

PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO

EFFECTOS DE LA ALTITUD, SOMBRA, PRODUCCION Y FERTILIZACION  
SOBRE LA CALIDAD DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L. var. Caturra) PRODUCIDO EN  
SISTEMAS AGROFORESTALES DE LA ZONA CAFETALERA NORCENTRAL DE  
NICARAGUA

Tesis sometida a 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:

*Magíster Scientiae* en Agroforestería Tropical

Por

Leonel Demócrito Lara Estrada

Turrialba, Costa Rica

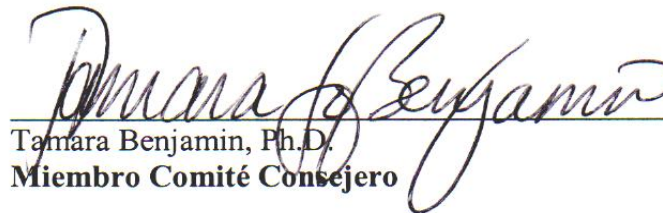
Noviembre, 2005

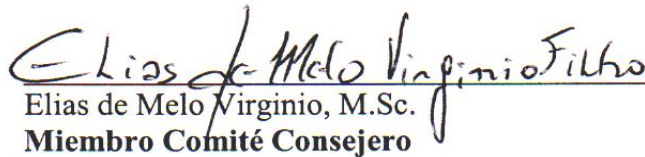
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE**

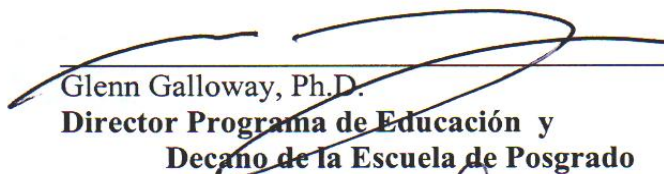
**FIRMANTES:**

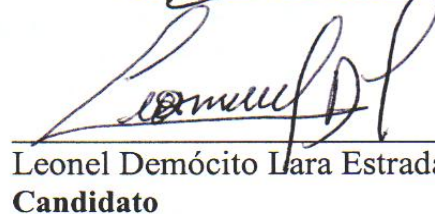
  
Phillipe Vaast, Ph.D.  
**Consejero Principal.**

  
Tamara Benjamin, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
Elias de Melo Virginio, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
Jeremy Haagar, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
Glenn Galloway, Ph.D.  
**Director Programa de Educación y  
Decano de la Escuela de Posgrado**

  
Leonel Demócito Lara Estrada  
**Candidato**

## DEDICATORIA

A mi Dios,  
Un padre justo y bondadoso

A mi Familia,  
A mi madre y mi hermana

A mi Patria, Nicaragua  
La tierra de Diríangen, Darío y Sandino,  
Tierra de Vigor y Gloria!!!  
Viva Nicaragua....!!!  
Jueputa!!!

## AGRADECIMIENTOS

Primero y ante todo,  
A Dios, un padre amoroso,  
Gracias por sus múltiples bendiciones....

A mi consejero principal, Phillipe Vaast,  
por su acompañamiento, enseñanzas y consejos durante este proceso de aprendizaje

A Exportadora Atlantic, S.A y sus trabajadores,  
por su apoyo decidido durante el desarrollo de la tesis

Al pueblo alemán, quienes a través del  
Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD)  
financiaron mis estudios de posgrado

A todos y cada uno de los productores  
por su tiempo, sus conocimientos, su confianza y su café!!!

A los miembros de mi comité asesor,  
Tamara Benjamín, Elías de Melo y Jeremy Haagar,  
por que en el consejo esta la sabiduría...

Al profesor Gustavo López del área de Biometría,  
por su clarificaciones y consejos

A los amigos (as) de  
La Escuela de Posgrado y la Biblioteca Conmemorativa Orton,

Mil gracias a todos...!!!!  
Que el señor este con ustedes y sus familias...

# CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
RESUMEN	VII
SUMMARY	IX
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XIV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis del estudio	4
2 REVISION DE LITERATURA	5
2.1 El café en Centroamérica y Nicaragua	5
2.1.1 Nivel Tecnológico y Regiones Productoras de café en Nicaragua	6
2.2 Calidad del Café	8
2.2.1 Definición	8
2.2.2 Catación	8
2.2.3 Características Físicas del grano de café	8
2.2.4 Características organolépticas más relevantes	9
2.2.5 Compuestos bioquímicos asociados a la calidad organoléptica del café	11
2.3 Condiciones óptimas para el cultivo del café	14
2.3.1 Factores que influyen la calidad del café	16
2.4 Calidades de café en el Mercado Internacional y en Nicaragua	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Zona de estudio	28

3.2	Variables en estudio	29
3.2.1	Etapa I	30
3.2.2	Etapa II	32
3.3	Análisis estadístico	36
4	RESULTADOS	37
4.1	Descripción de los lotes de café en estudio por ubicación geográfica	37
4.2	Relación entre altitud, sombra, rendimiento y fertilización	45
4.3	Calidad Física	47
4.4	Composición Bioquímica	51
4.5	Calidad Organoléptica	55
4.5.1	Selección del Análisis de Organoléptico	55
4.5.2	Resultados de la calidad organoléptica	57
4.6	Calidad del Café y su Composición Bioquímica	61
4.7	Discriminación Geográfica de la Calidad del Café	65
5	DISCUSION	69
5.1	Relación entre altitud, sombra, rendimiento y fertilización de los lotes en estudio por su ubicación geográfica	69
5.2	Calidad del café y su composición bioquímica	70
5.3	Discriminación por origen	70
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
7	BIBLIOGRAFÍA	80
	ANEXOS	89

## RESUMEN

**Lara E, LD. 2005.** Efectos de la Altitud, Sombra, Producción y Fertilización sobre la Calidad del Café (*Coffea Arabica* L. var. Caturra) Producido en Sistemas Agroforestales de la Zona Cafetalera Norcentral de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 106 p.

**Palabras Claves:** Calidad física, calidad organoléptica, composición bioquímica, espectrometría cercana al infrarrojo, componentes principales, discriminación geográfica, sistemas multiestratos.

Con el objetivo de valorar los efectos de los factores altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre la calidad del café se colectaron un total de 67 muestras de café de fincas comerciales en la Región Cafetalera Norcentral de Nicaragua, en los departamentos de Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y el municipio de Waslala. También se discriminó la calidad del café por su origen geográfico. La altitud presentó la mayor influencia sobre la determinación de la calidad física del grano (tamaño, peso y granos imperfectos), organoléptica (aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia) y compuestos bioquímicos (cafeína, trigonelina, sacarosa, materia grasa y ácidos clorogénicos). La sombra influyó significativamente sobre la calidad física del grano (mayor tamaño y peso, y menor % de granos imperfectos) y su composición bioquímica (cafeína, sacarosa y ácidos clorogénicos); además, mostró una correlación positiva y significativa sobre el amargo de bebida. La sombra mejoró significativamente la calidad organoléptica (cuerpo, acidez, sabor y preferencia) en altitudes entre 950 – 1255 msnm. La fertilización influyó positivamente sobre la calidad física (mayor tamaño y peso, y menor % de granos imperfectos), composición bioquímica (materia grasa y trigonelina) y calidad organoléptica, particularmente sobre aroma, sabor y preferencia. El rendimiento de grano presentó efectos positivos y significativos sobre las variables de calidad física de grano (mayor tamaño y peso) y composición bioquímica (trigonelina, sacarosa, materia grasa y ácidos clorogénicos). El rendimiento no presentó ningún efecto sobre la calidad organoléptica. La discriminación geográfica fue a nivel de municipio y se definieron tres grupos. En general, el Grupo I (municipios de Waslala, Wiwili, El Cuá y El Tuma-La Dalia) se caracterizó por altitudes < 1000 msnm, bajo uso de fertilizantes ( $\leq 1$  aplicación de fertilizante por año), bajos rendimientos y altos niveles de

sombra (>60%). Cafés originarios de este grupo I presentaron las mayores concentraciones de granos pequeños, trigonelina, sacarosa y menor calidad organoléptica. El grupo II (Jinotega, San Rafael del Norte y Dipilto) se caracterizó por altitudes promedias de 1050 a 1145 msnm, mayor número de aplicaciones de fertilizantes (>2 aplicaciones por año), mayores rendimientos que los del grupo I. Cafés originarios de este grupo II presentaron granos de mayor tamaño con mayor acumulación de materia grasa y una bebida de mejor calidad (que la producida por el Grupo I). El grupo III (Matagalpa y San Fernando) se caracterizó por altitudes promedios mayores a 1290 msnm y menores niveles de sombra (< 20 %). Cafés originarios de este grupo III presentaron las mayores concentraciones de materia grasa y ácidos clorogénicos. De todos los grupos, el municipio Matagalpa presentó la mejor calidad de bebida. Los compuestos que más aportaron a la discriminación geográfica fueron trigonelina, sacarosa, materia grasa y ácidos clorogénicos. La sombra y fertilización pueden compensar parcialmente las desventajas de los lotes ubicados en las zonas de baja altitud. Los compuestos bioquímicos mostraron una fuerte relación con las características organolépticas; estos compuestos podrían utilizarse como indicadores de la calidad del café y así eliminar el error humano debido a las discrepancias que existen entre catadores con diferentes experiencias.



## SUMMARY

**Lara E, LD. 2005.** Effects of the altitude, shade, production and fertilization on coffee quality (*Coffea arabica* L. var. Caturra) produced in agroforestry systems of Coffee Zone Northern Central of Nicaragua. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 106 p.

**Key words:** Coffee, Nicaragua, physical quality, organoleptic quality, biochemical composition, near infrared spectrometry reflectance, principal components, geographic discrimination.

With the objective of evaluating the effects of altitude, shade, yield and fertilization on coffee quality, a total of 67 coffee samples of coffee plantations was collected in the Northern Central region of Nicaragua in the departments of Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia and municipality of Waslala. The coffee quality was also discriminated according to its geographic origin. Altitude influenced the greatest the determination of coffee physical quality (larger, heavier beans and lower % of imperfects beans), organoleptic quality (aroma, body, acidity, flavor and preference) and biochemical compounds (caffeine, trigonelline, sucrose, chlorogenic acids and fat). Shade influenced significantly the physical quality (larger, heavier beans and lower % of imperfects beans) and biochemical composition (caffeine, chlorogenic acids and sucrose) of coffee beans; in addition, a high correlation was observed between shade and the bitterness of beverage. Shade improved significantly the organoleptic quality (body, acidity, flavor and overall preference) at altitudes in the range of 950 to 1255 m. Fertilization influenced positively the physical quality (larger, heavier beans and lower % of imperfects beans), biochemical composition (fat and trigonelline content) and organoleptic quality, particularly on aroma, flavor and preference. Increasing yield affected positively and significantly the physical quality (larger and heavier beans) and biochemical composition of beans (trigonelline, sucrose, chlorogenic acids and fat). However, yield did not affect organoleptic quality. Coffee quality was discriminated geographically by municipalities in three groups. Group I (Municipalities of Waslala, Wiwili, El Cuá and El Tuma-La Dalia) was characterized by low altitudes < 1000 m, low fertilizer inputs ( $\leq 1$  application per year), low yield and high levels of shade (> 60%). Coffees from this group I presented small bean size, large concentrations in trigonelline and sucrose, and low

organoleptic quality. Group II (Jinotega, San Rafael del Norte and Dipilto) was characterized by altitudes ranging from 1050 to 1145 m, a greater number of fertilizer applications (>2 applications per year), higher yields than those of the group I. Coffees of this group II presented beans of greater size with greater accumulation of fat and chlorogenic acids content and a better beverage quality (than the produced one by Group I). Group III (Matagalpa y San Fernando) was characterized by altitudes higher than 1290 m and low shade level (< 20 %). Coffees of this group III presented the highest fat and chlorogenic acids content. Coffee from Matagalpa received the highest mark for beverage quality. The compounds that contributed the most to the geographic discrimination were trigonelline, sucrose, fat and chlorogenic acids. Shade and fertilization can partially compensate the disadvantages of plantations located at low altitude. Biochemical compounds showed a strong relationship with the organoleptic characteristics; these compounds could be used as indicators of coffee quality and thus to eliminate the human error due to the discrepancies that exist between tasters with different experiences.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Niveles tecnológicos presentes en Nicaragua	6
Cuadro 2. Principales regiones productoras de café, Nicaragua	7
Cuadro 3. Contenidos de cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, materia grasa y sacarosa de <i>Coffea arabica</i> L. var. Caturra reportados en Nicaragua, Costa Rica y Brasil	11
Cuadro 4. Estudios en la región que han reportado efectos positivos de la altitud sobre el tamaño de grano y calidad organoléptica	17
Cuadro 5. Efecto de problemas nutricionales del suelo sobre la calidad del café	18
Cuadro 6. Clasificación del café verde exportable nicaragüense según características físicas y organolépticas	26
Cuadro 7. Diámetro de tamices	34
Cuadro 8. Niveles de altitud, sombra, rendimiento y fertilización	36
Cuadro 9. Condiciones climáticas prevalecientes en la zona de estudio	37
Cuadro 10. Características agronómicas promedios de los lotes de café en estudio	38
Cuadro 11. Descripción del factor fertilización	39
Cuadro 12. Fertilizantes foliares más utilizados por los productores	40
Cuadro 13. Tipologías de sombra de los 67 lotes en estudio por origen geográfico	42
Cuadro 14. Descripción de las tipologías de sombra según niveles de sombra y cobertura, riqueza del componente arbóreo y altitud	43
Cuadro 15. Correlaciones de Pearson entre las mediciones de sombra, cobertura arbórea, densidad y riqueza del componente arbóreo en los lotes de café muestreados	44
Cuadro 16. Análisis de varianza entre altitud, sombra, fertilización y rendimiento	45
Cuadro 17. Correlaciones de Pearson entre altitud, sombra, fertilización y rendimiento	46
Cuadro 18. Correlación de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y calidad física del café	49
Cuadro 19. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre la calidad física del café	50
Cuadro 20. Correlaciones de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y compuestos bioquímicos	52

Cuadro 21. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre los compuestos bioquímicos	53
Cuadro 22. Efecto del rendimiento de grano sobre la composición bioquímica	55
Cuadro 23. Correlaciones de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y variables de calidad organoléptica	58
Cuadro 24. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre la calidad organoléptica del café	59
Cuadro 25. Efecto de la sombra sobre la calidad organoléptica del café	60
Cuadro 26. Correlaciones de Pearson entre las variables de calidad y composición bioquímica del grano de café	62
Cuadro 27. Efecto de las variables de calidad física sobre la calidad organoléptica	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la Zona Norte de Nicaragua	28
Figura 2. Distribución histórica de las precipitaciones en los departamentos de Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y municipio de Waslala, RAAN	29
Figura 3. Dinámica de fertilización dentro de cada nivel de aplicación en el ciclo productivo 2003-2004 en los lotes de café bajo estudio	40
Figura 4. Proporción de las tipologías sombra presentes en los 67 lotes de café bajo estudio	41
Figura 5. Niveles de sombra y cobertura utilizados por los productores en invierno y verano en función de la altitud	44
Figura 6. Dinámica de la sombra, fertilización y rendimiento del grano de café en función de la altitud en la región Norcentral de Nicaragua	47
Figura 7. Análisis de componentes principales de altitud, rendimiento, fertilización y calidad física del grano de café	48
Figura 8. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización y composición bioquímica	51
Figura 9. Análisis de segmentación para el compuesto bioquímico trigonelina	54
Figura 10. Distribución de calificaciones de cataciones de café realizadas en Nicaragua y Francia	56
Figura 11. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización y calidad organoléptica del café	.57
Figura 12. Análisis de segmentación para la variable aroma de bebida en función de la altitud, sombra, rendimiento y fertilización	60
Figura 13. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización, variables de calidad y compuestos bioquímicos	61
Figura 14. Factores que influyen en la determinación de la calidad final del café	64
Figura 15. Discriminación de origen por municipio según composición bioquímica de los granos de café	65
Figura 16. Análisis discriminante por municipio en función de su composición bioquímica	67
Figura 17. ACP para calidad del café, compuestos bioquímicos y factores (altitud, rendimiento y fertilización) de acuerdo al municipio de origen	68

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACP	análisis de Componentes Principales
ACV	análisis de Covarianza
AD	Analisis Discriminate
ANDEVA	análisis de Varianza
ASM	análisis de Segmentación
CCI	Centro Comercio Internacional
CETREX	Centro de Tramites de las Exportaciones (Nicaragua)
CP	Componente Principal
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
MIFIC	Ministerio de Industria y Finanzas (Nicaragua)
NIRS	Near Infrared Reflectance Spectrometry
OIC	Organización Internacional del Café

# 1 INTRODUCCIÓN

La Organización Internacional del Café (OIC) estima que más de 125 millones de personas a nivel mundial dependen del café para su sustento (Osorio 2002). En Centroamérica se estima que cerca del millón y medio de personas dependen directamente de su cultivo (CEPAL 2002). A su vez Centroamérica es considerada como la tercera región cafetalera del mundo. El café se ha convertido en uno de los principales productos de exportación; por lo que su producción está estrechamente ligado al desarrollo socioeconómico del istmo (Vaast y Harmand 2002; Bertrand y Rapidel 1999; Samper 1999). Se estima que cerca del 90 % del café producido es comercializado en el mercado internacional (CEPAL 2002)

Además de las implicaciones socioeconómicas, el café tiene una gran relevancia en la definición del paisaje rural. Se calcula que existen 1.5 millones de hectáreas cultivadas en la región (Vaast y Harmand 2002). Centroamérica cuenta con grandes áreas aptas para el cultivo del café. En el trópico, existen otras zonas que también gozan de condiciones tan favorables o mejores para su cultivo. Muchas de estas zonas compiten con un café más barato (Ej. Vietnam) y con calidades iguales o mejores al café centroamericano (Ej. Colombia y Kenia) (Bertrand y Rapidel 1999). Esto ha sido acompañado de un proceso de intensificación de los sistemas productivos e incorporación de nuevas áreas de cultivo. Estos procesos han creado un incremento en la oferta de café en el mercado internacional, oferta que en los últimos años ha sobrepasado a la demanda (Osorio 2002; Díaz 2001; Daviron 1994). Esta situación de desequilibrio entre la oferta y demanda ha provocado una disminución significativa de los precios del café desde hace varios años (la crisis del café), que en muchos casos no permiten cubrir los costos de producción (Mendoza 2002; Osorio 2002; Díaz 2001).

