, H; Bornemisza, E. 1994.** Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, C.R., IICA. 420 p. (Colección libros y materiales educativos No. 81).
- Figueroa, P. 1997.** Caracterización de la calidad de las principales variedades comerciales de *Coffea arabica* por medios físicos y organolépticos en el departamento de Guatemala. Tesis Lic. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 55 p.
- Figueroa, R.; Fischersworing, B.; Roskamp, R. 1998.** Guía para la caficultura ecológica "café orgánico" 2 ed. Lima Perú. Proyecto GTZ. 176 p.
- Fournier, A. 1961.** Características varietales del fruto de *Coffea arabica*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 78 p.
- Fournier, A. 1988.** El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense.* 12: 131-146.
- Fournier, A.; Herrera, E. 1983.** Una década de observaciones fenológicas en café (*Coffea arabica* L.) en Ciudad Colón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical.* 13: 307-310.

- Gallina, E.; Mandujaro, S.; González, A. 1992.** Importancia de los cafetales mixtos para la conservación de la biodiversidad de mamíferos. *Boletín Soc. Ver. Zool.* 2:11-17.
- Gialluly, M. 1969.** Factores que afectan la calidad intrínseca del grano del café. Academia de Ciencias de Cuba. Serie Agrícola. no. 2. p. 189-205.
- González, C. 1955.** Café al sol o a la sombra. *Suelo Tico.* 8: 15-17.
- González, C. 1956.** Café al sol o sombra. *Suelo Tico.* 9: 15-17.
- González, E. 1980.** Efecto de la asociación de laurel (*Cordia alliodora* Ruiz y Pav. Oken) sobre producción de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de poro (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook) Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Gopal, H.; D' Souza, I. 1977.** Some aspects of quality in Indian coffee. *Indian Coffee* 41: 14-16.
- Greenberg, R.; Salgado J.; Warkentin, I.; Bichier, P. 1995.** Managed forest patches and the conservation of migratory birds in Chiapas, Mexico. *In*. The conservation of migratory birds in Mexico. Orono, Maine, University of Maine, School of Natural Resources. p. 178-190.
- Guyot, B.; Gueule, D.; Manez, J.; Perriot, J.; Giron, J.; Villain, L. 1996.** Influence de l' altitude et de l' ombrage sur la qualité des cafés Arabica. *Plantations, Recherche, Développement* 1996: 272-283.
- Helpfenberger, A. 1985.** Algunos criterios usados en la selección de Catimores. *Boletín PROMECAFE* no. 27: 5-12.
- Herrera, A.; Milian, E. 1984.** *Coffea* growing export. Hendibles, Londres, Tropical. 205 p.
- Holdridge, R. 1967.** Life zone ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center. 207 p.
- Huerta, S., A. 1954.** La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento del café. Tesis Mag. SC. Turrialba, Costa Rica, IICA. 69 p.
- ICAFE-MAG. 1989.** Manual de recomendaciones para el cultivo del café. San José, Costa Rica, Programa Cooperativo ICAFE - MAG. 122 p.
- IGN-MOPT (Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica; Ministerio de Obras Públicas y Transportes). 1981.** Tucurrique. 2 ed. Costa Rica. Esc. 1: 50.000. Color.

- Irigoyén, J. 1994.** Sombreamiento en el cafetal. *Café de El Salvador* Abril-junio 1994: 16, 18-19.
- Janos, D. 1983.** Tropical rain forest; ecology and management. Ed. Sutton, S.L., Whit ware T.C. A.C. Chadwick. Oxford, G.B. Blackwell Scientific Publications pp 327-345 systems. *In. Ecophysiology of VA Micorrhizal Plants* (Ed. by G.R. Safir). Boca Raton, Florida. p. 107-134.
- Jiménez, E.; Ramírez, G. 1988.** Avances sobre el estudio del comportamiento y rendimiento de nueve híbridos de cafeto Catimor con resistencia a la roya, (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.). *Investigación Agrícola* 2 (1): 18-21.
- Jiménez, F. 1994.** Resumen de datos acumulados agroclimáticos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Mimeografiado).
- Kimenia, J.; Njoroge, J. 1988.** "Effect of shade on coffee. A review. *Kenya Coffee* 53: 387-391.
- Kolmans, E. 1995.** La agricultura orgánica como base para un desarrollo rural sostenible: Consideraciones metodológicas. *In. Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica* (1995, San José, Costa Rica). Menoría San José, Costa Rica, EUNED. p. 319-334.
- Kumar, D.; Tieszen, L. 1980.** Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture* 16: 13 - 19.
- MAG-IMN (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, COSTA RICA; INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL). 1982.** Precipitación promedio anual en Costa Rica durante un período 1961 - 1980. Mapa. Esc. 1:1.000.000. Color. s.p.
- Maestri, M.; Santos Barros, R. 1977.** Coffee. *In. Alvin, P. de T.; Kozlowski, T.T.* (eds). *Ecophysiology of tropical crops*. New York, Academic Press. p. 249-278.
- Menchú, F. 1966.** La determinación de la calidad del café. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 51 p.
- Montealegre, M. 1954.** Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. *Suelo Tico* 7: 263-275.
- Montealegre, M. 1955.** Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. *Suelo Tico* 8: 133-140.
- Montealegre, M. 1956.** Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. *Suelo Tico* 9: 201-204.