Ante tal problemática, se han planteado diversas alternativas, tales como: la diversificación de la producción, promoción del consumo (países consumidores y productores), producción de café de calidad, cafés orgánicos, cafés de marcas, inclusión de organizaciones productoras en el beneficio y comercialización, entre otros (Peeters *et al.* 2003; Avelino *et al.* 2002; Osorio 2002)

Una de las alternativas más promovidas en la actualidad es la búsqueda de segmentos y/o nichos de mercados estables basados en producción de cafés de calidad y así acceder a

mejores precios (Peeters *et al.* 2003; Vaast y Harmand 2002; Samper 1999). Sin embargo, en este proceso de producción de cafés de mayor calidad es importante definir como interactúan las condiciones agroecológicas y de manejo en la determinación de la calidad del mismo. En este sentido, el presente trabajo pretende comprender mejor la influencia de la altitud, sombra, productividad y fertilización sobre la definición de la calidad del café en la Región Norcentral de Nicaragua.



## 1.1 Objetivos del estudio

### 1.1.1 *Objetivo General*

Determinar la influencia de la altitud, sombra, productividad y fertilización sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) bajo sistemas agroforestales en la Región del Norcentral de Nicaragua.

### 1.1.2 *Objetivos específicos*

Determinar la influencia de la altitud, sombra, productividad y fertilización sobre la calidad física del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) en cafetales de la Región Norcentral de Nicaragua.

Determinar la influencia de la altitud, sombra, productividad y fertilización sobre los compuestos bioquímicos asociados a la calidad del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) en cafetales de la Región Norcentral de Nicaragua

Determinar la influencia de la altitud, sombra, productividad y fertilización sobre la calidad organoléptica del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) en cafetales de la Región del Norcentral Nicaragua

Determinar la influencia de los compuestos bioquímicos (cafeína, trigonelina, sacarosa, materia grasa y ácido clorogénico) del grano de café sobre la calidad organoléptica de la bebida.

Discriminar geográficamente el origen del café según su calidad física y organoléptica, así como por su composición bioquímica.

## 1.2 Hipótesis del estudio

La altitud es el factor más influyente en la determinación de la calidad física y organoléptica del café en la Región Norcentral de Nicaragua.

Los cambios microclimáticos ejercidos por la sombra en cafetales ubicados en regiones subóptimas para el desarrollo del cultivo mejoran la calidad física, bioquímica y organoléptica del grano.

El aporte de nutrimentos de aplicaciones de fertilizantes influye positivamente en el desarrollo del grano y por ende sobre la calidad física y organoléptica del café.

La calidad física esta correlacionada con la calidad organoléptica, granos grandes y de mayor peso producen una mejor bebida.

La interacción de los factores altitud, sombra y rendimiento tienen un efecto sinérgico sobre la determinación de la calidad del café y contenido de compuestos bioquímicos del grano.

Los compuestos bioquímicos del grano están vinculados a la calidad del café. Altas concentraciones de cafeína, ácido clorogénico y trigonelina en el grano de café producen una bebida más amarga y menos apreciable. Por el contrario, mayores contenidos de materia grasa y sacarosa en el grano de café producen una bebida con características de mejor cuerpo, acidez y sabor.

## 2 REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El café en Centroamérica y Nicaragua

Hace más de dos siglos que el café (*Coffea arabica* L.) inició su vida productiva en Centroamérica. Pasó de ser una bebida exótica en el siglo XIX a un importante producto de exportación, hacia Europa en sus inicios y luego a Norteamérica (Kuhl 2004; Samper 1999).

Tecnológicamente, el café se ha producido, procesado y transportado en formas muy diversas. Ha formado parte de policultivos tradicionales y de múltiples asociaciones. Se ha establecido en diversas plantaciones especializadas, en sistemas agroforestales con árboles de sombra y doble propósito (madera, frutas o leña). Asimismo, tanto en sus inicios como hoy se ha establecido y producido bajo condiciones de pleno sol (Samper 1999). Al respecto, Suárez *et al.* (1961) menciona que posiblemente no exista otra planta perenne cultivada por el hombre que crezca en condiciones ecológicas más diversas y sometida a mayor número de sistemas distintos y hasta contrapuestos (Mitchell 1988).

En Nicaragua, hasta mediados del siglo XIX el modelo de producción era la gran hacienda colonial ganadera, el cultivo y procesamiento del añil y la siembra de granos básicos para el autoconsumo (Díaz 2001). La llegada del café se remonta a la década de los cuarenta del siglo XIX, siendo el último país de la región que inicia su producción. La caficultura se estableció por primera vez en la Región del Pacífico, luego se dirigió al Centro y al Norte del País. En la actualidad la Región Norte es la zona con mayor área plantada de café seguida por la Región Centro y Pacífico del País (Kuhl 2004; Guharay *et al.* 2000).

Tradicionalmente Nicaragua ha producido *C. arabica* finos y lavados (CCI 1992). Las variedades de café con mayor área sembrada en el país son Caturra, Catimor, Bourbon y Catuaí. Caturra es la variedad con mayor distribución en las zonas productoras (Kuhl 2004, López *et al.* 2003).

Los principales mercados de exportación han sido Alemania, Bélgica y España. A consecuencia de la revolución de 1979, la producción de café descendió de un millón de sacos

a finales de los años setenta y principios de los ochenta, hasta menos de 600,000 quintales (sacos de 46 kg) en 1990 (CCI 1992). Sin embargo, en la década de los 90's se dió un giro positivo a la caficultura, producto de políticas de incentivo y precios de mercado favorables, como resultado se observó un incremento en las áreas de cultivo y exportaciones (IICA 2003), llegando en 1995 a producir los 894,000 quintales (CEPAL 2002).

Actualmente el café representa el 30 % del PIB del sector agrícola y el 6 % del PIB nacional (MAGFOR 2004). Según datos del BCN (2005) de enero a diciembre del 2004 las exportaciones fueron de 1.76 millones de quintales (sacos 46 kg), generando un ingreso de 126.78 millones de dólares. Se estima que el sector café ocupó el 31 % de los empleos a nivel nacional en el sector agrícola (1995-2000) y el 16 % del ámbito nacional (2003). Más de 22 mil 700 productores, entre pequeños, medianos y grandes, se dedican al cultivo del café (MAGFOR 2004), representando el 26 % de las fincas y el 15 % de área dedicada a labores agrícolas a nivel nacional (IICA 2003).

### *2.1.1 Nivel Tecnológico y Regiones Productoras de café en Nicaragua*

El IICA (2003) ha identificado tres niveles tecnológicos básicos en la caficultura nicaragüense. En primer lugar, se encuentra la Tecnología Tradicional (Baja o T1), Tecnología Intermedia (T2) y Tecnología Alta (T3) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Niveles tecnológicos presentes en Nicaragua\*

Tecnología	Uso tierra	Densidad (plantas ha <sup>-1</sup> )	Edad (años)	Uso Insumos	LA <sup>1</sup> (DHP)	Rend <sup>2</sup> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Costo Saco 46 kg <sup>3</sup>	Distribución <sup>4</sup> Nacional
T1	Extensivo	<4700	>7	limitado	51	254	37	56
T2	+Intensivo	5700	>7	frecuente	102	762	61	24
T3	++Intensivo	5700-7100		Siempre	168	1397	60	20

\*Adaptado de IICA (2003). <sup>1</sup> LA = Labores Agrícolas expresada en Días Hombres al Precorte ha<sup>-1</sup> (DHP).

<sup>2</sup> Rend = Rendimiento promedio. <sup>3</sup> Costo de producción en US\$ de un saco de 46 kg de café verde (oro).

<sup>4</sup> Porcentaje del área de café a nivel nacional.

Los sistemas de producción de café T1 se caracterizan por presentar bajas densidades de siembra (< 4700 cafetos ha<sup>-1</sup>), limitado uso de insumos (fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, etc.), poca inversión de mano de obra en las labores de manejo y bajos rendimientos (254 kg ha<sup>-1</sup>). Se considera que alrededor del 56 % del área total de café se produce bajo T1 por

pequeños productores (0 – 13 ha). Los sistemas de producción T2 presentan un sistema un poco más intensivo; donde las densidades de siembra oscilan en 5700 cafetos ha<sup>-1</sup>, el uso de insumos es más frecuente, hay una mayor inversión de mano de obra en las labores de manejo y los rendimientos oscilan en los 762 kg ha<sup>-1</sup>. El nivel T2 ocupa un 24 % del área y es producido por pequeños y medianos productores (14 – 35 ha) (IICA 2003).

Los productores con sistemas de producción T3 presentan un sistema mucho más intensivo que los anteriores; donde las densidades de siembra oscilan entre 5700 – 7100 cafetos ha<sup>-1</sup>, se realizan obras de conservación de suelo y mayor uso de insumos e inversión de mano de obra en las actividades de manejo que T2. Los rendimientos promedios de café son mayores a 1400 kg ha<sup>-1</sup>. El restante 20 % del área bajo el cultivo de café a nivel nacional es producido bajo T3 por grandes productores (>35 ha) y en menor grado por medianos productores (IICA 2003) (Cuadro 1). El nivel tecnológico tiene efectos directos sobre el rendimiento; T1 presenta los menores rendimientos y T3 los mayores índices de productividad. Obviamente, al pasar del T1 al T3 se observa un incremento en los costos de producción y una disminución en la rentabilidad, debido a los bajos costos unitarios presentados en T1 (IICA 2003)(Cuadro 1).

Geográficamente, Nicaragua concentra las mayores áreas de cultivo en tres regiones o zonas: Región Norte, Central y Pacífico. La Región Norte y Central del país (Las Segovias, Jinotega, Matagalpa) poseen las condiciones agro-ecológicas más favorables para el cultivo del café, concentrando el 90% de la producción nacional para los ciclos 2000/01 y 2001/02. Las mayores zonas de producción son los departamentos de Matagalpa y Jinotega con un 57 % del área y 78 % de la producción nacional (Cuadro 2) (IICA 2004).

Cuadro 2. Principales regiones productoras de café, Nicaragua

Regiones	Nivel Nacional		Altitud	Tecnología	
	área (%)	Producción (%)	Rango (msnm)	Nivel	%
Nueva Segovia/Madriz	20	13	800-1300	T1	69
Jinotega	33	45	700-1300	T3	64
Matagalpa	24	33	700-1300	T1 T3	46 42
Pacifico/Estelí/Boaco	23	9	450-900	T2 T1	35 42
Total	100	100	450-1300	-	-

Fuente: IICA 2003 y 2004

## **2.2 Calidad del Café**

### ***2.2.1 Definición***

La calidad en café, se refiere a las cualidades o características intrínsecas del grano de café y de su infusión (CCI 1992). Sin embargo, la calidad de un café puede significar diferentes cosas para diferentes personas (Wheeler 2001). Al final, la calidad del café se define por si la bebida será o no agradable al consumidor (CCI 1992). Los estudios sobre el sabor del café han recibido gran atención, en comparación con cualquier otro material alimenticio. La percepción del sabor en el café es un fenómeno complejo que involucra sensaciones olfativas, gustativas y táctiles (Shankaranarayana y Abraham 1986).

### ***2.2.2 Catación***

La catación es la prueba organoléptica o sensorial aceptada internacionalmente para la comercialización del café. Esta prueba de evaluación es realizada por un especialista llamado Catador. Este posee amplios conocimientos, experiencia y habilidades naturales para poder percibir cada uno de los atributos y defectos que pueda tener el café (Lingle 1999; Barrios *et al.* 1998). Todos los aspectos evaluados en la catación son subjetivos, ya que la actividad es meramente empírica, puesto que cada individuo puede formar una opinión diferente sobre la calidad y la aceptación de una infusión o licor en particular. (Geel *et al.* 2005; Barrios *et al.* 1998; CCI 1992).

Los atributos y defectos pueden dividirse tanto para el aspecto físico del grano como también para la bebida, y están basados en las exigencias del consumidor. Al final, la presencia y gravedad de los defectos físicos y de taza dan el concepto global de la calidad (Vaast *et al.* 2003, Cleves y Astúa 1998, Shankaranarayana y Abraham 1986). De esta manera, la catación determina el verdadero valor y utilidad del café en el mercado (CCI 1992).

### ***2.2.3 Características Físicas del grano de café***

Entre las características físicas se encuentran: tamaño, aspecto del café en oro, color en oro y tostado, aspecto externo y abertura de la hendidura del grano (Geel *et al.* 2005; Barrios *et al.* 1998; CCI 1992; Brownbridge y Gebreigzabhair 1968). El tamaño de grano (granulometría) se

determina utilizando tamices con diferentes diámetros (CCI 1992). Este se expresa en porcentaje de grano verde por clase de tamiz. Se consideran granos con defectos aquellos que presenten al menos una de las siguientes condiciones: negros, decolorados, malformados, aplastados, inmaduros (verde), mordido, picado por insectos, fermentados, manchados, entre otros. Los defectos pueden expresarse tanto en porcentaje o en cantidad (Marín *et al.* 2003; MIFIC 1999)

#### ***2.2.4 Características organolépticas más relevantes***

Los sentidos del olfato y del gusto son importantes en el proceso de definición de la calidad de un café en particular (Franca *et al. In press*). En este proceso, se hace alusión a un olor o sabor particular de la vida diaria. Estos olores y/o sabores pueden indicar aspectos positivos o negativos (defectos) del café evaluado (Clifford 1985). Dentro de las características organolépticas importantes se encuentran: aroma, cuerpo, acidez, amargo y sabor (Geel *et al.* 2005; Barrios *et al.* 1998; CCI 1992; Brownbridge y Gebreigzabhair 1968).

##### **2.2.4.1 Aroma**

El aroma del café es el primer atributo que disfruta el consumidor cuando se le sirve una taza de café y es determinado por los componentes olfativos que se encargan de definir el olor y/o aroma. El aroma es definido por una serie de compuestos muy volátiles producidos durante el proceso de tostado del café (Franca *et al. In press*; Shankaranarayana y Abraham 1986). Algunos de los términos de aroma más comunes son acaramelado, carbonado, chocolate, frutal, floral, cereal (Starbucks 2005; ABECAFE 1998; Menchú 1967).

##### **2.2.4.2 Cuerpo**

El término cuerpo es utilizado para describir la sensación del café en la boca. Básicamente, se determina al deslizar suavemente la lengua a través del cielo de la boca, provocando una sensación táctil (Starbucks 2005, Lingle 1999). Esto permite definir el contenido de sólidos, mayor o menor consistencia (densidad de la bebida) (Cleves y Astúa 1998). Por ejemplo, un café con cuerpo es fuerte y agradable, en oposición a un café de escaso cuerpo o delgado (Starbucks 2005).

#### **2.2.4.3 Acidez**

La acidez es la característica más apreciada en la comercialización del café, y por consiguiente con mejor valor comercial (Cleves y Astúa 1998; Clifford 1985). Está debe detectarse en la punta o los lados de la lengua. Es una sensación que limpia el paladar (Starbucks 2005). Puede clasificarse a los de mayor grado como acidez aguda y penetrante, los intermedios como ligeros, hasta escasa o falta absoluta de acidez (Menchú 1967). La acidez se ha asociado a la acción de ácidos orgánicos. Se considera que el ácido fosfórico puede ser uno de los responsables de la acidez (Clifford 1985).

#### **2.2.4.4 Sabor**

La determinación del sabor en el proceso de catación es el producto de la exposición de las cientos de terminales nerviosas en la lengua a diferentes sensaciones simultáneas: dulces, ácidas, saladas y amargas. Esto permite generar una sensación particular vinculada a un sabor preconcebido en el subconsciente (Lingle 1999). El amargo es una sensación básica de sabor percibida en principio en la parte posterior de la lengua y es considerada generalmente como una característica negativa. Astringente, se refiere a una sensación salada y árida percibida en los lados anteriores a la lengua cuando se toman los primeros sorbos del café (ABECAFE 1998). Existen otros términos del sabor, tales como el suave, maduro, dulce, blando, madera, farmacéutico, terroso, maní, áspero, fenolito, fermentado, quemado, cocido, salino, amantequillado, acaramelado, etc. (Starbucks 2005; ABECAFE 1998).

#### **2.2.4.5 Preferencia (impresión global)**

La preferencia permite valorar una muestra de café por su calidad, teniendo en cuenta las características de aroma, sabor y cuerpo (Vaast y Bertrand 2005; Puerta 2000a)

Generalmente las características organolépticas tienden a ser valoradas en el ámbito comercial con escalas cualitativas (Starbucks 2005; Menchú 1967). Sin embargo, en diferentes ocasiones han sido valoradas a través de escalas numéricas, especialmente con fines estadísticos (Decazy *et al.* 2003; Vaast y Bertrand 2005; Vaast *et al.* 2005a; Puerta 2000a).



## 2.2.5 Compuestos bioquímicos asociados a la calidad organoléptica del café

Los granos de café están compuestos por un gran número de metabolitos secundarios, que juegan un papel importante en la definición de las características organolépticas del café y por consiguiente de su calidad. Por ello, comprender la dinámica de dichos compuestos es uno de los principales retos para entender los procesos que dan origen a cafés de calidad (Poisson 1988). En este sentido, en la región se han realizado recientemente una serie de investigaciones con el fin de describir mejor relación entre compuestos bioquímicos presentes en el grano de café y la calidad de bebida que estos producen (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenidos de cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, materia grasa y sacarosa de *Coffea arabica* L. var. Caturra reportados en Nicaragua, Costa Rica y Brasil

Autor	País <sup>1</sup>	Altitud (msnm)	Cafeína	Trigonelina	Ácidos Clorogénicos	Materia Grasa	Sacarosa
Vaast y Bertrand 2005 <i>In press</i> <sup>2</sup>	CR	1180	1.48	0.99	7.62	13.1 14.39	8.2 8.20
Avelino <i>et al.</i> 2005 <sup>2</sup>	CR	1020-1250	1.24 (0.04)*	0.72 (0.04)	7.75 (0.21)	(0.52)	(0.40)
Vaast <i>et al.</i> 2005a <sup>2</sup>	NIC	401-1140	1.31 (0.002)	0.92(0.05)	8.93(0.02)	11.91(0.45)	6.31(0.14)
Martín <i>et al.</i> 1998	NIC	-	1.5(0.3)	1.13(0.01)	3.95(0.57)	-	-
Franca <i>et al.</i> <i>In press</i>	Bra	-	1.07	0.64	2.39	-	-

\* Porcentajes del peso seco. Desviación estándar entre paréntesis. <sup>1</sup>CR = Costa Rica, NIC = Nicaragua, Bra = Brasil. <sup>2</sup> Determinación por espectrometría cercana al infrarrojo.