- Muschler, R. 1997a.** Efectos de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor. *In*. Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. Campos J. Echeverri; O. Mora; L. Zamora. IICA. Ponencias, Resultados de Eventos Técnicos A1/SC no. 97-05. p. 157-162.
- Muschler, R. 1997b.** Sombra o sol para un cafetal sostenible? un nuevo enfoque de una vieja discusión. *In*. Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. Campos J. Echeverri; O. Mora; L. Zamora. IICA. Ponencias, Resultados de Eventos Técnicos A1/SC no. 97-05. p. 471-476.
- Muschler, R. 1998.** Tree crop compatibility in agroforestry: production and quality of coffee grown under managed tree shade in Costa Rica. Ph.D. Thesis. Florida, University of Florida. 219 p.
- Nair, P.; Muschler, R. 1993.** Agroforestry. *In* Pancel, L. (ed.) Tropical forestry handbook. Berlín, Springer. no. 2, p. 987-1057.
- Nunes, A.; Bierthuisen, F.; Ploegman, C. 1968.** Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. Acta Botanica Neerlandica 17: 93-102.
- Ochoa, A. 1988.** La cosecha influye en la calidad del café. Bibliocafé boletín Bibliográfico Informativo. 11: 18-24.
- Pérez, V.; Gutiérrez, G.; Pérez, J.; Bonilla, J.; Campos, C.; Carmona, E.; Mata, H.; León, C.; Avendaño, J. 1963.** Nutrición del cafeto en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. Boletín técnico No. 43. 35 p.
- Perfecto, I.; Rice, A.; Greenberg, R.; Vander Voort, M. 1996.** Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. Bioscience 46 (8): 598-608.
- Puerta, G. 1996.** Escala para la evaluación de la calidad de la bebida de café verde *Coffea arabica*, proceso por vía húmeda. CENICAFE 47 (4): 231-234.
- Radillo, R. 1963.** Catación y clasificación del café en Guatemala. Revista Cafetalera (Guatemala) 21: 8-29.
- Ramírez, E.; González, A. 1990.** El cultivo del café en México. México, D.F., Instituto Mexicano del Café. 248 p.
- Ramírez, E. 1997.** Fertilización de Café a plena exposición solar y con sombra regulada. *In* Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. Campos J. Echeverri; O. Mora; L. Zamora. IICA. Ponencias, Resultados de Eventos Técnicos A1/SC no. 97-05. p. 183-190.

- Ramírez, G. 1993.** Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook. In Westley, S. B; Powell, M. H. (eds.). *Erythrina in the new and old worlds*. Paia, Hawai, Nitrogen Fixing Tree Association. p. 121-124.
- Ramírez, G.; Mora, M.; Montenegro, J.; Lorena, A. 1997.** Efecto de diferentes niveles de potasio sobre la producción de café y la incidencia de enfermedades. In Simposio Latinoamericano de Caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. Campos J. Echeverri; O. Mora; L. Zamora. IICA. Ponencias, Resultados de Eventos Técnicos A1/SC no. 97-05. p. 219-222.
- Rice, R. 1996.** Coffee modernization and ecological changes in Northern Latin America. *Tea and Coffee* 168: 104-113.
- Rodríguez, M. 1935.** Observaciones sobre frecuencia de la temperatura en los cafetales sombreados. *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica* 7: 95-105.
- Rojas, O. 1987.** Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. San José, C.R., IICA. 83 p.
- Russo, O.; Budowski, G. 1986.** Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems* 4: 145-162.
- Saravia, A. 1995.** Algunas consideraciones de la sombra en el cultivo del café. El Salvador, Asociación Salvadoreña de Beneficiadores y Exportadores de café (ABECAFE). p. 32-35.
- Silva, N. 1987.** Indices físicos del café en las variedades típica y Caturra amarillo a diferentes alturas en el III frente. In Primera Conferencia Científica ISCA, Bayano. La Habana, Cuba. p. 7.
- Soto, B.; Gutiérrez, G.; Pérez, J. 1976.** Resultados obtenidos con el uso de varios sistemas de poda en el cultivar Caturra. In. Congreso Agronómico Nacional (1976, San José, Costa Rica). Resúmenes. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos. v.1, p. 3-4.
- Soto, F. 1986.** The growth of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings at full sunlight and shade with farm plant densities. *Horticultural Abstracts* 56: 101-138.
- Sotomayor, I. 1993.** Enfermedades del cultivo. In Manual del cultivo del café. I. Quevedo, Ecuador, INIA. p. 118-140.
- Steel, D.; Torrie, H. 1985.** Bioestadística: Principios y procedimientos. 2 ed. México, McGraw – Hill. 662 p.

- Suárez de Castro, F.; Montenegro, L.; Avilés, C.; Moreno, M.; Bolaños, M. 1961.** Efecto del sombrío en los primeros años de vida de un cafetal. *Café (IICA)* 3:83-102.
- Subba, N. 1993.** Biofertilizers in agriculture and forestry. New York, International Science Publisher. 242 p.
- Tosi, J. 1969.** Mapa ecológico de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical. Esc. 1:750.000.
- Wintgens, J. 1992.** Factores que influncian la calidad del café: medio ambiente, prácticas culturales, procesamiento y almacenamiento. *In.* XV Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (15, 1992, Xalapa, Veracruz, México). Memorias. IICA. Ponencias, resultados y recomendaciones de eventos técnicos A1/HN no. 95-03. V. 1, 7 p.
- Wormer, M.; Njuguna, G. 1966.** Bean size and shape, a quality factor in Kenya coffee. *Kenya Coffee* 31: 397-405.
- Zuluaga, J. 1990.** Los factores que determinan la calidad de café verde. *In.* 50 años de Cenicafé. Conferencias conmemorativas. Caldas, Colombia, Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. p. 167-183.