A continuación se presentan compuestos bioquímicos que se han asociado a la calidad del café:

### 2.2.5.1 Cafeína

La cafeína es el compuesto característico del café. Es el alcaloide responsable de las propiedades estimulantes atribuidas al café (Shankaranarayana y Abraham 1986). La cafeína se ha asociado principalmente al amargo de la bebida (Clifford 1985). Sin embargo, los resultados han sido diversos. El mismo Clifford (1985) menciona que no existe asociación real entre cafeína y amargo de bebida, ya que se ha encontrado persistencia en el amargo de la bebida en cafés descafeinados. Vaast *et al.* (2005a) en un estudio realizado en Nicaragua no encontró diferencias entre el contenido de cafeína de cafés de alta y baja calidad de taza. De forma similar, Avelino *et al.* (2005) no encontró ninguna relación entre cafeína con el amargo y las demás características organolépticas de taza en la zona del Valle Central de Costa Rica.

### 2.2.5.2 Trigonelina

La trigonelina (ácido N-metilnicotínico) se encuentra en hojas y frutos del café (Poisson 1988). Se ha asociado altos contenidos de trigonelina a menor calidad del café producto del aumento del sabor amargo en la bebida de café (Illy y Viani 1996; Shankaranarayana y Abraham 1986). Posiblemente se deba a que durante el tostado del grano sufre una progresiva degradación, dando lugar a la formación de ácido nicotínico (Clifford 1985; Taguchi *et al.* 1985). Vaast *et al.* (2005a) encontró los mayores contenidos de trigonelina en aquellos cafés que presentaron mayor amargo y menor acidez de bebida.

### 2.2.5.3 Ácidos Clorogénicos

Los ácidos clorogénicos (AC, 5-CQA) son una familia de ésteres formados por ciertos ácidos tras-dinámicos y el ácido quínico (Bertrand *et al.* 2003; Clifford 2000; Rogers *et al.* 1999). Dentro de los AC más comunes se encuentran algunos monoésteres de ácido cafeoilquínico – caffeoylquinic acids- (CQA y FQA), di-ésteres (diCQA), tri-ésteres (triCQA), entre otros (Bertrand *et al.* 2003; Clifford 1999).

La bebida de café es una de las principales fuentes de AC de consumo diario. Su contenido varía en función de la especie entre el 6 – 8 % en base de la materia seca (Clifford 1999). Se estima que una taza de 200 ml de café arábigo podría aportar unos 70 – 200 mg y 70 – 300 mg para robusta (Clifford 1999). Según Dentan (1985), los AC se encuentran en la superficie del grano de café con la cera cuticular en el citoplasma adyacente a la pared celular del endosperma parénquimático. Se ha asociado a los AC con el sabor amargo y astringente de la bebida de café (Vaast *et al.* 2003; Shankaranarayana y Abraham 1986; Clifford 1985). La explicación más aceptada ante esta afirmación, es que durante el tostado del grano los AC sufren una hidrólisis (Clifford 2000) que libera residuos de ácido quínico (Clifford 1999) y compuestos fenólicos, responsables del incremento del sabor amargo en la bebida (Bertrand *et al.* 2003). También, se ha identificado que los AC pueden servir como inductores de resistencia a enfermedades como *Hemileia vastatrix* Berk (González *et al.* 1999) y *Ceratocystis fimbriata* (Echandi y Fernández 1962).

#### **2.2.5.4 Sacarosa**

La sacarosa sufre una degradación significativa o total durante el tostado (Alcázar *et al.* 2005). Sin embargo, pueden quedar remanentes de este compuesto en los granos tostados en concentraciones de 0.4 - 2.8 %, contribuyendo probablemente al dulzor de la bebida. Además, es el principal contribuyente de los azúcares reductores que están implicados en las reacciones que ocurren durante el tostado (Rogers *et al.* 1999). Recientemente, Decazy *et al.* (2003) al evaluar muestras de café de Honduras encontraron una relación positiva entre altos contenidos de sacarosa y los cafés que presentan mayor acidez y en general mejor calidad de taza.

#### **2.2.5.5 Materia Grasa**

Mayores contenidos de materia grasa han sido vinculados a cafés con buena acidez y preferencia (Decazy *et al.* 2003). Las mayores acumulaciones de materia grasa se han observado en cafés de zonas mayor altitud y/o bajo sombra. Bajo estas condiciones el periodo de maduración del fruto es mayor debido a las bajas temperaturas, favoreciendo de esta forma un mayor desarrollo y llenado de grano (Vaast y Bertrand 2005).

#### **2.2.5.6 Determinación del contenido de los compuestos bioquímicos del grano de café**

Existen diferentes técnicas que permiten calcular el contenido de los compuestos bioquímicos presentes en el grano de café. La determinación del contenido de compuestos bioquímicos específicos se ha realizado en diferentes estudios auxiliados de diversas técnicas de análisis estadísticos para discriminar cafés por su origen geográfico (Vaast *et al.* 2005a; Anderson y Smith 2002; Costa y Mosca 1999), por especie o variedad (Rubayiza y Meurens 2005; Maeztu *et al.* 2001), así como asociar dichos compuestos a las características organolépticas de la bebida del café (Avelino *et al.* 2005; Decazy *et al.* 2003; Ky *et al.* 2001). De manera general, las técnicas más comunes han sido Cromatografía de Gases, Espectrometría de Masas, Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC), Resonancia Magnética Nuclear (NMR), Electroforesis, y más recientemente Transformación Infrarroja de Fourier (FTIR) y Espectrometría Reflectante Cercana al Infrarrojo (NIRS) (Franca *et al. In press*; Avelino *et al.* 2005; Huck *et al.* 2005; Rubayiza y Meurens 2005; Vaast *et al.* 2005a; Montavon *et al.* 2003; Tapp *et al.* 2003; Charurin *et al.* 2002; Maeztu *et al.* 2001; Casal *et al.* 2000).

Al comparar dichas técnicas, NIRS y FTIR presentan cierta ventaja por su bajo costo, rapidez y facilidad de uso en comparación con las otras técnicas (Huck *et al.* 2005; Rubayiza y Meurens 2005; Tapp *et al.* 2003; Kemsley *et al.* 1995). Particularmente, la NIRS permite identificar y medir compuestos gaseosos, líquidos y algunos sólidos (Parker 1991). Los compuestos expuestos a radiación infrarroja de amplio espectro, especialmente los orgánicos, absorben la radiación incidente cuando esta coincide con la energía requerida para hacer excitar o vibrar átomos en las moléculas. Estas múltiples vibraciones producen un espectro de absorción altamente complejo, que es característico únicamente de los grupos funcionales que abarcan la molécula y la configuración total de los átomos. De tal forma que el espectro infrarrojo de un compuesto orgánico proporciona generalmente una única "huella digital" distinguible de los espectros del resto de los compuestos (Soares 1998).

### **2.3 Condiciones óptimas para el cultivo del café**

Los factores que determinan las condiciones óptimas y le permiten a un cafetal producir de manera sostenida son: a) cantidad, calidad y duración de la luz solar; b) temperatura del ambiente, del suelo y de las hojas del cafeto; c) humedad relativa del ambiente y del suelo; y d) relación entre la duración del día y la noche (el cafeto es una planta de día corto). Estos factores afectan la eficiencia fotosintética de la planta, dando como resultado otras reacciones en la planta, tales como: inducción y formación de botones florales, apertura y cierre de estomas de acuerdo a las condiciones prevalecientes y transpiración de los cafetos (García y Straube 1998).

La cantidad de luz se refiere a la mayor o menor intensidad de luz y la calidad de luz a los rayos ultravioletas e infrarrojos que son invisibles. Con poca intensidad, hay poca apertura de las estomas de las hojas y baja actividad fotosintética. Esto produce consecuentemente una reducción de la producción de carbohidratos en la planta. A medida que la luz solar aumenta, se intensifican y mejoran las funciones metabólicas del cafeto. La mayor apertura de las estomas aumenta la fotosíntesis. Sin embargo, si la intensidad de la luz aumenta demasiado, hay funciones que se vuelven negativas; las estomas se cierran, la fotosíntesis disminuye, y la temperatura de las hojas aumenta considerablemente, con la consecuente disminución de la oferta de carbohidratos (García y Straube 1998).

El rango de temperatura optima para *C. arabica* está entre 15-24 °C. Por encima de los 25 °C la tasa fotosintética es reducida y las hojas son dañadas por la continua exposición a altas temperaturas (encima de 30 °C). Bajo la luz directa, la temperatura de las hojas puede ser más alta que la del ambiente; desarrollando síntomas de clorosis (Willson 1985) o encarrugamiento y flacidez (García y Straube 1998). Al respecto, Siles y Vaast (2002) mencionan que el principal factor limitante de la fotosíntesis bajo condiciones subóptimas de cafetos a pleno sol son las altas temperaturas.

El cafeto necesita precipitaciones bien distribuidas en el año entre 1400 – 2000 mm. La humedad atmosférica es un factor importante en la determinación de perdidas de humedad por evapotranspiración. Mayor humedad atmosférica puede reducir las perdidas de agua y viceversa. El nivel de humedad durante el verano es muy importante, puesto que humedades altas reducen el estrés de los cafetos (Willson 1985). La nubosidad es un factor importante en la determinación de la humedad y temperatura. La nubosidad comúnmente resulta en un incremento de la humedad y disminución de la temperatura, lo que puede ser muy ventajoso durante periodos secos (Willson 1985). Vaast *et al.* (2005a), Cleves y Astúa (1998) y Huerta (1962) mencionan los granos pequeños y granos con defectos (granos triangulares, elefantes, caracoles y vanos) pueden deberse a insuficiencia de lluvia durante el período de formación y llenado del fruto.

Vientos excesivamente fuertes pueden causar daños físicos a los cafetos. Aunque en la mayoría de los casos, la velocidad del viento no rompe los tallos y ramas, este puede incrementar la perdida de agua por la evapotranspiración y crear un estrés por déficit de humedad en los cafetos. Si vientos fríos se alternan con calidos pueden crear problemas con enfermedades. En cambio, la exposición del cafeto a vientos calientes puede provocar marchitamiento y muerte de las hojas. En cualquiera de los casos, exposición a vientos fríos o calidos, el crecimiento vegetativo y rendimiento del café son reducidos. Por ello, una buena medida de mitigación es la implementación de sistemas agroforestales como: cortinas rompevientos y árboles en el cafetal (Willson 1985).

### ***2.3.1 Factores que influyen la calidad del café***

#### **2.3.1.1 Genotipo**

El genotipo de la planta de café determina las características de tamaño, forma y color de los granos, su composición química y las propiedades organolépticas de la bebida (Wintgens 2004, Cleves 1998b; Santoyo *et al.* 1996).

Además de las diferencias interespecíficas en la calidad del café (CCI 1992; van der Vossen 1985) se ha afirmado que las variedades de *C. arabica* también presentan variaciones en calidad tanto física como organoléptica (van der Vossen 1985). Sin embargo, de manera general se ha consensuado que no hay diferencias marcadas de calidad entre cafés arábigos que se desarrollen bajo condiciones similares (Puerta 1998, Santoyo *et al.* 1996).

#### ***Variedad Caturra***

La variedad Caturra es una mutación de la variedad Bourbon, descubierta en el estado de Minas Gerais, Brasil, a principios de este siglo (Sáenz 1990). Se caracteriza por ser una planta de porte bajo, eje principal grueso poco ramificado, con ramas secundarias abundantes y entrenudos cortos. La forma de Caturra es ligeramente angular, compacta y con buen vigor vegetativo. Es una variedad de alta producción (hasta 5 kg granos por cafeto) y buena calidad. Requiere buen manejo cultural y alta fertilización, en caso contrario puede agotarse rápidamente, lo cual es más acentuado bajo condiciones limitantes de suelo y clima (Vásquez *et al.* 1998; Sáenz 1990; Villaseñor 1987).

#### **2.3.1.2 Altitud**

El efecto de altitud sobre la calidad física y organoléptica del grano de café ha sido demostrado en diferentes ocasiones. El incremento altitudinal es acompañado de una mejora en la calidad física y organoléptica del café (Vaast y Bertrand 2005, Vaast *et al.* 2005a, Figueroa *et al.* 2000, Buenaventura y Castaño 2002, Salazar *et al.* 2000, Jaramillo y Guzmán 1984). El café cultivado a mayor altitud suele desarrollar más atributos positivos, tales como acidez y aroma, definiendo así un mejor sabor y calidad de bebida (Cuadro 4) (Vaast *et al.* 2005a; Cleves 1998b; CCI. 1992).

Cuadro 4. Estudios en la region que han reportado efectos positivos de la altitud sobre el tamaño de grano y calidad organoleptica.

Autor	País	Tamaño	Aroma	Cuerpo	Acidez	Amargo	Preferencia
Vaast y Bertrand 2005	CR	700-1180 <sup>1</sup> 900-1300	-	-	900-1400	-	900-1400
Avelino <i>et al.</i> 2005	CR	-	-	1550-1780	1020-1250 1550-1780	-	1020-1250 1550-1780
Vaast <i>et al.</i> 2004	NIC	----- 400 – 1140 -----					
Decazy <i>et al.</i> 2003	HON	-	>1000	>1000	>1000	>1000	-
Figuroa <i>et al.</i> 2000	GUA	----- De menos de 1220 a más 1460-----				-	-
Buenaventura y Castaño 2002	COL	-	1050-1250	-----1050-1650-----		-	1050-1450

<sup>1</sup> altitud (msnm).

CR = Costa Rica, NIC = Nicaragua, HON = Honduras, GUA = Guatemala, COL = Colombia.

La mejora de altitud sobre características físicas del grano son diversas; color de grano verde-gris-azulado, mayor tamaño y densidad, ranura irregular y cerrada, axial como una reducción en el contenido de granos defectuosos. Cafés cultivados a poca altitud presentan colores de grano verde pálido, con ranura abierta y regular, y con menor densidad (Vaast *et al.* 2005a; Santoyo *et al.* 1996).

Gran parte de la influencia benéfica de la altitud en la determinación de la calidad del café es atribuida a los cambios en temperatura y humedad que se producen al ascender altitudinalmente. Altitud y temperatura presentan correlaciones negativas entre sí, donde por cada 100 m que se asciendan verticalmente se disminuyen entre 0.5 - 0.6 °C (Wintgens 2004, Gliessman 2002). Esta reducción en la temperatura se debe a la disminución en el grosor de la atmósfera conforme se asciende altitudinalmente; esto provoca mayor pérdida de calor por la reirradiación que ocurre durante la noche. Además, niveles de nubosidad considerables durante el día en zonas con mayores altitudes producen una disminución adicional en el aprovechamiento de la radiación (Gliessman 2002).

La disminución en la temperatura favorece un alargamiento en el proceso de maduración de la cereza, que a su vez propicia un mejor llenado de grano y consecuente producción de granos de mayor peso y con mejor calidad de bebida (Vaast *et al.* 2005b; Wintgens 2004; Alarcón *et al.* 1996; Jaramillo y Guzmán 1984).

Por otro lado, por efecto de la latitud, condiciones de temperatura, precipitación, humedad relativa e insolación muy similares a las de más de 1200 msnm de Costa Rica pueden ocurrir en regiones de 800 msnm, pero en lugares situados mucho más hacia el norte en algunas regiones de México (Santoyo *et al.* 1996). En este sentido, Vaast *et al.* (2003) reportó café de mejor calidad en el Departamento de Boaco (Zona Central de Nicaragua), que en el Departamento de Managua (Zona del Pacífico) a pesar de que ambos departamentos presentan altitudes similares, aduciendo esta diferencia en la calidad a los mayores regímenes de lluvia que presenta la Zona Central.

## Manejo Agronómico y post cosecha

### 2.3.1.3 Suelo y fertilización

Si bien, la textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo son aspectos que están directamente relacionados con el rendimiento del café producido; restricciones en estos aspectos también pueden afectar la calidad del café (Santoyo *et al.* 1996). En el caso particular de la textura, se ha encontrado que suelos arcillosos provocan significativamente más defectos en los granos que los suelos con mejor textura (Vaast *et al.* 2003).

Por otro lado, deficiencias nutricionales de macro elementos como el nitrógeno y potasio (Santoyo *et al.* 1996) u oligoelementos como el boro, cloro, molibdeno, hierro, entre otros, (Bornemiza 1988) tienen efectos negativos directos sobre la calidad del café (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de problemas nutricionales del suelo sobre la calidad del café.

Elemento	Estado	Síntomas
Boro <sup>1</sup>	-	Granos vanos
Hierro en suelo alcalino <sup>2,3</sup>	-	Grano suave de coloración ámbar y baja calidad taza
Zinc <sup>3,4</sup>	-	Reduce tamaño y densidad/Granos color grisáceo con pobre licor
Nitrogeno <sup>3</sup>	+	Mayor producción. Reduce densidad y calidad de grano
Ca y K <sup>3</sup>	+	Bebida amarga y áspera
Mg <sup>3</sup>	-	Granos de color marrón y de pobre características de tostado

Fuente: <sup>1</sup> Bornemiza 1988, <sup>2</sup> Santoyo *et al.* 1996, <sup>3</sup> Wintgens 2004, <sup>4</sup> Snoeck y Lambot 2004

- Déficit, + Exceso



#### 2.3.1.4 Sombra

El café, por tener su origen en el bosque sombrío de la selva tropical africana, es una especie que crece bien bajo sombra (Eskes y Leroy 2004; ANACAFE 1999). La luz solar influye significativamente sobre la diferenciación de las yemas florales durante los meses de noviembre a enero, y sobre la floración, de enero a mayo. También afecta el crecimiento y formación del fruto, así como el desarrollo vegetativo de la planta (García y Straube 1998).