## 9. Anexos

Anexo 1. Plaguicidas y fertilizantes aplicados en la parcela experimental "El Cañal" en Santa Rosa, Turrialba, Costa Rica (700 m.s.n.m., 2600 mm de precipitación, 1998).

Producto	Epoca de aplicación	Dosis/ha por aplicación	Observaciones
<b>HERBICIDAS</b>			
Roundup + Ally 60% G.D. (Glifosato y Sulfonil - Urea).	Enero	¾ litro ½ litro	Se mezclan los 2 productos para preparar 300 litros de solución.
Roundup + Goal Ce (Glifosato y Oxifluorfen).	Febrero	¾ litro ¼ litro	Se mezclan los 2 productos para preparar 300 litros de solución.
Roundup + Gardoprim + GoalCe (Glifosato + Terbutilazina y Oxifluorfen).	Junio	3 litro 1 y ½ litro ¾ litro	Se mezclan los 3 productos para preparar 300 litros de solución.
Radex + Gardoprim ( y Terbutilazina )	Agosto	1 y ¼ litro 1 y ½ litro	Se mezclan los 2 productos para preparar 300 litros de solución.
Roundup (Glifosato).	Octubre	¾ litro	Se aplica el producto en 200 litros de solución.
<b>FUNGICIDAS</b>			
Atemi + Silvacur combi (Cyproconazol y Triazol - Tebuconazol - Triadimenol)	Marzo, Mayo y Setiembre	½ litro ½ litro	Se mezclan los 2 productos para preparar 300 litros de solución.
<b>FERTILIZANTES</b>			
Metalazato con N, P, K, Mg, B, Zn, Fe + Nitrofoliar (N).	Marzo, Mayo y Setiembre	1 y ½ litro 1 y ½ Kg	Se mezcla los 2 productos con fungidas para preparar 300 litros de solución.
18-6-14-4-2 (Formula completa, N-P-K-MG-B)	Julio y Octubre	360 Kg	Aplicación en forma granular
Nutrán (46% N)	Enero y Diciembre	300 Kg	Aplicación en forma granular

Anexo 2. Plaguicidas y fertilizantes aplicados en la parcela experimental "La Esmeralda" en La Esmeralda, Turrialba, Costa Rica (1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999).

Producto	Epoca de aplicación	Dosis/ha Por aplicación	Observaciones
<b>HERBICIDAS</b>			
Gramoxone + Gardoprim y GoalCe (Paraquat + Terbutilazina y Oxifluorfen)	Enero y Febrero	1½ litro 1 litro ¼ litro	Se mezclan los 3 productos para preparar 300 litros de solución.
Roundup + GoalCe y Gardoprim (Glifosato + Oxifluorfen y Terbutilazina).	Mayo y Julio	1 litro ½ litro ½ litro	Se mezclan los 3 productos para preparar 300 litros de solución.
<b>FUNGICIDAS</b>			
Silvacur Combi 30 EC (Triazol – Terbuconazol – Triadimenol)	Marzo, Abril, Mayo y Octubre	200 cc en cada aplicación	Se mezcla el producto con fertilizantes foliares para preparar 300 litros de solución.
<b>FERTILIZANTES</b>			
Boro, Magnesio, Nitrogeno, Zinquel.	Marzo, Abril, Mayo y Octubre	4,5 Kg + 1 Kg + 7 Kg + 14 Kg + 1,5 litro	Se mezcla los 5 productos con fungidas para preparar 300 litros de solución.
Nutrán (46% N)	Enero	350 Kg	Aplicación en forma granular
Magnesamón (25% Mg)	Marzo	350 Kg	Aplicación en forma granular
18-5-15-6-2 (Formula completa, N-P-K-Mg- B)	Agosto	350 Kg	Aplicación en forma granular
<b>ENMIENDAS</b>			
Cal (CaCO <sub>3</sub> )	Marzo	625 Kg.	Aplicación del producto (mezcla en polvo y granulado).



Anexo 3. Descripción de cualidades físicas y organolepticas para caracterizar la calidad de café (*C. arabica*).

---

## VERDE

**Color:**

Otros	Pálido	Amarillo	Verde
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20

**Olor:**

Fermento	Humo	Viejo	Fresco
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20

**Humedad:**

Café pergamino _____	Café oro _____
Mínimo 10%    Máximo 12%	Mínimo 10%    Máximo 12%

**Zarandas:**

#15 \_\_\_\_\_ #16 \_\_\_\_\_ #17 \_\_\_\_\_ #18 \_\_\_\_\_

---

## TUESTE

**Uniformidad:**

Malo	Regular	Bueno
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15

**Ranura:**

Otras	Amarilla	Blanca
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15

**Dureza:**

Abierto	Regular	Cerrada
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15

---

## TAZA

**Aroma:**

Simple	Regular	Bueno	Excelente
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20

**Acidez:**

Simple	Regular	Bueno	Excelente
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20

**Cuerpo:**

Simple	Regular	Bueno	Excelente
1 2 3 4 5	6 7 8 9 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20

---

Anexo 4. Propiedades químicas del suelo\* en el tratamiento sombra variable y intermedia de *Erythrina poeppigiana* en *Coffea arabica* var. Caturra; "La Esmeralda", 1999.