Una de las razones fundamentales para el cultivo del café bajo sombra es propiciar el microclima óptimo, que provea la cantidad y calidad de luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis, así como las condiciones adecuadas de temperatura y humedad del ambiente (Siles y Vaast 2002; Siles 2001; ANACAFE 1999; Zuluaga 1990). En este sentido, la sombra filtra y modifica la calidad de la luz que reciben los cafetos (Vaast *et al.* 2005c). Siles (2001), encontró que los árboles de sombra tienen una influencia significativa en las variables micro climáticas tales como la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), temperatura foliar y del aire. La RAFA a nivel de hojas se redujo en un 55 % por acción de *Eucalyptus degluta* y un 36 % por *Terminalia ivorensis* con respecto a pleno sol. La temperatura foliar y del aire son 1.4 y 2.8 °C menor bajo *E. degluta* y *T. ivorensis* respectivamente, comparado con pleno sol.

Por otro lado, la sombra ejerce un efecto negativo sobre el rendimiento del café, puesto que reduce producción de grano en comparación con cafetos a pleno sol. Cafetales situados en condiciones óptimas para el café, Vaast *et al.* (2005b) menciona reducciones del 18 % en el rendimiento del café bajo sombra en comparación a café cultivado a pleno sol. Aduciendo este fenómeno a entrenudos más largos, menos nudos fructificados y baja inducción floral, como respuesta a la menor exposición lumínica ejercida por la sombra.

Muschler (2001) encontró una mejora substancial de la calidad del café bajo sombra en condiciones ambientales subóptimas; donde las plantas de café se encontraban bajo estrés. Los principales beneficios de la sombra fueron: mayor peso de la cereza, mayor tamaño, mayores tazas de acidez y cuerpo. En estudios similares también se encontró que la producción de café bajo sombra favoreció la formación de frutos de mayor peso y tamaño (Salazar 1999; Alarcón *et al.* 1996). Esto se debe a que bajo condiciones de sombra la pulpa madura más lentamente por la menor temperatura producida por el bosque, logrando de esta manera un mejor llenado

de grano, favoreciendo la formación de granos grandes con mayor acidez, cuerpo y aroma (Vaast et al. 2005b y c; Santoyo *et al.* 1996). Por otro lado, la planta de café necesitará menores niveles de sombra cuando esta se encuentre bajo condiciones de baja temperatura, mayor humedad relativa, menor exposición a la luz solar y alta fertilidad natural del suelo, condiciones óptimas (Muschler 2001; García y Straube 1998).

En cambio, la producción intensiva de café a pleno sol produce un fenómeno de sobrecarga del cafeto. Puesto que el café no dispone de un mecanismo de descarte de frutos que sobrepasen su capacidad de sustento, se produce competencia por nutrientes y agua, maduración precoz de los granos, y consecuente una disminución en el tamaño y calidad organoléptica del café (Vaast *et al.* 2005a y b, Santoyo *et al.* 1996; Wintgens 1992). Es aquí donde la sombra ejerce un efecto positivo sobre el desarrollo de los granos al permitir completar el periodo de maduración, produciendo granos de mayor tamaño y con mejor calidad de taza (Vaast *et al.* 2005b).

#### **2.3.1.5 Cosecha**

Cafés que presenten buena calidad inherente, pueden estropearse por una cosecha y un tratamiento primario incorrectos (proceso de beneficiado) (Vaast *et al.* 2005; CCI 1992). Por ello, la cosecha es la operación agronómica más problemática del café y que demanda mucha mano de obra durante un corto tiempo. Se recomienda cortar solo las cerezas que estén en su punto óptimo de madurez (Puerta 2000 b; ANACAFE 1999; CCI 1992; Wintgens 1992; Mitchell 1988).

Durante la fase final de la maduración ocurren transformaciones en el exterior (pulpa) e interior (grano) de los frutos. En el exterior se inicia la degradación de la clorofila, síntesis de pigmentos (carotenoides, antocianinas, etc.). En el interior sucede la reducción de compuestos fenólicos y consecuente disminución de la astringencia, y aumento de los compuestos volátiles (ésteres, aldehídos, cetonas y alcoholes). Estos compuestos son responsables del aroma: características de los frutos maduros. Por ello, solo los frutos que alcanzan su plena madurez, llegan a su punto óptimo de calidad. (Wintgens 1992; Zuluaga 1990).

Tras la maduración total, los frutos entran en una fase de degradación. En esta fase intervienen las enzimas que favorecen la fermentación, producción de alcoholes y ácidos indeseables, destrucción de la parénquima, ruptura de la estructura de la pared celular debido a modificaciones de las proteínas, celulosas, hemicelulosas y ligninas, oscurecimiento de la pulpa debido a oxidaciones de pigmentos y pudrición. Consecuentemente, la calidad de los frutos tiende a degradarse. Por ello, la cereza madura luego de ser cosechada debe ser procesada lo más rápidamente posible (Wintgens 1992; Zuluaga 1990). También, se debe evitar la mezcla de cerezas maduras con cerezas inmaduras, muy maduras y negras en el proceso de beneficiado, puesto que esta práctica deteriora la calidad del café (Puerta 1999).

Las cerezas muy maduras de color rojo vino (sobre maduras) producen una bebida afrutada e incluso con sabor a levadura o vinoso. Las cerezas negras secadas en el cafeto producen una bebida con sabor a madera (Wintgens 1992; Zuluaga 1990). Con respecto a las cerezas inmaduras, Puerta (2000b) menciona que mezclas de frutos maduros con contenidos mayores a 2.5 % de frutos verdes producen un deterioro de la calidad de bebida y rendimiento del café. Las cerezas inmaduras (verdes o pintonas) producen un grano descolorido y una bebida con sabor y olor a fermento (Puerta 2000), así como áspera, picante (Wintgens 1992; Zuluaga 1990).

La intensidad y rapidez de la alteración tras la madurez están relacionadas con las condiciones climáticas en que se desarrolla el cultivo. Por ejemplo, en zonas húmedas, los frutos deben ser tratados rápidamente después de la cosecha para evitar daños en la calidad (Wintgens 1992).

#### **2.3.1.6 Tratamiento Post Cosecha**

Luego de la cosecha, el producto más importante a obtener de las cerezas cosechadas es el grano de café verde (oro). Esto se logra a través de un proceso complejo que permite retirar las capas que recubren el grano (pulpa, mucílago y cascarilla) procurando el menor daño posible al producto final, el grano de café verde (Clarke 1985a). Este proceso es generalmente llamado Beneficiado (Zuluaga 1990). En el mundo existen dos tipos de beneficiado, el Beneficiado Seco (Café Natural) y el Beneficiado Húmedo (Café Lavado) (Clarke 1985a).

Los granos de café procesados por el beneficio húmedo producen una bebida de café de calidad y con ausencia de sabores negativos en comparación con el beneficiado seco (Puerta 1999). Nicaragua al igual que la mayoría de los países latinoamericanos productores de café utiliza el beneficiado húmedo (CCI 1992). A continuación se describirán las diferentes etapas del beneficiado húmedo:

### **Despulpado**

El despulpado consiste en remover el epicarpio y parte del mesocarpio (pulpa) del fruto, con el fin repropiciar una aceleración del proceso de descomposición del mucílago y evitar el manchado del café pergamino por dispersión de los pigmentos antocianicos presentes en el epicarpio del fruto (Zuluaga 1990). El despulpado del café maduro debe hacerse durante las primeras 8 horas luego de la cosecha. Este proceso se realiza a través del uso de una “despulpadora” con el objetivo de eliminar la pulpa de la cereza y dejar el grano al descubierto. En este proceso, pueden producirse algunos daños mecánicos (granos mordidos y aplastados) en el grano, que originan una serie de reacciones químicas y enzimáticas que deterioran la calida del café (ANACAFE 1999; Wintgens 1992).

Existen dos tipos de maquinas para despulpe, con tambor y de disco. Una despulpadora de tambor consiste de un tambor rotatorio provista de una lamina electrocobreada con agujeros resaltados en su superficie. La forma y modelo varía según el tipo de café (CCI 1992). Nicaragua prevalecen las despulpadoras de tambor en la mayoría de las fincas cafetaleras, sean de grandes o pequeños productores.

### **Fermentación**

La fermentación consiste en depositar el café despulpado en pilas de fermentación con el objetivo de eliminar el mucílago que quedó adherido al pergamino (Zarco 2003; Clarke 1985a). La duración de esta operación depende de las temperaturas ambientales, altura de la masa de café, estado de madurez del fruto y microorganismos presentes. Por lo general, este proceso dura entre 12- 48 horas (ANACAFE 1999). En este tiempo ocurren reacciones bioquímicas que degradan el mucílago, favoreciendo la remoción de este durante el proceso de lavado (Zarco 2003).

Cuando la fermentación es muy prolongada, la infección por los microorganismos de la masa se vuelve muy importante y la calidad empieza a deteriorarse debido a la deformación de compuestos indeseables como ácido propionico y butílicos (Wintgens 1992). Los daños se reflejan en la aparición de granos descoloridos y en el sabor de la bebida. La gravedad del daño depende del tiempo de sobré fermentación, lo cual determina la aparición de granos con olores y sabores indeseables (off-flavours) tales como: cebolla (ácido propionico), agrio (vinoso), fermento (ácido acético), queso y podrido (hediondo) (Wintgens 1992).

Existen otros métodos además de la fermentación para eliminar el mucílago: métodos mecánicos (desmucilaginosos), químicos (hidróxidos de sodio) o biológicos (enzimas) (Wintgens 1992). Aparentemente los métodos utilizados no influyen mucho en la calidad final del café, excepto la fermentación húmeda (bajo agua) que presenta una pequeña ventaja en cuanto al sabor ya que permite la exosmosis de ciertos compuestos amargos (Wintgens 1992).

### **Lavado**

El lavado consiste en la inmersión y paso de los granos por una corriente de agua limpia, con el fin de eliminar los productos que resultan de la degradación del mucílago en la fase de fermentación (ANACAFE 1999).

Si la fermentación es incompleta, quedan restos de mucílago sobretodo dentro de la hendidura del pergamino donde continúa la descomposición generando el defecto “fermentado”. Estos restos también sirven como sustrato para el desarrollo de microorganismos durante el almacenamiento, produciendo café con el pergamino manchado y con sabor y olor a moho denominado café sucio (Wintgens 1992).

El café lavado o pergamino húmedo debe pasar de inmediato a la etapa de secado. Se debe evitar almacenar el pergamino húmedo o retardar el paso al proceso de secado. Este tipo de retraso produce efectos negativos sobre la calidad de la bebida. Los principales efectos negativos observados son sabor a tierra y fermento, cuerpo sucio, amargo intenso y poca acidez de la bebida (Puerta 1999)

## **Secado**

El secado consiste en bajar el contenido de humedad presente (55 % aproximadamente) en el pergamino húmedo de café hasta 12 % (ANACAFE 1999). Esto con el fin de asegurar la conservación, impidiendo el desarrollo de hongos, mohos y bacterias durante el almacenamiento (Zarco 2003; Wintgens 1992). La determinación de la humedad durante y al final del secado puede hacerse manualmente o con medidores de humedad (Clarke 1985a).

Existen dos formas de secado, a pleno sol o en secadores mecánicos con cámaras de combustión (ANACAFE 1999) o una combinación de ambos (Clarke 1985a). En el secado a pleno sol se debe evitar temperaturas superiores a 49 °C (*C. arabica* L.) para evitar la ruptura del pergamino protector o cambios en la composición química del grano. Debido a que los granos de café secos son muy higroscópicos, durante el secado el café debe ser protegido de la lluvia. La rehidratación de granos secos produce cambios de color y pérdida de calidad en la bebida (Wintgens 1992).

## **La trilla**

La trilla consiste en eliminar la cascarilla del pergamino seco y así obtener el café verde o café oro (Clarke 1985a). Luego se clasifican los granos de café verde por tamaño y densidad. Además se separan los granos defectuosos y se elimina toda materia extraña. Finalmente se ensaca (Wintgens 1992).

## **Tostado**

La calidad del café es muy influenciada por el proceso de tostado (CCI 1992). El tostado es un proceso que depende del tiempo y temperatura. En este proceso, suceden una serie de cambios en el café verde, tales como pérdida de materia seca, principalmente como dióxido de carbono y otros compuestos volátiles productos de la pirolisis (Clarke 1985b).

El grado de tostado es valorado cualitativamente por el color, resultando en una simple categorización de ligero, medio y oscuro (Clarke 1985b). En general, los tostados oscuros tienden a realzar el cuerpo y disminuir los atributos del sabor (CCI 1992). Tostados ligeros o claros realzan la acidez pero producen una bebida más ligera. Los tostados claros son más útiles para definir la calidad de un café por un experto catador (CCI 1992).

Como es de esperarse, el nivel de tostado puede asociarse con el porcentaje de pérdida de materia seca por el grano de café verde; en general un tostado oscuro significa una pérdida del 8 – 14 % de peso seco, un tostado medio un 5 – 8 % y un tostado ligero un 3 – 5 %. De igual manera se puede asociar, la pérdida de compuestos volátiles y no volátiles al nivel de tostado (Clarke 1985b). Como se mencionó en secciones anteriores (Ver acápite 2.2.5) el ácido clorogénico y trigonelina son destruidos total o parcialmente según la intensidad del tostado (Bertrand *et al.* 2003; Clifford 2000; Clifford 1999; Clarke 1985b, Clifford 1985, Taguchi *et al.* 1985).

Otros cambios físicos producidos por el tostado son la expansión, el reventado y una considerable disminución de la densidad del grano, todo ello como una función de la intensidad y velocidad de tostado (Clarke 1985b).

## **2.4 Calidades de café en el Mercado Internacional y en Nicaragua**

La calidad del café en el mercado internacional se define por la naturaleza y textura de los granos. Las especies de café más importantes comercialmente son *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora*, llamados normalmente como Arábigos y Robustas, respectivamente. Las variedades de café de la especie *C. arabica* presentan mejores cualidades organolépticas, bebida suave con buenas características de aroma y acidez, cuerpo mediano y exquisito sabor. Por ello, obtienen los mejores precios en el mercado internacional en comparación con los *C. canephora* que presentan una bebida más amarga, con menor acidez y aroma (IICA 2003).

El mercado internacional ha definido cuatro grandes grupos en función de su calidad y precios (IICA 2003):

1. Suaves Colombianos
2. Otros suaves
3. Arábigos brasileños y otros arábigos
4. Robustas

Los primeros tres corresponden a *C. arabica* L. y en su conjunto abarcan más del 70 % del mercado internacional (CCI 1992).

El café de la región Centroamérica se clasifica dentro del grupo de *Otros Suaves* (IICA 2003; 1992). Centroamérica, al clasificar sus cafés suele referirse a la altitud en la que se cultivaron. Esto se debe a que el café de altura, y por ende de clima más fríos, suelen desarrollar características organolépticas muy finas (CCI 1992).

Nicaragua, refleja este principio en su “Norma Técnica de Café Verde” (MIFIC 1999). Dicha clasificación básicamente discrimina el café por su altitud y origen, puesto que en términos generales el café de mejor calidad proviene de la Región Norcentral del País, zona que presenta las mayores áreas de café de altura. El CETREX (2004) reporta que los tipos Maragogype, SHB y SHG representaron el 89.2 % de las exportaciones de café verde para las cosechas 2003/2004 y 2004/2005.

La categoría Maragogype es una clase de cafés lavados Matagalpa – Jinotega de altura variable, de buen color, dulce con fragancia, color verde claro uniforme, ranura bastante recta, buena consistencia, tamaño tamiz No. 19 – 20, con un premio en calidad, sabor ácido, sin ningún daño y con buen cuerpo (IICA 2003; MIFIC 1999). La Variedad Maragogype es una mutación de la variedad Típica que apareció por primera vez en Brasil (Eskes y Leroy 2004).

Cuadro 6. Clasificación del café verde exportable nicaragüense según características físicas y organolépticas.

Categoría	Física <sup>1</sup>	Organoléptica
<b>Maragogype</b> <i>Lavado Matagalpa/Jinotega</i>	Verde Claro Tamiz: ≥19 (90 %) <19 (10%)	Buen: gusto acidez, aroma, cuerpo mediano. Libre de daño
<b>Tipo Grano Estrictamente Duro (SHB)</b> <i>Lavado Matagalpa/Jinotega</i>	Verde azul Tamiz ≥ 16 (90%) <16 (10%)	Muy buen gusto y aroma, buena acidez y cuerpo. Libre de daño
<b>Tipo Estrictamente de Altura (SHG)</b> <i>Lavado Matagalpa/Jinotega</i>	Verde azul Tamiz: 16-18 (60%) 15 (25%) 14 (5%) Caracol/triangulo(10%)	Buen: gusto, aroma, acidez, cuerpo y libre de daño.
<b>Tipo Lavado Nicaragua (GW)</b> <i>Zona Pacifico (450-750 msnm)</i>	Verde claro Tamiz: 16-18 (60%) 15 (25%) 14(5%) Caracol/triangulo(10%)	Regular: gusto, acidez, cuerpo y aroma
<b>Caracol (100%)</b>	100 % Caracol	-
<b>Imperfectos (B-D)</b> Se divide en 11 subcategorías en función del nivel de daño y defectos	Tipos de daños y defectos: mohoso, fermento, terroso, granos mordidos, granos negros, granos secos, entre otros.	

<sup>1</sup> Color y tamaño. Fuente: MIFIC 1999



La categoría Strictly Hard Bean (SHB) o estrictamente duro es un café Lavado Matagalpa – Jinotega. Color verde azul, con tamaño tamiz No. 18 – 20, ranura bien cerrada, tostado de grano completo rugoso con coloración oscura y tueste homogéneo. Presenta aroma agradable, fragante, dulzón, penetrante y limpio, es el café más pronunciado en cuerpo y acidez (IICA 2003; MIFIC 199) (Cuadro 6).

La calidad Strictly High Grown (SHG) o estrictamente de altura es otra categoría de los cafés Lavados Matagalpa – Jinotega de la región norte del país. Presentan buen color (verde claro homogéneo), grano duro, tamaño tamiz No. 15 – 16, con menos del 10 % de granos caracol y triángulos. Bebida con buen sabor y cuerpo, acidez balanceada y limpia de daños (IICA 2003; MIFIC 1999).

La café calidad Good Washed (WG) o Lavado Nicaragua presenta un color verde claro un poco pálido, ranura bastante recta y abierta. El tostado es liso, claro, heterogéneo y rápido punto a tueste. Tamaño de tamiz No. 14 – 15. La bebida presenta un aroma tenue (regular), limpio, cuerpo y acidez muy suaves (IICA 2003; MIFIC 1999).

En los últimos años Nicaragua ha venido ganando prestigio en el mercado internacional del café. Esto ha sido fruto de una serie de iniciativas que han tenido como objetivo principal mostrar al mundo la excelente calidad del café nicaragüense (Wallengren 2005; Cuchet 2004; Kuhl 2004; MAGFOR 2004; León 2004; IICA 2003).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Zona de estudio

Los datos fueron colectados en la zona cafetalera del Norte de Nicaragua, en municipios de los Departamentos de Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y Región Autónoma del Atlántico Norte (Figura 1).

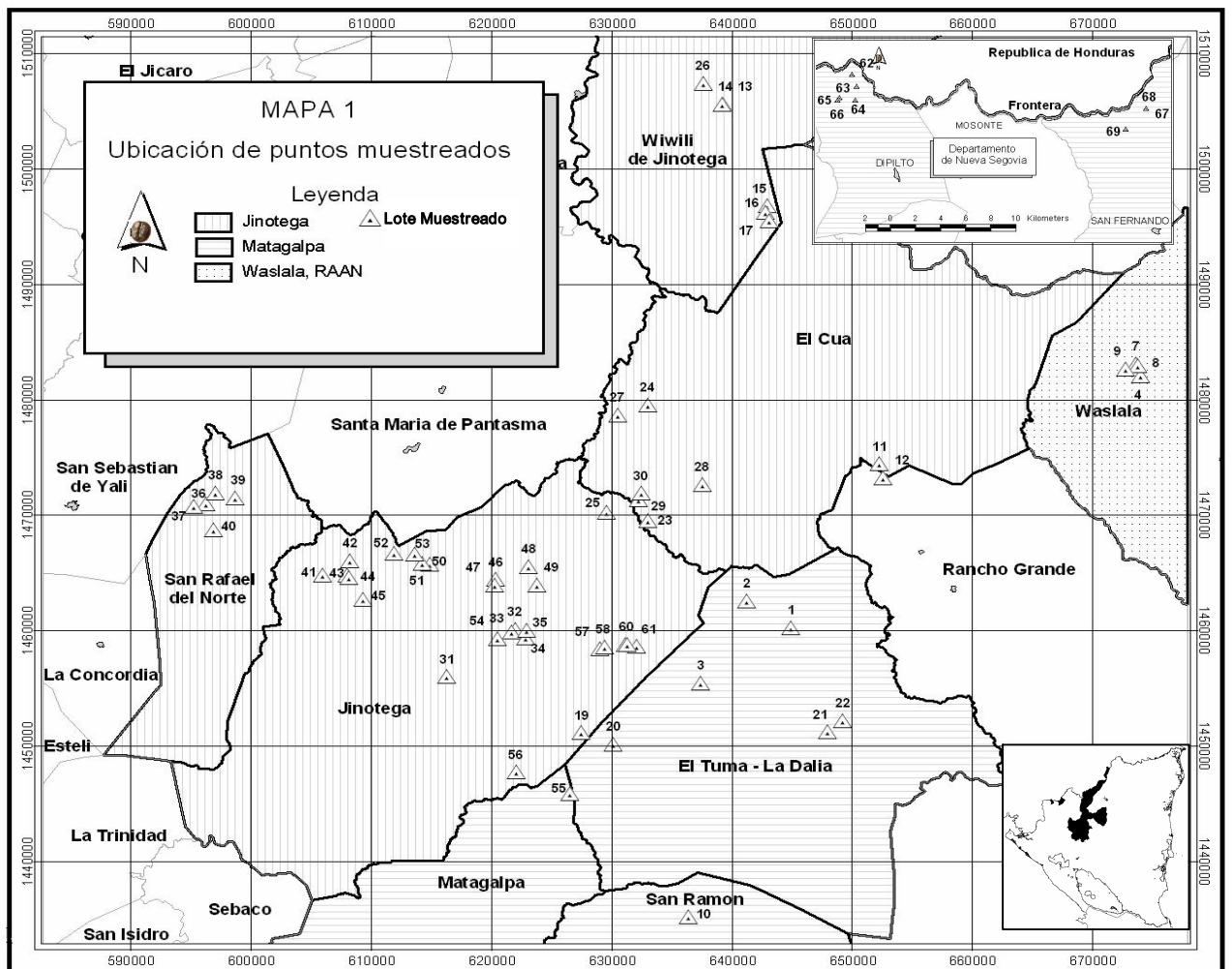


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la Zona Norte de Nicaragua.

Los municipios del área de estudio se encuentra localizada dentro de la Región Ecológica II (Sector Norcentral), que en términos generales, con algunas excepciones, es la región más templada del país con temperaturas promedio anuales menores a 24 °C.

En general, el clima de la zona es muy variado debido a la orientación y proyección ortográfica. La pluviosidad aumenta de occidente a oriente. Atendiendo la temperatura en función de la altitud, se considera tres zonas principales: Zonas Calientes de 50 – 500 msnm, Zonas Templadas de 501 – 1000 msnm y Zonas Frías de 1001 – 2107 msnm. La temperatura varía notablemente de las Zonas Bajas, en llanos, planicies y valles, con promedios de anuales mayores a 26°C, hasta las cumbres mas elevadas en Zonas Frías, con promedios anuales de 18 °C (Salas 1993).

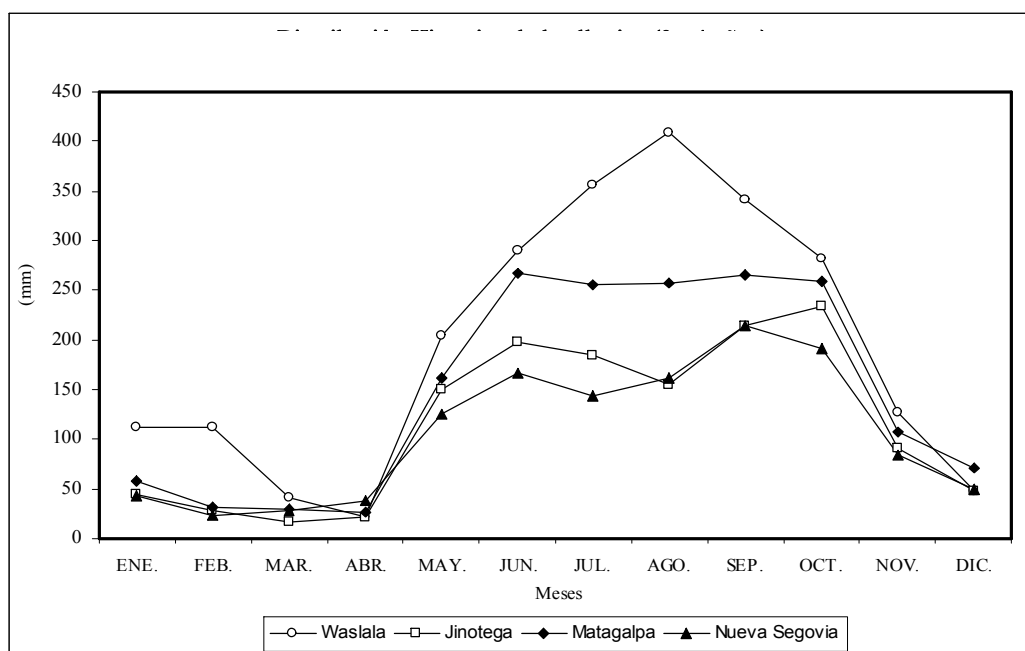


Figura 2. Distribución histórica de las precipitaciones en los departamentos de Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y municipio de Waslala, RAAN. Elaborado con datos de INETER 2005.

### 3.2 Variables en estudio

La obtención de datos en la fase de campo se dividió en dos etapas. La etapa I se consistió en la selección de lotes en fincas y colecta de la muestra de café para los análisis de contenidos de compuestos bioquímicos y análisis de calidad física y organoléptica del café. La etapa II consistió en la caracterización del sistema productivo y componente arbóreo en los lotes donde se tomó la muestra de café en la etapa I.

### ***3.2.1 Etapa I***

Se colectaron un total de 67 muestras de café. Las muestras de café se colectaron del 20 de noviembre y al 23 de diciembre del 2004, cosecha 2004/2005. Las muestras y datos fueron tomados en lotes o plantíos dentro de las fincas visitadas. La selección de lotes de café dentro de la finca se realizó en función de los factores en estudio. Se trató de seleccionar niveles contrastantes tanto para altitud, sombra y rendimiento.

La selección de los lotes se realizó en dos fases. La primera fase fue una selección de índole preliminar o preselección y se basó en información contenida en una base de datos con información de productores de café, y la segunda fase fue de carácter definitivo, esta realizó directamente en campo.

La base de datos pertenecía a la empresa privada Exportadora Atlantic, S.A. La empresa Atlantic S.A es la acopiadora y exportadora café verde más grande del país. La base de datos contenía información general de fincas de productores que venden su café a la exportadora y que se ubican en las zonas cafetaleras de Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y Waslala, entre otros. La preselección de fincas fue en función de los datos de altitud, variedad de café y logística (cercanía y accesibilidad), puesto que no se contaba con información precisa de los niveles de sombra y rendimiento por lotes.

*In situ*, se determinó si el lote o plantío cumplía con los requisitos planteados en la selección (variedad Caturra, altitud, existencia de suficiente café y sombra), de cumplir con los parámetros se procedió con el muestreo. Es importante mencionar que la cosecha 2004/2005 presentó un inicio de cosecha precoz tanto para cafetales en zonas bajas como altas. Por ello, al inicio del muestreo se trató de seleccionar lotes de café que se ubicaran en zonas bajas. Sin embargo, se encontró zonas donde la cosecha estaba avanzada y en otras ya había terminado.

#### **3.2.1.1 Obtención y beneficiado de las muestra de café**

Las muestras de café obtenidas fueron de la variedad Caturra. Se seleccionó la variedad Caturra por ser la variedad de café predominante en la zona (López *et al.* 2003; Vaast *et al.* 2003; Hagggar *et al.* 2001). Las muestras de café se obtuvieron en campo de dos formas, la primera fue tomar el café que ya había sido cosechado del lote por el productor; y segunda fue

cortar el café directamente de los cafetos en el lote. Se tomó en promedio muestras de 9 kg de café cereza. Se seleccionaron solamente cerezas maduras (rojas).

Inmediatamente después de la colecta de la muestra de café (cosecha), se inicio el proceso de beneficiado en húmedo con la fase de despulpe. El despulpe se realizó con una despulpadora manual de tambor (Marca Eterna no. 2) con que se contó durante toda la etapa. El café despulpado se introdujo en bolsas plásticas de polietileno que a su vez se depositaban en bandejas (panas) plásticas, esto con el objeto de brindar mejores condiciones para el proceso de fermentación. Las muestras de café fueron pesadas antes y después del despulpe.

Todas las muestras de café que se colectaban a diario eran entregadas al Beneficio Seco propiedad de la Exportadora Atlantic, S.A, en la Ciudad de Sebaco, Departamento de Matagalpa. Aquí las muestras continuaron el proceso de beneficiado hasta obtener el café pergamino seco. El pergamino seco se trilló en una maquina trilladora (marca Bending modelo 3703). El trillo se realizó hasta que se inició el análisis físico y organoléptico.

### **3.2.1.2 Determinación de la altitud**

La determinación de la altitud se realizó a través de un GPS modelo GARMIN 76 Marine Navigator. Esta variable se midió en metros sobre el nivel del mar (msnm). El punto donde se tomó la altitud fue en el área más representativa del lote con respecto a la altitud. Luego por medio de un programa de sistema de información geográfica, software Arcview v3.3, se cotejaron y validaron las altitudes utilizando las hojas topográficas de las regiones con curvas a nivel cada 20 m.

### **3.2.1.3 Determinación de la sombra**

La determinación del nivel de sombra se realizó por diferencia de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) dentro y fuera del lote. Las mediciones de RAFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ ) se realizaron con un Medidor de Quantum y un Data Logger (marca Li-Cor). Se inició con una medición fuera del lote, a cielo abierto, procurando alejarse de la influencia de árboles del lote o lotes aledaños. De inmediato, se tomaron mediciones dentro del lote siguiendo la orientación de los surcos con intervalos por medición de 10 m. A menos que cambiasen las condiciones del cielo (de nublado a soleado o viceversa), cada 10 mediciones dentro del lote se tomaba una

medición fuera del lote. Al cambiar las condiciones del cielo durante las mediciones dentro del lote inmediatamente se procedió a salir fuera del lote y hacer mediciones a cielo abierto, luego se continuó con las mediciones dentro del lote. En promedio se realizaron 30 mediciones por lote. Para el cálculo del nivel de sombra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Sombra (\%)} = \frac{\text{Promedio de RAFA cielo abierto} - \text{Promedio RAFA lote}}{\text{Promedio de RAFA cielo abierto}} \times 100$$

#### **3.2.1.4 Información general de la finca y lote muestreado**

Por medio de una encuesta, se determinó el área de la finca, área con café en la finca y área del lote muestreado. Así como también el rendimiento estimado por el productor en el lote debido a que la cosecha todavía no había terminado.

### ***3.2.2 Etapa II***

En esta etapa se desarrolló entre inicios de marzo y finales de mayo. Se regresó a todos los lotes visitados en la primera etapa para determinar de nuevo la sombra, así como la cobertura arbórea, densidad, riqueza y abundancia de especies de árboles dentro del lote.

#### **3.2.2.1 Radicación fotosintéticamente activa (RAFA)**

El procedimiento utilizado fue el mismo implementado en la primera etapa.

#### **3.2.2.2 Porcentaje de cobertura**

Para la medición de esta variable se utilizó un densímetro esférico Model-C con espejo cóncavo. Este mide el nivel de ocupación del cielo por parte del árbol. Las evaluaciones de cobertura se realizaron junto a las mediciones de la RAFA del acápite anterior. Por cada 4 mediciones de sombra (Medidor RAFA) se realizó una medición de cobertura. Por cada punto de medición de cobertura se realizaron 4 mediciones cubriendo los cuatro costados (al frente, derecha, izquierda y atrás). Por cada punto se sacó un promedio de las cuatro mediciones. Por cada lote se hizo un promedio de todas las mediciones. Luego el promedio del lote se

multiplicó por el factor 1.04 (este factor aparece en las instrucciones del Densiómetro) para obtener el porcentaje de cobertura del lote.

### **3.2.2.3 Densidad, riqueza, abundancia del componente arbóreo**

Se definió una parcela temporal (PT) de 32 m x 32 m (1024 m<sup>2</sup>) dentro de cada lote. La densidad de árboles se determinó a través de un conteo de todos árboles presentes en la PT. La riqueza se definió por conteo de las especies arbóreas presentes. La abundancia de las especies se determinó con el número de individuos presentes por especies en la PT. Para las tres variables solo se tomaron en cuenta árboles con tamaños mayores a los cafetos.

### **3.2.2.4 Información del manejo agronómico y rendimiento**

Por medio de una segunda encuesta, se definió en conjunto con el productor el rendimiento del lote (kg ha<sup>-1</sup>), así como las actividades de manejo realizadas en el lote en el año 2004. Se definió el número de aplicaciones y tipo de fertilizantes, control de malezas, plagas y enfermedades, densidades de siembra y cronograma de actividades.

## ***3.2.3 Análisis de Calidad del Café***

### **3.2.3.1 Calidad Física**

Seguido del proceso de beneficiado se realizó el análisis físico de las muestras de café. Este se llevo a cabo en el Laboratorio de Catación del Beneficio Seco en Sebaco, propiedad de la Exportadora Atlantic, S.A. Se determinó el contenido de humedad, porcentaje de defectos, granulometría y peso de 100 granos secos para todas las muestras de café.

El contenido de humedad del grano de café verde se determinó con un medidor de humedad MULTI-GRAIN (marca Dickey-John).

Determinación de defectos y granulometría. A partir de una submuestra de 350 g de café verde se determinó el porcentaje de defecto y el tamaño de grano. Se consideraron granos con defectos a granos con manchas, granos negros, mordidos y quebrados, brocados (mas de 2 perforaciones por grano) y granos quebrados por trillo. Luego, se pesó la cantidad de grano defectuoso y se calculo el porcentaje de granos con defectos.

La cantidad de café verde restante se pesó y luego se utilizó para el cálculo de la granulometría. Se utilizaron tamices de No. 14 a 20 (Cuadro 7). Si un grano de café verde no pasaba por el orificio de un tamiz se consideró del tamaño de dicho tamiz. La cantidad de café retenido por cada tamiz se pesó en una balanza electrónica (ACCULAB V-400). Se calculó el porcentaje de cada categoría de tamaño en relación a la muestra de café verde utilizada en la prueba granulométrica. De esta forma, se obtuvo el porcentaje de cada categoría de tamaño para cada muestra de café verde. Luego, se sumó el grano verde contenido en las categorías de tamices 16 a 20 y los tamices menores a 16 por cada muestra de café, esto con el objetivo de visualizar el porcentaje de granos grandes y pequeños. Luego, los porcentajes de tamaño de grano se ajustaron a una humedad del 12 %.

Cuadro 7. Diámetro de tamices.

No. de tamiz <sup>1</sup>	mm
20	0,79
19	0,75
18	0,71
17	0,67
16	0,64
15	0,6
14	0,56

<sup>1</sup> n/64<sup>4</sup>

### 3.2.3.2 Análisis bioquímico del café

El análisis de la composición bioquímica de las muestras de café se realizó en el laboratorio del CIRAD de Francia. Los análisis se hicieron por medio de la técnica de Espectrometría Reflectante Cercana al Infrarrojo (NIRS) (Modelo 6500 desarrollado por NIRS Systems Inc., Silver Spring, Md). Se utilizó una muestra de 50 g de café verde molido con partículas menores a 0.5 mm. El programa utilizado fue el NIRS2 (4.0) de Intrasoft Internacional, Port Matilda, PA. Los compuestos bioquímicos determinados fueron: materia grasa, sacarosa, ácidos clorogénicos, trigonelina y cafeína. Para el análisis NIRS y cataciones en Francia se enviaron 200 g de café verde por muestra.