Tratamiento	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. <sup>j</sup> (%)	N <sup>x</sup> total (%)	P <sup>r</sup> mg/l	K <sup>r</sup> cmol(+)/l	Al+H <sup>'''</sup> cmol(+)/l
Variable	0 - 20	4.3 (B)	22.65	0.91	3.22 (B)	0.07 (B)	1.24 (M)
Intermedia	0 - 20	4.6 (B)	23.32	0.97	2.34 (B)	0.07 (B)	1.26 (M)

Tratamiento	Prof (cm)	Ca <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Mg <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Cu <sup>r</sup> mg/l	Zn <sup>r</sup> mg/l	Mn <sup>r</sup> mg/l	B <sup>s</sup> mg/Kg
Variable	0 - 20	0.79 (B)	0.24 (B)	9.42 (M)	0.93 (B)	4.53 (B)	1.36 (A)
Intermedia	0 - 20	0.98 (B)	0.28 (B)	10.80 (M)	2.51 (B)	4.57 (B)	0.67 (M)

Tratamiento	Prof (cm)	C.I.C <sup>v</sup>	Ca <sup>''</sup>	Mg <sup>''</sup> cmol(+)/kg	K <sup>''</sup>	Na <sup>''</sup>
Variable	0 - 20	68.57	0.77	0.23	0.17	0.02
Intermedia	0 - 20	70.65	0.83	0.25	0.20	0.03

\* Muestras compuestas no replicadas. <sup>j</sup> Método de Walkley Black. <sup>x</sup> Semimicro Kjeldahl. <sup>r</sup> Extracción en Olsen Modificado pH 8.5. <sup>'''</sup> Extracción con 1N KCL. <sup>s</sup> Extracción con solución de fosfato de calcio y determinación colorimétrica. <sup>v</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 y luego en NaCl 10%, pH 2.5 con destilación del amonio. <sup>''</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 (lectura por absorción atómica). Condiciones: A = alta, M = media y B = baja (Criterios según Carvajal 1984 para Costa Rica).

Anexo 5. Propiedades químicas del suelo\* en los tratamientos con sombra variable e intermedia de *Erythrina poeppigiana* en *Coffea arabica* var. Caturra; "Birisito" 1999.

Tipo de sombra	Subparcela	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. <sup>j</sup> (%)	N <sup>x</sup> total (%)	P <sup>r</sup> mg/l	K <sup>r</sup> cmol(+)/l	Al+H <sup>'''</sup> cmol(+)/l
Variable	1	0 - 20	5.1	8.33	0.35	17.85	0.11	1.59
	2	0 - 20	5.2	11.78	0.44	7.32	0.08	0.94
	$\bar{x}$	0 - 20	5.15 (B)	10.05	0.40	12.58 (B)	0.10 (B)	1.26 (M)
Intermedia	1	0 - 20	5.1	6.23	0.30	5.12	0.15	0.32
	2	0 - 20	4.9	7.18	0.32	7.46	0.08	1.08
	$\bar{x}$	0 - 20	5.0 (B)	6.70	0.31	6.29 (B)	0.12 (B)	0.70 (M)

Tipo de sombra	Subparcela	Prof (cm)	Ca <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Mg <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Cu <sup>r</sup> mg/l	Zn <sup>r</sup> mg/l	Mn <sup>r</sup> mg/l	B <sup>s</sup> mg/Kg
Variable	1	0 - 20	2.10	0.61	12.73	1.63	6.55	0.83
	2	0 - 20	1.18	0.37	10.69	0.58	2.16	0.75
	$\bar{x}$	0 - 20	1.64 (B)	0.49 (B)	11.71 (M)	1.11 (B)	4.36 (B)	0.79 (A)
Intermedia	1	0 - 20	5.50	0.83	16.17	1.10	33.83	0.93
	2	0 - 20	3.99	0.73	13.39	1.67	27.06	0.73
	$\bar{x}$	0 - 20	4.74 (M)	0.78 (B)	14.78 (M)	1.38 (B)	30.44 (M)	0.83 (A)

Tipo de sombra	Subparcela	Prof (cm)	C.I.C <sup>\</sup>	Ca <sup>''</sup>	Mg <sup>''</sup>	K <sup>''</sup>	Na <sup>''</sup>
----- cmol(+)/kg -----							
Variable	1	0 - 20	31.18	7.23	0.95	0.34	0.02
	2	0 - 20	36.11	4.88	0.83	0.20	0.02
	$\bar{x}$	0 - 20	33.64	6.06	0.89	0.27	0.02
Intermedia	1	0 - 20	44.20	8.23	0.85	0.35	0.03
	2	0 - 20	48.78	7.12	0.91	0.25	0.02
	$\bar{x}$	0 - 20	46.49	7.68	0.88	0.30	0.025

\* Muestras compuestas no replicadas. <sup>j</sup> Método de Walkley Black. <sup>x</sup> Semimicro Kjeldahl. <sup>r</sup> Extracción en Olsen Modificado pH 8.5. <sup>'''</sup> Extracción con 1N KCL. <sup>s</sup> Extracción con solución de fosfato de calcio y determinación colorimétrica. <sup>\</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 y luego en NaCl 10%, pH 2.5 con destilación del amonio. <sup>''</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 (lectura por absorción atómica). Condiciones: A = alta, M = media y B = baja (Criterios según Carvajal 1984 para Costa Rica).