### **3.2.3.3 Calidad Organoléptica (Taza)**

Se realizaron dos cataciones, una en el CIRAD en Francia y otra en el Laboratorio de Catación de Atlantic, S.A en Nicaragua.

#### ***Procedimiento de Catación en Nicaragua***

La catación en Nicaragua fue realizada el 25 y 26 de febrero del 2005.

Para el tostado se tomó 120 g de café verde por muestra. El tiempo de tostado fue de 8 – 10 minutos a una temperatura de 200 – 220 °C. El tostado se clasificó por los catadores como medio o regular. El café tostado fue molido en la maquina BUNN Model 07 en modalidad de molido fino (Drip).

Se agregó 12 g de café molido por taza. Se prepararon dos tazas por muestra. A cada taza se le agregó 100 ml de agua purificada a 93 – 95 °C de temperatura. Seguido se determinó el aroma. Después de la determinación del aroma, se agregaron 100 ml más de agua caliente a cada una de las tazas. Se espero por un lapso de 3 – 4 minutos y se realizó lo que los catadores llaman “limpieza de taza” que consiste en quitar con un par de cucharas la espuma que se forma en la superficie de la bebida. Luego se esperan otro par de minutos a que se asienten las partículas en suspensión y se inicia la determinación del cuerpo, acidez, sabor, amargo y preferencia, en ese orden para cada una de las muestras. La escala de evaluación de las características organolépticas fue de 1 a 10, donde 1 es el valor mínimo y 10 el máximo posible. Las cataciones se llevaron a cabo por los dos catadores principales de la empresa, el Sr. Milton Saavedra y el Sr. Pedro Pablo Pérez. Las cataciones se realizaron por mesas de 10 muestras, dos tazas por muestra. Cada catador dio su nota sobre cada una de las características mencionadas. La nota final utilizada para los análisis estadísticos es un promedio de las calificaciones dadas por los dos catadores.

#### ***Catación en CIRAD, Francia***

Se enviaron 200 g de café verde sin defectos por muestra para catación y análisis NIRS. Se tomaron 150 g de café verde para el análisis organoléptico. Cada muestra se tostó por 7 – 8 minutos a 220 °C en un tostador Probat BRZ2 (Probat, Emmerich Germany). Luego del tueste se procedió a moler el café. La bebida se preparó a partir de 12 g de café molido y 120 ml de agua por cada muestra por taza. Las cataciones se realizaron con un panel de 8 catadores a tres

tazas por cada muestra por sesión. Se utilizaron tres muestras de cafés de diferente origen como testigos. Las características determinadas en esta catación fueron intensidad de aroma, aroma, cuerpo, acidez, amargo, astringencia, preferencia, sabores a agrio, frutoso, fermentado, quemado, farmacéutico, áspero, verde, terroso, ríó y persistencia en la boca. Las cataciones de cada una de las muestras se repitieron tres veces (tres sesiones). Los valores finales son el promedio de las tres sesiones. La escala de evaluación fue de 1 – 5; donde 1 es el mínimo y 5 el máximo valor.

### 3.3 Análisis estadístico

Para la interpretación y análisis de la información se realizaron análisis exploratorios multivariados tales como Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Conglomerados (AC), y en algunos casos Análisis de Segmentación (ASM). Luego, la información se analizó por medio de análisis de Correlación de Pearson, Análisis Varianza y Covarianza, y separación de medias por la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ). Se definieron tres niveles para cada uno de los factores, altitud, sombra, rendimiento y fertilización (Cuadro 8).

Cuadro 8. Niveles de altitud, sombra, rendimiento y fertilización.

Niveles	Altitud (msnm)	Sombra (%)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilización (No. aplicaciones)
Bajo	630 – 850	0 – 25	287 – 762	0 – 1
Medio	880 – 1050	30 – 55	826 – 1525	2 – 3
Alto	1055 – 1350	60 – 85	1550 – 2605	> 3

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Descripción de los lotes de café en estudio por ubicación geográfica

Los lotes de café muestreados se ubicaron en fincas cafetaleras con características diversas. Los rangos oscilaron para altitud entre 630 – 1350 msnm. Las temperaturas y precipitaciones históricas se encuentran entre 16 – 26 °C año<sup>-1</sup> y 1200 – 2600 mm año<sup>-1</sup>. De manera general, los lotes de café ubicados geográficamente en los municipios El Cuá, El Tuma-La Dalia y Waslala se desarrollaron bajo condiciones climáticas menos favorables que los ubicados en los municipios de Matagalpa, Jinotega, Wiwili, San Rafael, Dipilto y San Fernando (Cuadro 9).

Cuadro 9. Condiciones climáticas históricas prevalecientes en los municipios de la zona de estudio.

<i>DEPARTAMENTO</i>	<i>n</i>	<i>Altitud (msnm)<sup>1</sup></i>	<i>Precipitación (mm/año)<sup>2</sup></i>	<i>Temperatura (°C/año)<sup>2</sup></i>	<i>Clasificación Zonal<sup>3</sup></i>
<i>Municipios</i>					
<b><i>NUEVA SEGOVIA</i></b>	<b><i>8</i></b>				
San Fernando	3	1296±92	1400	23 - 24	Fría
Dipilto	5	1145±72	1000 – 1200	23 - 24	Fría
<b><i>JINOTEGA</i></b>	<b><i>45</i></b>				
San Rafael	5	1055±67	1200 – 2000	21	Templada, Fría
Jinotega	25	1050±84	2000 – 2600	19 - 21	Templada, Fría
Cúa	8	744±107	1600 – 2000	24 - 25	Templada
Wiwilí	7	1052±64	1200 – 2000	24 - 25	Templada, Fría
<b><i>MATAGALPA</i></b>	<b><i>10</i></b>				
Matagalpa	2	1322 ±32	-	16 – 25	Fría
El Tuma - La Dalia	7	841±116	2000 – 2500	22 - 24	Templada
San Ramón	1	820	2000 – 2400	20 - 26	Templada
<b><i>RAAN</i></b>	<b><i>4</i></b>				
Waslala	4	856±57	1880 – 2600	23	Templada
<b>GLOBAL</b>	<b>67</b>	<b>1007</b>	<b>1000 – 2600</b>	<b>16 - 26</b>	

n = Número de muestras colectadas dentro de cada municipio. <sup>1</sup> Altitud de lotes de café muestreados. <sup>2</sup> Promedios históricos (Caracterizaciones Municipales 2000/INIFOM 2000). <sup>3</sup> Clasificación de zonal de temperatura en función de altitud para las condiciones prevalecientes encontradas en los lotes muestreados (Salas 1993).

Los lotes de café de los municipios de Waslala, El Cuá y El Tuma-La Dalia presentaron un periodo de cosecha más temprano que los demás municipios en estudio (Septiembre – Noviembre).

El tamaño promedio de finca fue de 80 ha (rango de 15 – 173 ha), de las cuales un 50 % de área esta dedicada al cultivo de café. Las fincas de menor tamaño se ubicaron principalmente en Waslala, seguido por Dipilto, Cuá y Wiwili. Los lotes de café bajo estudio presentaron un área promedio de 4 ha y una edad de plantación entre 6 – 11 años, encontrándose las plantaciones con mayor edad en Dipilto y Jinotega (Cuadro 10).

Cuadro 10. Características agronómicas promedios de los lotes de café en estudio.

DEPARTAMENTO	n	Áreas promedios (ha)			Edad (años)	Densidad Poblacional (cafetos ha <sup>-1</sup> )	Rend. <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Insumos <sup>2</sup> (No. aplicaciones)				T <sup>3</sup>
		Finca	Café	Lote				He	In	Fu	Fert.	
<b>NUEVA SEGOVIA</b>	<b>8</b>											
San Fernando	3	173	28	6	9	4460±904	2076±257	0	0	7	F3(3.3)	T2
Dipilto	5	41	39	6	11	5010±820	1120±310	0	1	1	F2(2.8)	T2
<b>JINOTEGA</b>	<b>45</b>											
San Rafael	5	95	43	4	7	4659±689	1360±511	1	0	1	F2(2.6)	T2
Jinotega	25	97	46	5	10	5194±866	1363±486	2	1	2	F3(4.3)	T3
Cuá	8	68	24	6	6	4721±1053	759±636	1	1	0	F1(1.1)	T1
Wiwili	7	66	20	4	8	3434±1392	736±595	0	0	0	F1(0.1)	T1
<b>MATAGALPA</b>	<b>10</b>											
Matagalpa	2	105	105	6	9	4270±1006	321±49	1	0	2	F2(2.5)	T2
El Tuma - La Dalia	7	129	72	4	8	5009±1042	1268±660	2	1	1	F3(3.4)	T3
San Ramón	1	15	13	1	10	3558	743	1	1	1	F2(3.0)	T2
<b>RAAN</b>	<b>4</b>											
Waslala	4	15	6	2	6	3736±681	539±234	1	0	1	F1(1)	T1
<b>Media</b>		80	40	4	8	4405±853	1028±225	1	1	1	-	-

<sup>1</sup> Rend = Rendimiento de grano verde (oro) para exportación cosecha 2004-2005. <sup>2</sup> Cosecha 2004-2005, He = Herbicida,

In = Insecticidas, Fu = Fungicidas, Fert. = Nivel de aplicaciones de fertilizantes (granular y foliar), donde el nivel F1= 0-1 aplicaciones, nivel F2= 2-3 aplicaciones y nivel F3 = >3 aplicaciones. Entre paréntesis la media del número de aplicaciones.

<sup>3</sup> T = Nivel tecnológico, donde T1 = Tecnología tradicional, T2 = Tecnología intermedia, T3 = Tecnologías alta (IICA 2003).

La densidad de plantación de cafetos osciló entre 3434 – 5194 plantas ha<sup>-1</sup>. Las menores densidades poblacionales se encontraron en Wiwili, Waslala, San Ramón y Matagalpa. Los rendimientos de café verde (oro) fueron muy variables. La producción varió entre 321 - 2076 kg ha<sup>-1</sup>, siendo los municipios de Matagalpa, Waslala, Wiwili y El Cuá los que presentaron los rendimientos más bajos (<800 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con los municipios de San Fernando, Jinotega y San Rafael (>1350 kg ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 10).

En lo referente al uso de insumos y nivel tecnológico. Los lotes de café ubicados en los municipios de El Cuá, Waslala y Wiwili se clasifican como Tecnología Tradicional (T1), los

lotes ubicados en Matagalpa, San Ramón, San Fernando y Dipilto como Tecnología Intermedia (T2) y los lotes de El Tuma-La Dalia y Jinotega como Tecnología Alta (T3). En este sentido, el nivel de aplicaciones de fertilizantes desarrollado en la presente investigación como una variable a utilizar para evaluar el efecto de la fertilización sobre la calidad del café coincide con los niveles tecnológicos desarrollados por el IICA (2003); por ello, el nivel de aplicaciones de fertilizantes podría servir como un indicador del efecto del nivel tecnológico sobre la calidad del café (Cuadro 10 y 11).

Cuadro 11. Descripción del factor fertilización (No. aplicaciones año<sup>-1</sup>).

Descriptor	F1			F2			F3		
Número de Lotes (n)	15			31			21		
Rango de aplicaciones (clasificación)	0 – 1			2 – 3			>3		
Aplicaciones promedio “AP” (por cada nivel)	0.4 (± 0.5) <sup>1</sup>			2.5 (± 0.5)			5.1 (± 1.2)		
Equivalencia al Nivel Tecnológico, IICA (2003)	T1			T2			T3		
Detalle de “AP”	NPK	Urea	Foliar	NPK	Urea	Foliar	NPK	Urea	Foliar
Partición de “AP”	0.2	0.07	0.13	1.3	0.6	0.6	2.0	1.2	1.9
Relación entre fertilizantes g planta <sup>-1</sup>	3	1	2	2.7	2.2	1	1.7	1	1.6
	14.2*	4.97	**	92.3	42.6	**	142	85.2	**

<sup>1</sup> Desviación estándar entre paréntesis. \* Cálculos basados en un promedio 71 g de fertilizante granular por planta por aplicación según información colectada de los productores. \*\* Depende del tipo de fertilizante foliar utilizado.

El régimen de aplicación de fertilizante correspondiente al Nivel F1 presentó un promedio de 0.4 aplicaciones año<sup>-1</sup>, el Nivel F2 presentan 2.5 aplicaciones y el Nivel F3 presenta 5.1 aplicaciones año<sup>-1</sup>. Según la información colectada de los productores, se estimó que por aplicación de fertilizante se suministran 71 g de fertilizante granular por café (sea completo NPK o Urea) (Cuadro 11). Las formulaciones de fertilizantes completos más comunes fueron 18-46-0 y 18-6-12. En el caso particular de la fertilización foliar, se observó una diversidad de productos y combinaciones. Los fertilizantes foliares más comunes fueron Urea (0.2 kg ha<sup>-1</sup>) y un producto formulado llamado Bayfolan (1.5 l ha<sup>-1</sup>) ya sea aplicados individualmente o mezclas de ambos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Fertilizantes foliares más utilizados por los productores.

Producto	Dosis	Contenido Nutricional
UREA	0.2 kg ha <sup>-1</sup>	0.2 kg Urea = 92 g N
Bayfolan	1.5 l ha <sup>-1</sup>	N 9.1%, P 6.6%, K 5.0%, S 1,250 ppm, B 332 ppm, Co 17 ppm, Zn 664 ppm, Cu 332 ppm, Mo 42 ppm, Ca 207 ppm, Mn 332 ppm, Fe 415 ppm, Mg 207 ppm *

\* <http://www.bayercropscience-ca.com>

La cantidad de lotes fertilizados en los primeros meses del año (enero – abril 2004) fue menor al 20 % para F3 y menor del 10 % para F2 y F1. F1 presentó una muy baja proporción de lotes fertilizados en el año; solo tres meses presentaron algún tipo de fertilización (0 – 13 %). Para F2 y F3 de mayo a noviembre se observó un incremento en las aplicaciones con ciertas fluctuaciones. Junio fue el mes donde 50 - 62 % de los lotes fueron fertilizados (F2 y F3 respectivamente). F3 presentó otro pico similar en el mes de septiembre (67 %) y uno de menor proporción en noviembre. F2 luego del mes de junio presentó una disminución en las aplicaciones de fertilizantes hasta octubre donde se presentó un pequeño incremento (23 %) (Figura 3).

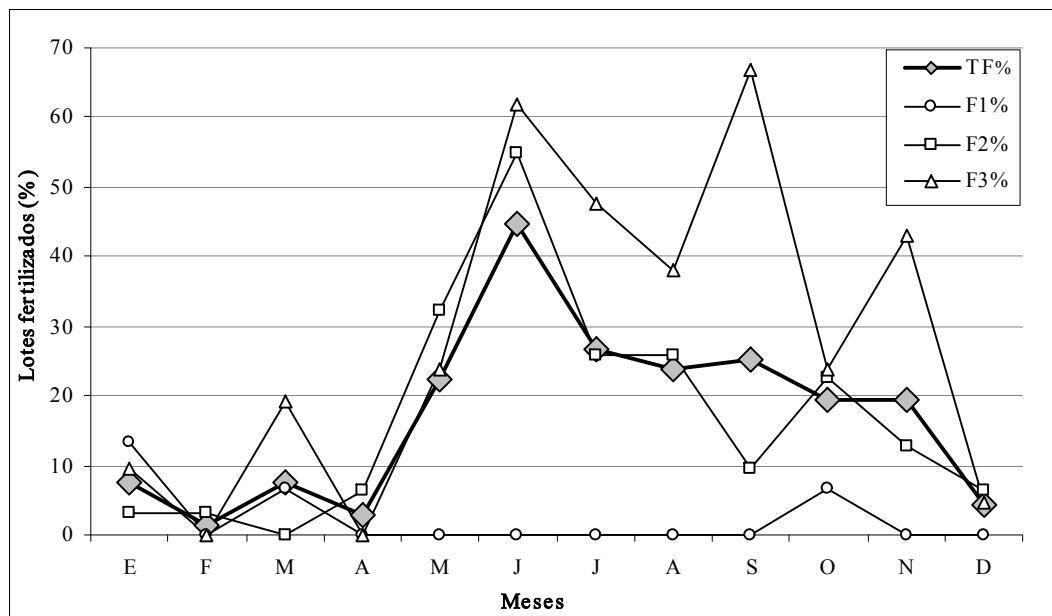


Figura 3. Dinámica de fertilización dentro de cada nivel de aplicación en el año 2004 en los lotes de café bajo estudio. TF% = promedio de F1, F2 y F3; F1% = 0-1 aplicaciones; F2% = 2-3 aplicaciones y F3%= >3 aplicaciones. El porcentaje indica la proporción de lotes fertilizados en el mes “X” en función de la población de lotes bajo cada nivel fertilización.

En lo referente a las tipología de sombra imperantes en los lotes de café muestreados, el sistema de Inga – Musácea (I+M) fue el más frecuente presentándose en el 42 % de los lotes en estudio. El sistema de sombra Inga (16 %) ocupó el segundo lugar y el sistema de sombra Musa (12 %) en tercer lugar (Figura 4 y Cuadro 13).

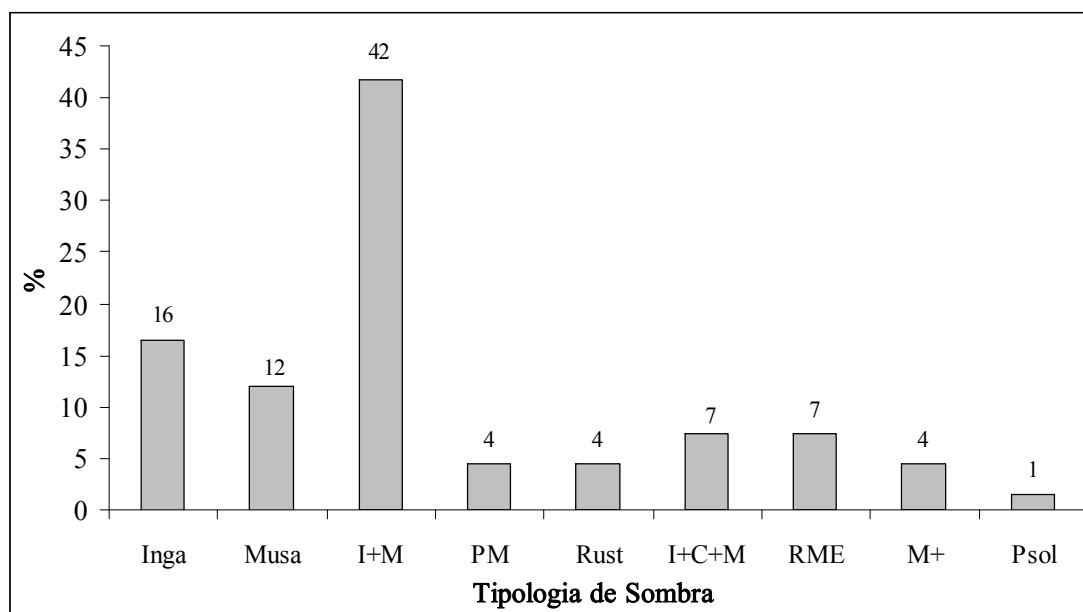


Figura 4. Proporción de las tipologías de sombra presentes en los 67 lotes de café bajo estudio.