Anexo 6. Promedio de las propiedades químicas de varias muestras de suelo\* en la comunidad de "La Pastora" de San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, 1999.

Tipo de sombra	Altitud	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	N <sup>x</sup> total (%)	P <sup>r</sup> mg/l	K <sup>r</sup> cmol(+)/l	Al+H <sup>'''</sup> cmol(+)/l
Sin sombra	1650	0 - 20	5.2	0.55	10.2	0.37	0.9
S. variable	m.s.n.m.		(B)		(M)	(M)	(M)

CICE	% SA	Bases	Fe	Ca <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Mg <sup>'''</sup> cmol(+)/l	Cu <sup>r</sup> mg/l	Zn <sup>r</sup> mg/l	Mn <sup>r</sup> mg/l	B <sup>u</sup> mg/Kg
12.57 (M)	7 (B)	11.67	176 (A)	9.9 (M)	1.4 (M)	4.5 (M)	1.9 (B)	42 (M)	1.41 (A)

\* Muestras compuestas no replicadas. <sup>J</sup> Método de Walkley Black. <sup>x</sup> Semimicro Kjeldahl. <sup>r</sup> Extracción en Olsen Modificado pH 8.5. <sup>'''</sup> Extracción con 1N KCL. <sup>u</sup> Extracción con solución de fosfato de calcio y determinación colorimétrica. <sup>\</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 y luego en NaCl 10%, pH 2.5 con destilación del amonio. <sup>''</sup> Extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7.00 (lectura por absorción atómica). Condiciones: A = alta, M = media y B = baja (Criterios según Carvajal 1984 para Costa Rica).

Anexo 7. Concentración de nutrimentos (n = 1) en hojas de *Coffea arabica* var. Caturra bajo sombra variable e intermedia de *Erythrina poeppigiana* en "La Esmeralda", Turrialba, Costa Rica 1040 m.s.n.m., 2500 - 3000 mm, 1999.

Elemento	Sombra variable		Sombra intermedia	
Ca (%)	1.23	(M)	1.16	(M)
Mg (%)	0.67	(A)	0.65	(M)
K (%)	1.30	(B)	1.16	(B)
P (%)	0.14	(M)	0.13	(M)
S (%)	0.12	(B)	0.12	(B)
N (%)	3.15	(A)	2.88	(A)
Cu (mg/kg)	19.77	(A)	18.98	(A)
Zn (mg/kg)	7.31	(D)	7.82	(D)
Mn (mg/kg)	461.96	(A)	377.30	(A)
B (mg/kg)	118.64	(A)	98.10	(M)

Digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórica, 5:1. Determinación por A.A. para Ca, Mg, K, Cu, Zn y Mn. Fósforo por colorimetría. Azufre por método turbidimétrico. Nitrógeno por método semimicro Kjeldahl. Boro por método digestivo seco, luego determinación colorimétrica. Interpretación: A = alta, M = media, B = baja y D defiende (Criterios según Carvajal 1984 para Costa Rica).

Anexo 8. Concentración de nutrimentos (n = 2) en hojas de *Coffea arabica* var. Caturra bajo sombra variable e intermedia de *Erythrina poeppigiana* en "Birrisito", Cartago, 1300 m.s.n.m., 1300 mm, 1999.

Elemento	Sombra variable		Sombra intermedia	
	$\bar{x}$	D.E.	$\bar{x}$	D.E.
Ca (%)	2.28 (A)	0.01	2.00 (A)	0.38
Mg (%)	0.85 (A)	0.17	0.80 (A)	0.01
K (%)	0.80 (D)	0.24	1.07 (B)	0.01
P (%)	0.16 (M)	0.02	0.18 (M)	0.01
S (%)	0.13 (B)	0.02	0.15 (B)	0.02
N (%)	2.50 (M)	0.05	2.42 (M)	0.08
Cu (mg/Kg)	17.99 (A)	2.93	25.60 (A)	9.74
Zn (mg/Kg)	9.93 (D)	0.47	9.41 (D)	1.05
Mn (mg/Kg)	388.01 (A)	84.64	249.20 (A)	19.51
B (mg/Kg)	87.42 (M)	0.16	86.30 (M)	1.48

Digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórica, 5:1. Determinación por A.A. para Ca, Mg, K, Cu, Zn y Mn. Fósforo por colorimetría. Azufre por método turbidimétrico. Nitrógeno por método semimicro Kjeldahl. Boro por método digestivo seco, luego determinación colorimétrica. Interpretación: A = alta, M = media, B = baja y D defiende (Criterios según Carvajal 1984 para Costa Rica).

Anexo 9. Análisis de varianza para la producción, incidencia de enfermedades del fruto, fruto vano, peso pergamino y pulpa en la var. Caturra en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba, 1999.

Variable dependiente	Fuente de variación	G.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio del error	F	P>F
Producción	Bloq.	1	3.04	3.04	0.16	0.718 n.s.
	Trat.	3	264.75	88.25	4.58	0.121 n.s.
	Bloq. x trat.	3	57.74	19.25	1.28	0.299 n.s.
	Fecha	8	4985.15	623.14	41.34	0.001 **
	Trat x Fecha	24	345.77	14.41	0.96	0.539 n.s.
	Error	32	482.37	15.07	-	-
	Total	71	6138.84	-	-	-
Peso de grano	Bloq.	1	850.78	850.78	9.87	0.052 *
	Trat.	3	2252.34	750.78	8.71	0.054 *
	Bloq. x trat.	3	258.59	86.20	1.11	0.382 n.s.
	Fecha	3	4833.59	1611.20	20.83	0.001 **
	Trat x Fecha	9	457.03	50.78	0.66	0.732 n.s.
	Error	12	928.12	77.34	-	-
	Total	31	9580.47	-	-	-
Peso de pergamino	Bloq.	1	132.03	132.03	3.65	0.1522 n.s.
	Trat.	3	571.09	190.36	5.26	0.1031 n.s.
	Bloq. x trat.	3	108.59	36.20	0.72	0.5203 n.s.
	Fecha	3	1289.84	429.95	9.43	0.0018 **
	Trat x Fecha	9	157.03	17.45	0.38	0.9216 n.s.
	Error	12	546.88	45.57	-	-
	Total	31	2805.47	-	-	-
Peso de pulpa	Bloq.	1	282.03	282.03	40.11	0.008 **
	Trat.	3	664.84	221.61	31.52	0.009 **
	Bloq. x trat.	3	21.09	7.031	0.40	0.753 n.s.
	Fecha	3	1259.58	419.53	24.04	0.001 **
	Trat x Fecha	9	425.78	47.31	2.71	0.054 *
	Error	12	209.38	17.44	-	-
	Total	31	2861.72	-	-	-
Fruto vano	Bloq.	1	0.500	0.500	0.21	0.675 n.s.
	Trat.	3	179.00	59.67	25.57	0.012 **
	Bloq. x trat.	3	7.00	2.33	1.51	0.261 n.s.
	Fecha	3	74.50	24.83	16.11	0.002 **
	Trat x Fecha	9	10.00	1.11	0.72	0.683 n.s.
	Error	12	18.50	1.54	-	-
	Total	31	289.50	-	-	-
Antrácnosis	Bloq.	1	0.2812	0.2812	0.53	0.519 n.s.
	Trat.	3	46.84	15.614	29.39	0.010 **
	Bloq. x trat.	3	1.594	0.5312	0.96	0.442 n.s.
	Fecha	3	136.84	45.61	82.62	0.001 **
	Trat x Fecha	9	35.78	3.98	7.20	0.001 **
	Error	12	6.625	0.552	-	-
	Total	31	227.97	-	-	-
Chasparria	Bloq.	1	6.125	6.125	2.77	0.194 n.s.
	Trat.	3	196.25	65.083	29.47	0.010 **
	Bloq. x trat.	3	6.626	2.208	2.59	0.102 n.s.
	Fecha	3	208.75	69.58	81.46	0.001 **
	Trat x Fecha	9	44.50	4.944	5.79	0.003 **
	Error	12	10.25	0.854	-	-
	Total	31	471.50	-	-	-
Ojo de gallo	Bloq.	1	8.000	8.000	2.91	0.187 n.s.
	Trat.	3	86.75	28.91	10.52	0.042 *
	Bloq. x trat.	3	8.250	2.75	5.74	0.011 **
	Fecha	3	37.25	12.42	25.91	0.001 **
	Trat x Fecha	9	37.50	4.17	8.70	0.005 **
	Error	12	5.750	0.479	-	-
	Total	31	183.50	-	-	-

Anexo 10. Análisis de varianza para la producción, incidencia de enfermedades del fruto, fruto vano, peso pergamino y pulpa en var. Catimor "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba, 1999.