Inga = *Inga sp*, Musa = Musáceas, I+M = *Inga sp* + Musáceas, PM = Policultivo multiestrato, Rust = Rustico, I+C+M = *Inga sp* + *Cordia alliodora* + Musáceas, RME = Remanente del bosque enriquecido, M+ = Musáceas + otras especies, Psol = Pleno sol. Adaptado de Somarriba *et al.* (2004).

En termino de distribución de tipologías de sombra por origen geográfico, se observó que los lotes de café del departamento de Nueva Segovia son I+M (37.5 %), Musa (37.5%) e Inga (25%). El departamento de Jinotega presentó un comportamiento similar al de Nueva Segovia con respecto a las tipologías, imperando los sistemas de I+M (53%), Musa (11%) e Inga (9%), siendo el sistema I+M marcadamente el más frecuente. En el caso del departamento de Matagalpa, los sistemas dominantes fueron Inga (40%) y Policultivo Multiestrato (PM = 20%), seguidos por Musa e I+M. Los lotes de café del municipio de Waslala a diferencia de los anteriores se caracterizaron por presentar sistemas de *Inga sp* + *Cordia alliodora* + Musáceas (I+C+M = 75%) y remanentes de bosques enriquecido (RME = 25 %) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Tipologías de sombra presentes en los 67 lotes en estudio por origen geográfico.

DEPARTAMENTO	n	Sombra (%)	Tipología de Sombra <sup>1</sup>								
			---% de lotes por departamento y municipio---								
Municipio			Inga	Musa	I+M	PM	Rust	I+C+M	RME	M+	Psol
<b>NUEVA SEGOVIA</b>	<b>8</b>		25 <sup>1</sup>	37.5	37.5	-	-	-	-	-	-
San Fernando	3	16±4	-	100	-	-	-	-	-	-	-
Dipilto	5	57±16	40	-	60	-	-	-	-	-	-
<b>JINOTEGA</b>	<b>45</b>		11	9	53	2	7	4	7	4	2
San Rafael	5	67±18	40	-	60	-	-	-	-	-	-
Jinotega	25	51±22	8	8	56	4	4	-	8	8	4
Cuá	8	60±19	13	-	63	-	-	13	13	-	-
Wiwili	7	58±20	-	29	29	-	29	14	-	-	-
<b>MATAGALPA</b>	<b>10</b>		40	10	10	20	-	-	10	10	-
Matagalpa	2	23±4	50	50	-	-	-	-	-	-	-
El Tuma-La Dalia	7	38±22	43	-	14	14	-	-	14	14	-
San Ramón	1	80	-	-	-	100	-	-	-	-	-
<b>RAAN</b>	<b>4</b>		-	-	-	-	-	75	25	-	-
Waslala	4	56±14	-	-	-	-	-	75	25	-	-
<b>Global</b>	<b>67</b>	51±15	16.40	11.90	41.80	4.50	4.50	7.50	7.50	4.50	1.50

<sup>1</sup> Inga = *Inga sp*, Musa = Musáceas, I+M = *Inga sp* + Musáceas, PM = Policultivo multiestrato, Rust = Rustico, I+C+M = *Inga sp* + *Cordia alliodora* + Musáceas, RME = Remanente del bosque enriquecido, M+ = Musáceas + otras especies, Psol = Pleno sol. <sup>2</sup> Porcentajes promedios.

La tipología de RME se caracteriza por presentar árboles remanentes de bosques primarios con árboles de sombra. En cambio, los PM además de presentar algunos árboles remanentes del bosque se caracterizaron por presentar árboles frutales (cítricos, musáceas, aguacates, etc.) y árboles de sombra. El sistema Rustico, es similar al RME con la diferencia que el sistema rustico no presentó enriquecimiento con especies de sombra o frutales por parte del productor.

Niveles de sombra bajos (0 – 25 %) se presentaron en los lotes ubicados en San Fernando (1296 msnm) y Matagalpa (1322 msnm). Niveles medios (30 – 55 %) se encontraron en El Tuma-La Dalia (847 msnm) y Jinotega (1050 msnm). Niveles entre 55 – 85 % correspondieron a los lotes ubicados en Waslala (856 msnm), Dipilto (1145 msnm), El Cuá (744 msnm) y San Rafael del Norte (1055 msnm) (Cuadro 13).

Los niveles de sombra por tipología de sombra muestran que los sistemas I+M e Inga presentan un porcentaje de sombra entre 54 y 58 % respectivamente. El sistema Musa presenta los niveles de sombra más bajo (25 %). Por otro lado, los sistemas RME y Rust tienen los



mayores niveles de sombra con un 61 y 64 % respectivamente. La variación en el nivel de sombra de Sombra I y Sombra II para las tipologías de sombra fue mínima para la mayoría de las tipologías (Cuadro 14).

Cuadro 14. Descripción de las tipologías de sombra según niveles de sombra y cobertura, riqueza del componente arbóreo y altitud.

Tipología	n	Sombra I <sup>1</sup> (%)	Sombra II <sup>2</sup> (%)	Cobertura II <sup>3</sup> (%)	Riqueza <sup>4</sup> (No. sp)	Altitud (msnm)
Rustico	3	64±12	63±20	59±18	7±1	1065±66
RME	5	61±15	47±16	45±15	8±2	883±180
I+M	28	58±16	50±17	43±16	3±1	991±137
I+C+M	5	58±21	50±19	44±22	7±2	871±118
Inga	11	54±26	50±25	52±23	2±1	1003±197
PM	3	46±30	33±19	26±19	7±2	898±111
M+	3	31±29	28±24	28±28	3±1	1063±107
Musa	8	25±10	27±16	14±10	2±1	1193±134

<sup>1</sup> Sombra I = Sombra determinada en noviembre – diciembre 2004, <sup>2</sup> Sombra II = Sombra determinada en Marzo – Mayo del 2005, <sup>3</sup> Cobertura II = Cobertura (u ocupación del cielo) de los árboles determinada en Marzo – Mayo del 2005, <sup>4</sup> Riqueza = No. de especies arbóreas ha<sup>-1</sup>.

Las tipologías Rustico, RME, I+C+M y PM presentaron mayor cantidad de especies arbóreas (7-8 sp) en comparación con el resto de tipologías. RME, I+C+M y PM se caracterizaron de manera general por encontrarse en altitudes menores a 1000 msnm. En cambio, I+M, Inga, M+ y Musa presentaron menor cantidad de especies arbóreas y se ubicaron de manera general por encima de los 1000 msnm (Cuadro 14).

Se evaluaron Sombra I y Sombra II independientemente de las tipologías de sombra. Las mayores variaciones encontradas entre los niveles de sombra de Sombra I y Sombra II fueron de  $11 \pm 9$  % y se encuentran en lotes ubicados por debajo de los 1100 msnm. Por encima de los 1100 msnm las variaciones fueron de  $7 \pm 9$  % (Figura 5). Por otro lado, cuando se realizó la determinación de Sombra II, se encontró que en el 43 % de los lotes habían realizado regulación de la sombra (podas). La reducción de la sombra producto de las podas fue de  $14 \pm 10$  %. En el 57 % de los lotes restantes no habían regulado la sombra y presentó una reducción del  $2 \pm 10$  %. Sombra I y Sombra II presentaron fuertes correlaciones entre sí ( $R^2 = 0.85$  y  $p < 0.0000001$ ) (Cuadro 15 y Figura 5). Los niveles de sombra y cobertura tomados en los lotes de café en marzo – mayo 2005 también mostraron una fuerte correlación entre sí ( $R^2 = 0.85$  y

$p < 0.0000001$ ) (Cuadro 15 y Figura 5). El número de árboles y riqueza de especies arbóreas se correlacionaron positivamente con los niveles de sombra y cobertura (Cuadro 15).

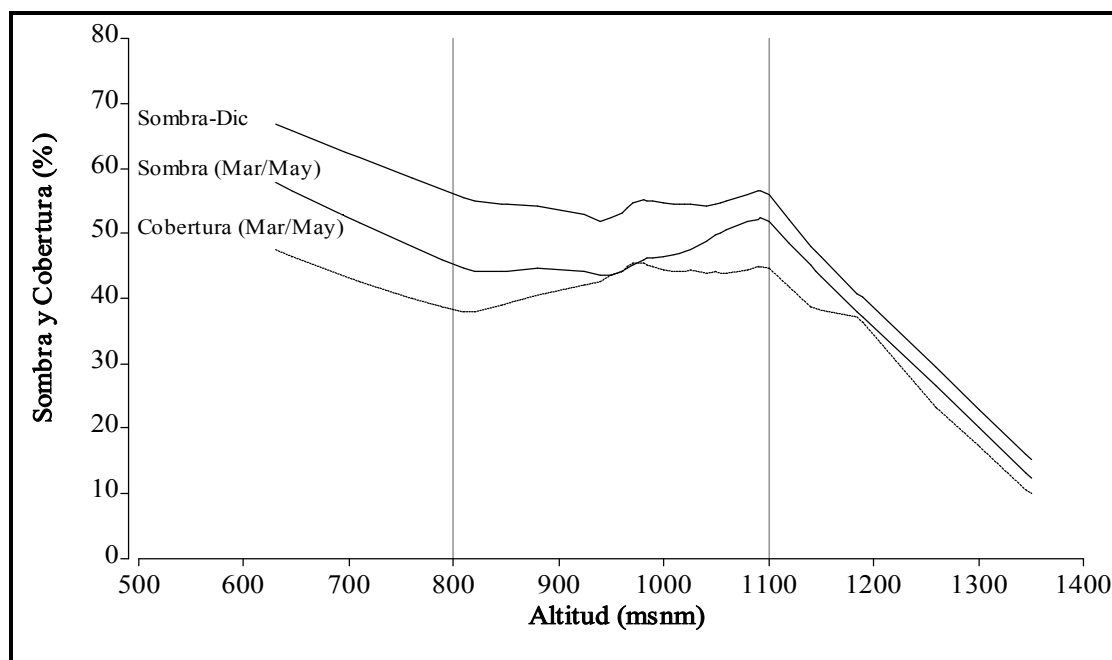


Figura 5. Niveles de sombra y cobertura utilizados por los productores en invierno (noviembre – diciembre 2004) y verano (marzo – mayo 2005) en función de la altitud.

Cuadro 15. Correlaciones de Pearson entre las mediciones de sombra, cobertura arbórea, densidad y riqueza del componente arbóreo en los lotes de café muestreados.

$R^2 \setminus p^*$	Sombra I <sup>1</sup>	Sombra II <sup>2</sup>	Cobertura II <sup>3</sup>	DAH <sup>4</sup>	Riqueza <sup>5</sup>
Sombra I	1	<000000.1	<000000.1	0.02	0.003
Sombra II	0.85	1	<000000.1	0.07	0.06
Cobertura II	0.83	0.85	1	0.27	0.04
DAH	0.28	0.22	0.14	1	0.05
Riqueza	0.36	0.23	0.25	0.24	1

\* Coeficiente ( $R^2$ ) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

<sup>1</sup> Sombra I = Sombra determinada en noviembre – diciembre 2004, <sup>2</sup> Sombra II = Sombra determinada en Marzo – Mayo del 2005, <sup>3</sup> Cobertura II = Cobertura (ocupación) del cielo por los árboles determinada en Marzo – Mayo del 2005, <sup>4</sup> DAH = Densidad de árboles  $ha^{-1}$ , <sup>5</sup> Riqueza = No. de especies arbóreas  $ha^{-1}$ .

## 4.2 Relación entre altitud, sombra, rendimiento y fertilización

Con el fin de visualizar el efecto de un factor sobre otro se llevó a cabo análisis de varianzas y correlaciones de Pearson.

La medición de sombra utilizada para los análisis fue Sombra I (noviembre y diciembre 2004). Se utilizó Sombra I por dos razones: primero, la mayor parte del desarrollo y maduración del fruto de café ocurre bajo los niveles de Sombra I. Segundo, como se mencionó anteriormente no existe una gran diferencia entre las mediciones de Sombra I (invierno) y Sombra II (verano).

A pesar que los tres niveles del factor altitud no mostraron ningún efecto significativo sobre sombra, se puede observar el efecto de la altitud cuando se evalúan los tres niveles de sombra sobre altitud. Esto se debe posiblemente a que los tres niveles altitudinales no satisfacen la relación entre altitud y sombra. Lo mismo sucedió entre rendimiento y sombra (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza entre altitud, sombra, fertilización y rendimiento.

Factor	Nivel	n	Altitud (msnm)	Sombra (%)	Fertilización (No. aplicación)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Altitud (msnm)	630 – 850	15		59 A*	1.67 B	860 B**
	880 – 1050	23	-	52 A	2.39 A	1310 A
	1055 – 1350	29		47 A	2.14 A	1157 AB
Sombra (%)	0 – 25	13	1157 A		2.69 A	1520 A
	30 – 55	22	980 B	-	1.91 B	996 B
	60 – 85	32	964 B		2.03 B	1090 B
Fertilización (No. aplicaciones)	0 – 1	15	923 B*	59 B*		780 B
	2 – 3	29	1029 A	54 AB	-	1030 B
	>3	23	1032 A	44 A		1522 A
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	287 – 762	24	960 B	57 A	1.67 B	
	826 – 1525	21	985 AB	53 A	2.29 A	-
	1550 – 2605	22	1078 A	44 A	2.45 A	

\*Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ) y \*\* $p \leq 0.1$

El incremento altitudinal presentó un efecto significativo y positivo sobre la fertilización y rendimiento de los lotes de café. En cambio, la sombra presentó una disminución significativa en sus niveles al ascender de zonas bajas a altas, encontrándose de esta manera niveles de sombra < 30 % por encima de los 1150 msnm. Tanto el número de aplicaciones de fertilizantes como el rendimiento experimentaron una disminución a mayores niveles de

sombra. Lotes con niveles de sombra menores a 30 % presentaron mayores aplicaciones de fertilizantes (2.69) y rendimientos (1520 kg ha<sup>-1</sup>). Aplicaciones de fertilizantes de 0 – 1 y de 2 – 3 no presentaron diferencia significativa entre sí para rendimiento de grano, pero si presentaron diferencias estadísticas con más de tres aplicaciones (Cuadro 16 y 17).

Cuadro 17. Correlaciones de Pearson entre Altitud, Sombra, Fertilización y Rendimiento.

R <sup>2</sup> \ p*	Altitud	Sombra	Fertilización	Rendimiento
Altitud	1	<b>0.001</b>	0.07	0.06
Sombra	<b>-0.39</b>	1	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
Fertilización	0.22	<b>-0.27</b>	1	<b>0.00004</b>
Rendimiento	0.23	<b>-0.27</b>	0.48	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

En general, lotes de café ubicados a más de 1000 msnm se caracterizaron por contar con poca sombra (<30 %), mayor número de aplicaciones de fertilizantes y mayores rendimientos. Por el contrario, lotes a menos de 1000 msnm presentan mayores niveles de sombra (≥30 %), menor número de aplicaciones de fertilizantes y menores rendimientos de grano (Cuadro 16-17 y Figura 6). Sin embargo, al analizar el segmento de las observaciones (lotes) ubicados entre 800 – 1100msnm, se encontró un nivel de sombra promedio de 54 %. Bajo estas condiciones se observó que el incremento en las aplicaciones de fertilizantes implicó un aumento en el rendimiento del café y viceversa.

Por otro lado, el segmento de los lotes de café que se ubicó entre 630 – 900 msnm presentó niveles de sombra mayores al 50 % y rendimientos de 20 qq ha<sup>-1</sup> (893 kg ha<sup>-1</sup>); bajo estas condiciones el incremento en el rendimiento de grano solo se logró cuando se aplicaron más de 2 aplicaciones de fertilizantes (Figura 6).

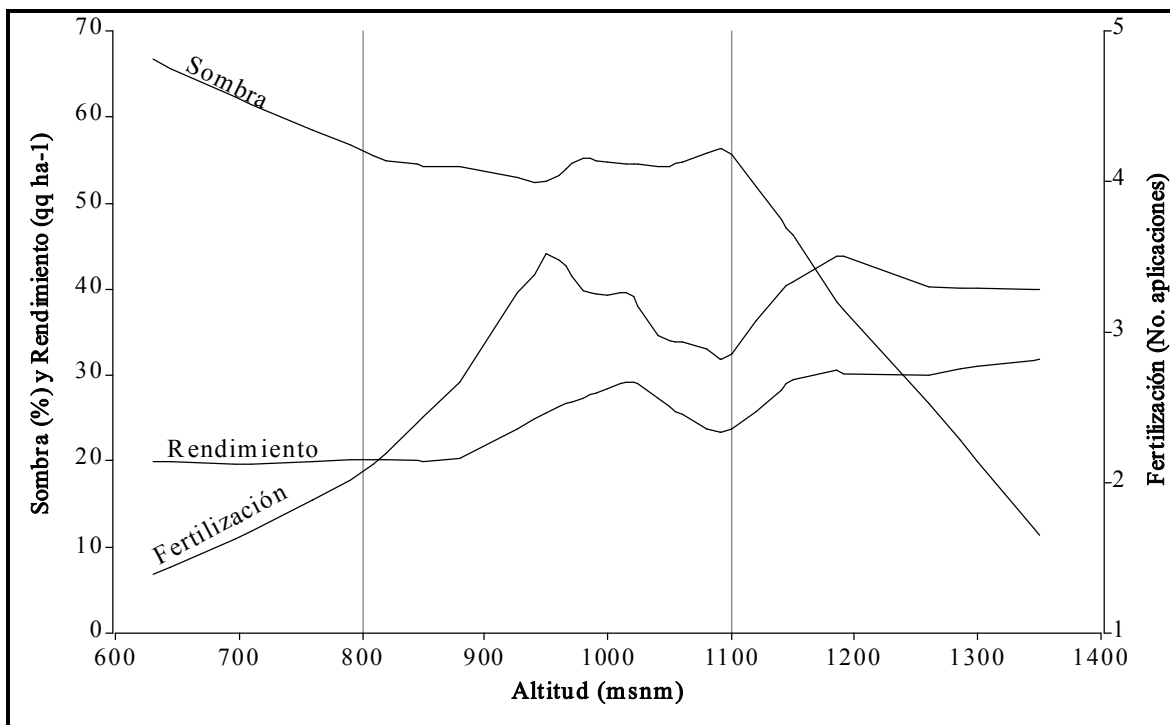


Figura 6. Dinamica de la sombra, fertilización y rendimiento del grano de café en función de la altitud en la región Norcentral de Nicaragua.