Variable dependiente	Fuente de variación	G.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio del error	F	P>F
Producción	Bloq.	1	48.18	48.18	3.72	0.149 n.s.
	Trat.	3	97.14	32.38	2.50	0.235 n.s.
	Bloq. x trat.	3	38.41	12.94	1.69	0.189 n.s.
	Fecha	8	4213.46	526.68	68.74	0.001 **
	Trat x Fecha	24	191.70	7.99	1.04	0.449 n.s.
	Error	32	2454.19	7.66	-	-
	Total	71	4834.49	-	-	-
Peso de grano	Bloq.	1	112.50	112.50	6.00	0.092 n.s.
	Trat.	3	843.75	281.25	15.00	0.026 *
	Bloq. x trat.	3	56.25	18.75	0.80	0.517 n.s.
	Fecha	3	5575.00	1858.33	79.29	0.001 **
	Trat x Fecha	9	418.75	46.53	1.99	0.133 n.s.
	Error	12	281.25	23.44	-	-
	Total	31	7287.50	-	-	-
Peso de pergamino	Bloq.	1	200.00	200.00	10.67	0.047 *
	Trat.	3	143.75	47.92	2.56	0.231 n.s.
	Bloq. x trat.	3	56.25	18.75	0.92	0.459 n.s.
	Fecha	3	2543.75	847.92	41.74	0.001**
	Trat x Fecha	9	412.50	45.83	2.26	0.095 n.s.
	Error	12	243.75	20.31	-	-
	Total	31	3600.00	-	-	-
Peso de pulpa	Bloq.	1	327.34	19.53	0.65	0.158 n.s.
	Trat.	3	19.53	109.11	3.64	0.478 n.s.
	Bloq. x trat.	3	89.84	29.94	1.42	0.285 n.s.
	Fecha	3	733.59	244.54	11.59	0.007 **
	Trat x Fecha	9	119.53	13.28	0.63	0.752 n.s.
	Error	12	253.12	21.09	-	-
	Total	31	1542.97	-	-	-
Grano vano	Bloq.	1	16.53	46.28	21.16	0.019 *
	Trat.	3	138.84	16.53	59.24	0.004 **
	Bloq. x trat.	3	2.34	0.781	1.23	0.342 n.s.
	Fecha	3	25.59	8.531	13.43	0.004 **
	Trat x Fecha	9	13.03	1.448	2.28	0.092 n.s.
	Error	12	7.62	0.635	-	-
	Total	31	203.97	-	-	-
Antrácnosis	Bloq.	1	3.12	3.12	1.09	0.374 n.s.
	Trat.	3	44.75	14.92	5.19	0.105 n.s.
	Bloq. x trat.	3	8.62	2.88	2.82	0.084 n.s.
	Fecha	3	46.75	15.58	15.27	0.002 **
	Trat x Fecha	9	18.50	2.05	2.01	0.129 n.s.
	Error	12	12.25	1.02	-	-
	Total	31	134.00	-	-	-
Chasparria	Bloq.	1	0.2812	0.2812	0.10	0.777 n.s.
	Trat.	3	840.84	280.28	95.08	0.002 **
	Bloq. x trat.	3	8.844	2.948	2.30	0.129 n.s.
	Fecha	3	74.84	24.95	19.47	0.001 **
	Trat x Fecha	9	72.03	8.00	6.25	0.002 **
	Error	12	15.38	1.281	-	-
	Total	31	1012.22	-	-	-
Ojo de gallo	Bloq.	1	3.781	3.781	2.61	0.204 n.s.
	Trat.	3	225.84	75.28	51.99	0.004 **
	Bloq. x trat.	3	4.344	1.448	7.32	0.005 **
	Fecha	3	12.34	4.114	20.79	0.001 **
	Trat x Fecha	9	16.53	1.837	9.28	0.004 **
	Error	12	2.375	0.198	-	-
	Total	31	265.22	-	-	-

Anexo 11. Análisis de varianza para tamaño de grano de café (*Coffea arabica*) var. Caturra y Catimor 5175 en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999.

Variable dependiente	Fuente de variación	G.I.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio del error	F	P>F
Caturra	Bloq.	1	0.00	0.00	0.00	1.000 n.s.
	Trat.	3	0.00	0.00	491.44	0.002 **
	Bloq. x trat.	3	0.00	0.00	0.00	1.000 n.s.
	Zaranda	3	1600.50	533.50	102.71	0.001 **
	Trat. x Zaran	9	240.05	26.67	5.13	0.005 **
	Error	12	62.33	5.19	-	-
	Total	31	1902.89	-	-	-
Catimor T5175	Bloq.	1	0.00	0.00	0.99	0.394 n.s.
	Trat.	3	0.00	0.00	0.37	0.785 n.s.
	Bloq. x trat.	3	0.00	0.00	0.00	1.000 n.s.
	Zaranda	3	1472.28	490.76	50.29	0.001 **
	Trat. x Zaran	9	596.62	66.29	6.79	0.002 **
	Error	12	117.11	9.76	-	-
	Total	31	2186.00	-	-	-

n.s. = no significativo. \* = significativo ( $p < 0.05$ ). \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ).



Anexo 12. Análisis de varianza para calidad de café en var. Caturra en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999.

Variable dependiente	Fuente de variación	G.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio del error	F	P>F
Color	Bloq.	1	0.17	0.17	1.00	0.391 n.s.
	Trat.	3	7.33	2.44	14.67	0.027 **
	Bloq. x trat.	3	0.50	0.17	4.00	0.052 *
	Fecha	2	0.75	0.37	9.00	0.009 ***
	Trat x Fecha	6	0.92	0.15	3.67	0.047 **
	Error	8	0.33	0.042	-	-
	Total	23	10.0	-	-	-
Olor	-	-	-	-	-	-
Uniformidad	Bloq.	1	7.04	7.04	46.09	0.006 ***
	Trat.	3	23.46	7.82	51.18	0.004 ***
	Bloq. x trat.	3	0.46	0.15	0.17	0.910 n.s.
	Fecha	2	3.08	1.54	1.76	0.223 n.s.
	Trat. x Fecha	6	3.92	0.65	0.75	0.629 n.s.
	Error	8	7.00	0.88	-	-
	Total	23	44.95	-	-	-
Ranura	Bloq.	1	9.38	9.38	13.24	0.036 **
	Trat.	3	5.46	1.82	2.57	0.229 n.s.
	Bloq. x trat.	3	2.12	0.71	1.13	0.392 n.s.
	Fecha	2	0.75	0.38	0.60	0.572 n.s.
	Trat. x Fecha	6	0.92	0.15	0.24	0.948 n.s.
	Error	8	5.00	0.62	-	-
	Total	23	23.62	-	-	-
Dureza	Bloq.	1	0.67	0.67	0.46	0.546 n.s.
	Trat.	3	8.83	2.94	2.04	0.287 n.s.
	Bloq. x trat.	3	4.33	1.44	0.58	0.646 n.s.
	Fecha	2	1.08	0.54	0.22	0.809 n.s.
	Trat. x Fecha	6	8.92	1.49	0.59	0.729 n.s.
	Error	8	20.00	2.50	-	-
	Total	23	43.83	-	-	-
Aroma	Bloq.	1	1.04	1.04	1.47	0.312 n.s.
	Trat.	3	10.12	3.37	4.76	0.116 n.s.
	Bloq. x trat.	3	2.12	0.71	0.66	0.588 n.s.
	Fecha	2	0.58	0.29	0.28	0.763 n.s.
	Trat. x Fecha	6	1.75	0.29	0.28	0.931 n.s.
	Error	8	8.33	1.04	-	-
	Total	23	23.96	-	-	-
Acidez	Bloq.	1	0.04	0.04	0.06	0.824 n.s.
	Trat.	3	19.45	6.49	9.16	0.051 *
	Bloq. x trat.	3	2.12	0.71	0.33	0.806 n.s.
	Fecha	2	3.58	1.79	0.83	0.472 n.s.
	Trat. x Fecha	6	4.42	0.74	0.34	0.897 n.s.
	Error	8	17.33	2.17	-	-
	Total	23	46.96	-	-	-
Cuerpo	Bloq.	1	3.38	3.38	0.55	0.512 n.s.
	Trat.	3	41.12	13.71	2.23	0.264 n.s.
	Bloq. x trat.	3	18.46	6.15	1.55	0.274 n.s.
	Fecha	2	9.75	4.87	1.23	0.342 n.s.
	Trat. x Fecha	6	11.25	1.878	0.47	0.811 n.s.
	Error	8	31.67	3.96	-	-
	Total	23	115.62	-	-	-

Significancia al: \*\*\* $\alpha=0.01$ , \*\* $\alpha=0.05$ , \* $\alpha=0.1$  y n.s. = no significativo.

Anexo 13. Análisis de varianza para calidad de café en var. Catimor 5175 en "El Cañal", Santa Rosa, Turrialba Costa Rica, 1999.

Variable dependiente	Fuente de variación	G.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio del error	F	P>F
Color	Bloq.	1	0.167	0.17	1.00	0.391 n.s.
	Trat.	3	3.17	1.05	6.33	0.082 *
	Bloq. x trat.	3	0.50	0.17	0.57	0.649 n.s.
	Fecha	2	0.08	0.04	0.14	0.869 n.s.
	Trat x Fecha	6	1.58	0.26	0.90	0.535 n.s.
	Error	8	2.33	0.29	-	-
	Total	23	7.83	-	-	-
Olor	-	-	-	-	-	-
Uniformidad	Bloq.	1	0.37	0.37	0.13	0.739 n.s.
	Trat.	3	40.45	13.49	4.78	0.115 n.s.
	Bloq. x trat.	3	8.45	2.82	8.46	0.007 ***
	Fecha	2	42.58	21.29	63.87	0.001 ***
	Trat. x Fecha	6	5.42	0.90	2.71	0.097 *
	Error	8	2.67	0.33	-	-
	Total	23	99.96	-	-	-
Ranura	Bloq.	1	0.17	0.17	3.00	0.182 n.s.
	Trat.	3	1.50	0.50	9.00	0.052 *
	Bloq. x trat.	3	0.17	0.06	0.03	0.993 n.s.
	Fecha	2	0.08	0.042	0.02	0.979 n.s.
	Trat. x Fecha	6	2.25	0.38	0.19	0.970 n.s.
	Error	8	15.67	1.96	-	-
	Total	23	19.83	-	-	-
Dureza	Bloq.	1	7.04	7.04	18.78	0.023 **
	Trat.	3	9.79	3.26	8.70	0.054 *
	Bloq. x trat.	3	1.12	0.37	0.69	0.582 n.s.
	Fecha	2	5.25	2.62	4.85	0.042 **
	Trat. x Fecha	6	3.08	0.51	0.95	0.512 n.s.
	Error	8	4.33	0.54	-	-
	Total	23	30.62	-	-	-
Aroma	Bloq.	1	1.04	1.04	1.00	0.391 n.s.
	Trat.	3	9.46	3.15	3.02	0.193 n.s.
	Bloq. x trat.	3	3.12	1.04	0.81	0.525 n.s.
	Fecha	2	6.75	3.38	2.61	0.134 n.s.
	Trat. x Fecha	6	12.92	2.15	1.67	0.246 n.s.
	Error	8	10.33	1.29	-	-
	Total	23	43.62	-	-	-
Acidez	Bloq.	1	5.04	5.04	33.00	0.010 ***
	Trat.	3	40.12	13.37	87.55	0.002 ***
	Bloq. x trat.	3	0.46	0.15	0.31	0.821 n.s.
	Fecha	2	4.08	2.04	4.08	0.060 *
	Trat. x Fecha	6	17.25	2.87	5.75	0.014 n.s.
	Error	8	4.00	0.50	-	-
	Total	23	43.62	-	-	-
Cuerpo	Bloq.	1	1.04	1.04	1.00	0.391 n.s.
	Trat.	3	20.12	6.71	6.44	0.080 *
	Bloq. x trat.	3	3.12	1.04	0.30	0.821 n.s.
	Fecha	2	6.08	3.04	0.89	0.447 n.s.
	Trat. x Fecha	6	5.25	0.87	0.26	0.943 n.s.
	Error	8	27.33	3.42	-	-
	Total	23	62.95	-	-	-

Significancia al: \*\*\* $\alpha=0.01$ , \*\* $\alpha=0.05$ , \* $\alpha=0.1$  y n.s. = no significativo.