### 4.3 Calidad Física

Se realizó un Análisis de Componente Principal (ACP), Análisis de Correlaciones de Pearson y Análisis de Covarianza (ACV).

El rendimiento, altitud, sombra y fertilización influyeron positivamente sobre el tamaño (T16-20) y peso de granos (P100) (Figura 7 y Cuadro 18-19). Los dos primeros componentes principales (CP) del ACP explicaron el 68 % de la variabilidad. El CP1 explicó la variabilidad en un 54.4 % y el CP2 explicó un 13.6 % (Figura 7). El CP1 se ubica en el eje “x” y se divide en dos cuadrantes, izquierdo y derecho. El CP2 se ubica en el eje “y” y se divide en dos cuadrantes, superior e inferior (Figura 7).

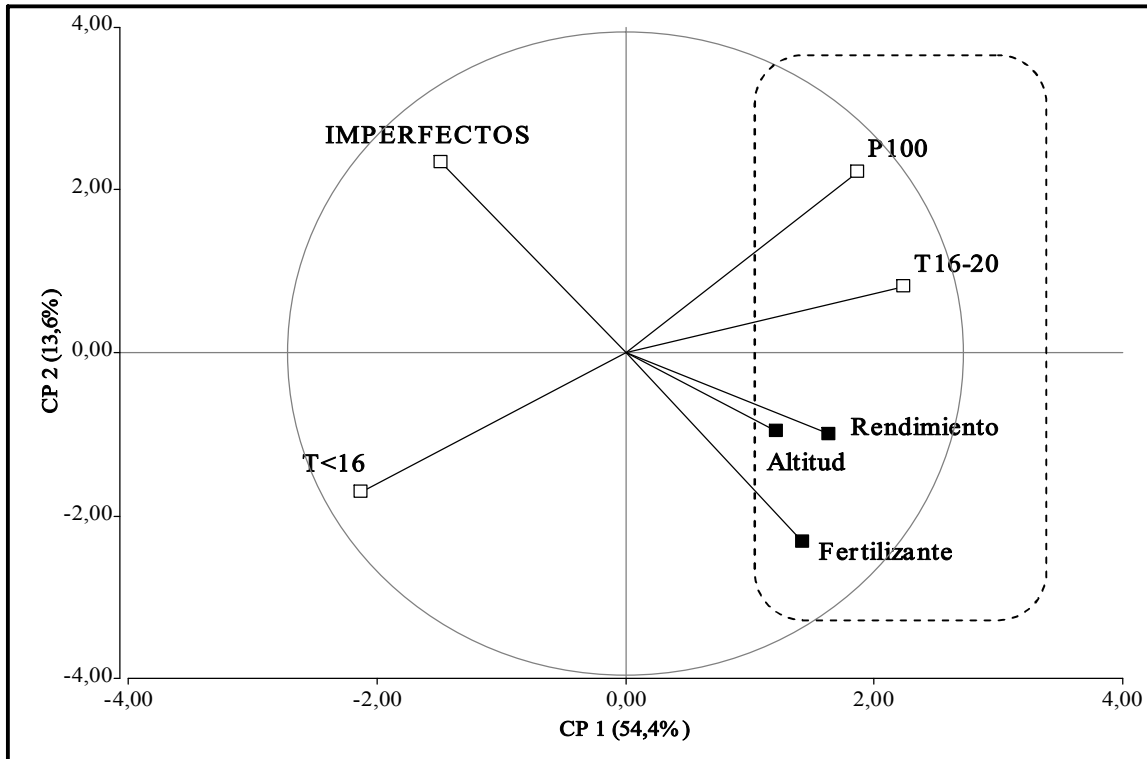


Figura 7. Análisis de componentes principales de altitud, rendimiento, fertilización y calidad física del grano de café.

Tanto en el presente, como en los siguientes ACP no se incluyó en el análisis el factor sombra; debido a que el análisis no representa el efecto real (positivo) de la sombra sobre las variables de calidad y compuestos bioquímicos del café. Sin embargo, representa eficientemente los efectos de los factores altitud, rendimiento y fertilización sobre las variables en estudio. Los efectos de la sombra se pueden apreciar en los análisis de correlaciones, covariables y de segmentación correspondientes del presente y subsiguientes acápite.

El cuadrante derecho del CP1 muestra la relación positiva entre granos grandes (T16-20) y de mayor peso (peso en g de 100 granos = P100) con mayores niveles de rendimiento, fertilización y altitud (Figura 7). El factor rendimiento presentó las correlaciones más fuertes y significativas con las variables de calidad física, seguido por fertilización y altitud (Cuadro 18). Por otro lado, el CP 2 agrupa a granos pequeños (T<16) e imperfectos. La proporción de granos pequeños (T<16) e imperfectos se correlacionó negativa y significativamente con mayores niveles de altitud, rendimiento y fertilización (Figura 7 y Cuadro 18-19).

Cuadro 18. Correlación de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y calidad física del café.

R <sup>2</sup> \ p*	Altitud	Sombra	Rendimiento	Fertilización	T16-20	T<16	P100	IMP
Altitud	1	0.001	0.06	0.07	<b>0.002</b>	<b>0.01</b>	<b>0.004</b>	<b>0.003</b>
Sombra	-0.39	1	0.03	0.03	0.88	0.97	0.6	0.66
Rendimiento	0.23	-0.27	1	<0.0001	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.004</b>
Fertilización	0.22	-0.27	<b>0.48</b>	1	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.0005</b>
T16-20	<b>0.38</b>	-0.02	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001
T<16	<b>-0.32</b>	0.00	<b>-0.52</b>	<b>-0.45</b>	-0.96	1	<0.0001	0.001
P100	<b>0.35</b>	0.06	<b>0.43</b>	<b>0.36</b>	0.74	-0.79	1	0.06
Imperfecto	<b>-0.36</b>	0.06	<b>-0.34</b>	<b>-0.41</b>	-0.62	0.39	-0.23	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

T16-20 = Tamiz del No. 16 al 20, T<16 = Tamices menores al No. 16, IMP = imperfectos, P100 = peso en g de 100 granos.

Rendimientos superiores a los 1550 kg ha<sup>-1</sup> presentaron los mayores tamaños (T16-20) y peso de grano (P100), y los menores contenidos de granos pequeños (T<16) (Cuadro 19). En caso de la fertilización, está ejerce un efecto significativo sobre el tamaño de grano con dos o más aplicaciones y sobre peso de grano con cuatro o más aplicaciones de fertilizante. Aplicaciones de fertilizante de 0 – 1 se caracterizaron por producir mayor contenido de granos pequeños e imperfectos. Lotes de café con altitudes superiores a 880 msnm se caracterizaron por presentar granos significativamente más grandes (T16-20) y pesados (P100) con menos defectos (IMP) que granos de café producidos a menor altitud (Cuadro 19).

El incremento del nivel de sombra produjo un aumento en el tamaño y peso de grano, así como una reducción en el contenido de granos imperfectos. Los mayores valores para tamaño y peso de grano se encontraron en niveles de sombra entre 60 – 85 % (Cuadro 19).

Las variables de calidad física presentaron una fuerte correlación entre granos grandes (T16-20) y granos pesados (P100) (R<sup>2</sup> = 0.74 y p < 0.0001). Granos pequeños (T<16) y granos imperfectos también presentaron correlaciones significativas entre sí (R<sup>2</sup> = 0.39 y p < 0.0001). Como era de esperar, las variables T16-20 y P100 se correlacionaron negativamente con T<16 e imperfectos (Cuadro 18). Las medias del ACV y coeficientes de correlación sugieren que la fertilización produjo los granos más grandes y pesados seguido por altitud y sombra (Cuadro 18 y 19).

Cuadro 19. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre la calidad física del café.

Factores	Niveles	n	T16-20 <sup>2</sup>	T<16	IMP	P100
<b>Altitud</b> (msnm)	630 – 850	15	0.78 B <sup>1</sup>	0.18 B	0.03 B	15.64 B
	880 – 1050	23	0.84 A	0.13 A	0.02 A	17.08 A
	1055 – 1350	29	0.84 A	0.14 A	0.02 A	16.97 A
<i>Covariables</i>						
Sombra			0.02	0.03	0.3	0.01
Rendimiento	p <sup>3</sup>		0.0008	0.0008	0.2	0.006
Fertilización			0.02	0.09	0.06	0.3
<b>Sombra</b> (%)	0 – 25	13	0.80 B	0.17 A	0.03 B	15.91 B
	30 - 55	22	0.82 A	0.15 AB	0.02 AB	16.55 AB
	60 - 85	32	0.85 A	0.13 B	0.02 A	17.15 A
<i>Covariables</i>						
Altitud			0.002	0.02	0.006	0.002
Rendimiento	p		0.002	0.002	0.19	0.01
Fertilización			0.002	0.02	0.01	0.06
<b>Rendimiento</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	287 – 762	24	0.80 B	0.17 B	0.03 A	16.20 B
	826 – 1525	21	0.82 B	0.15 B	0.02 A	16.64 B
	1550 – 2605	22	0.86 A	0.12 A	0.02 A	17.34 A
<i>Covariables</i>						
Altitud	p		0.006	0.04	0.01	0.005
Sombra			0.006	0.01	0.10	0.003
fertilización			0.001	0.01	0.01	0.05
<b>Fertilización</b> (No. Aplicación)	0 – 1	15	0.77 B	0.18 B	0.04 B	16.10 B
	2 – 3	29	0.83 A	0.15 A	0.02 A	16.54 B
	>3	23	0.86 A	0.12 A	0.02 A	17.33 A
<i>Covariables</i>						
Altitud			0.004	0.02	0.02	0.002
Sombra	p		0.007	0.015	0.13	0.003
Rendimiento			0.0005	0.0006	0.08	0.007

<sup>1</sup> Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

<sup>2</sup> T 16-20 = Tamiz No. 16 a 20 (%), T<16 = Tamices menores a No. 16 (%), IMP = imperfectos (%),

P100 = peso 100 granos (g). <sup>3</sup> p = probabilidad según ACV para las covariables.



#### 4.4 Composición Bioquímica

En lo referente a la composición bioquímica de los granos de café, los dos primeros CP del ACP realizado explican el 55.3 % (CP1 = 31.30 %, CP2 = 24 %) de la variabilidad para las variables en cuestión. El cuadrante derecho del CP1 muestra una relación positiva entre el ácido clorogénico, cafeína y materia grasa con el factor altitud, rendimiento y fertilización. (Figura 8).

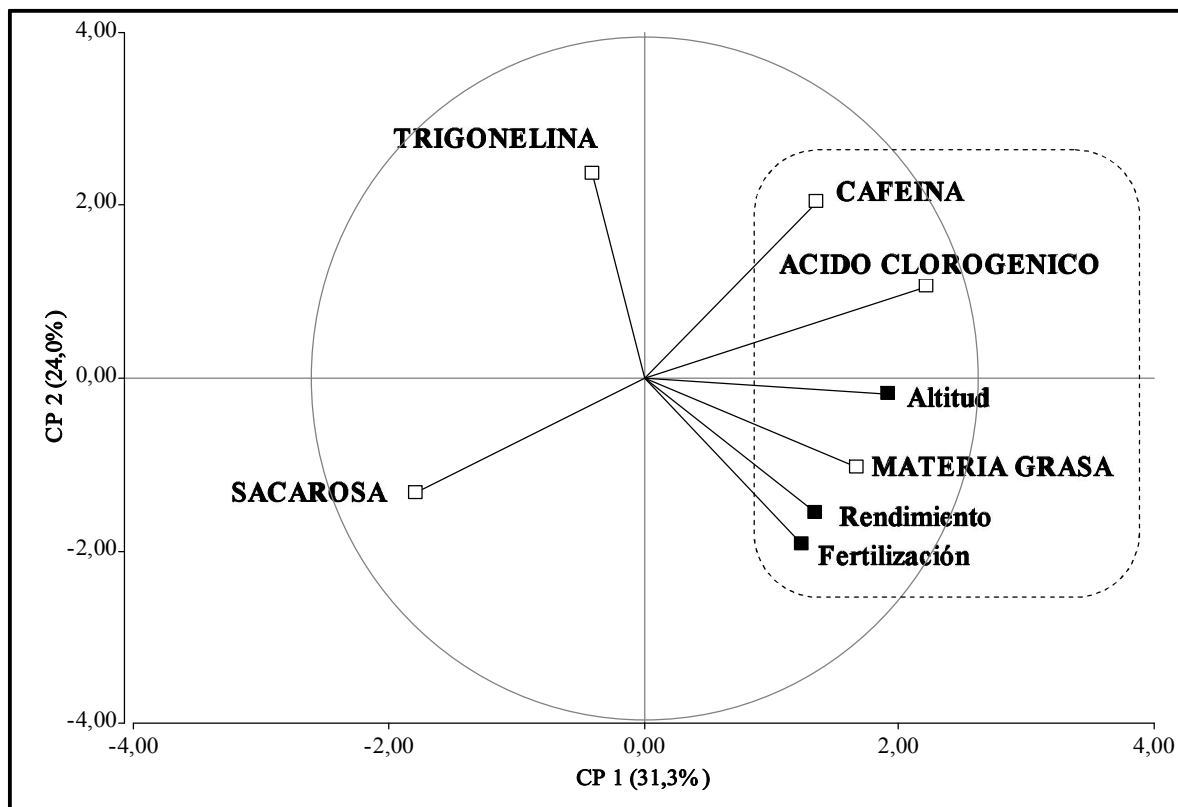


Figura 8. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización y composición bioquímica.

En el cuadrante izquierdo se encuentran trigonelina y sacarosa (Figura 8). Sin embargo, el ángulo formado entre trigonelina y sacarosa por ser mayor a  $90^\circ$  indica que ambos compuestos presentan correlaciones negativas entre sí (Figura 8). El análisis de correlación entre ambos compuesto confirma dicha relación:  $R^2 = -0.31$  y  $p = 0.01$  (Cuadro 20). Sacarosa presenta un comportamiento antagónico con el resto de los compuestos bioquímicos y con los factores en estudio (Figura 8). Las correlaciones entre altitud con cafeína, materia grasa y ácido clorogénico son positivas y significativas (Cuadro 20).

Cuadro 20. Correlaciones de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y compuestos bioquímicos.

R <sup>2</sup> \ p*	Altitud	Sombra	Rend. <sup>1</sup>	Fert. <sup>2</sup>	Cafeína	Trigon <sup>3</sup>	MG <sup>4</sup>	Sacarosa	ACG <sup>5</sup>
Altitud	1	0.001	0.06	0.07	<b>0.002</b>	0.13	<b>0.01</b>	0.38	<b>0.0001</b>
Sombra	-0.39	1	0.03	0.03	0.16	0.63	0.46	<b>0.02</b>	0.19
Rend.	0.23	-0.27	1	<0.0001	0.71	<b>0.03</b>	0.08	0.37	0.35
Fert.	0.22	-0.27	0.48	1	0.3	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	0.13	0.86
Cafeína	<b>0.37</b>	0.17	0.05	-0.13	1	0.02	0.37	<b>0.003</b>	<b>&lt;0.0001</b>
Trigon	-0.19	0.06	<b>-0.27</b>	<b>-0.30</b>	0.28	1	0.07	<b>0.01</b>	0.74
MG	<b>0.32</b>	-0.09	0.22	<b>0.29</b>	-0.11	-0.22	1	0.02	<b>0.003</b>
Sacarosa	-0.11	<b>-0.29</b>	-0.11	-0.18	<b>-0.36</b>	<b>-0.31</b>	-0.29	1	<b>&lt;0.0001</b>
ACG	<b>0.45</b>	0.16	0.12	0.02	<b>0.49</b>	-0.04	<b>0.36</b>	<b>-0.57</b>	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

<sup>1</sup> Rend. = Rendimiento. <sup>2</sup>Fert. = Fertilización. <sup>3</sup> Trigon = Trigonelina. <sup>4</sup> MG = Materia Grasa, <sup>5</sup> ACG = Acido Clorogénico.

El ACV muestra que altitud, a excepción de trigonelina, es el factor que influyó significativamente sobre los compuestos bioquímicos. Se observó un incremento en el contenido de dichos compuestos conforme se incrementa la altitud. Tanto para materia grasa y ácidos clorogénicos, se encontraron mayores concentraciones de dichos compuestos en cafés cultivados a partir de los 1055 msnm. Cafeína mostró un comportamiento similar al de materia grasa y ácido clorogénico, con la diferencia que los mayores contenidos son a partir de los 880 msnm (Cuadro 21).

Sacarosa presentó una disminución en su contenido conforme se ascendía en altitud (Figura 8 y Cuadro 21). Sombra se correlacionó negativa y significativamente las concentraciones de sacarosa. (Cuadro 20). Granos de café que se desarrollaron con niveles de sombra mayores 30 % presentaron una reducción significativa en el contenido de sacarosa (Cuadro 21). Por el contrario, se presentaron mayores acumulaciones de cafeína y ácidos clorogénicos en granos de café con el incremento de los niveles de sombra. Cafeína presentó las mayores acumulaciones en niveles de sombra mayores al 55 %. Los ácidos clorogénicos presentaron mayor acumulación a partir del 30 % de sombra. Sombra no presentó ningún efecto sobre las concentraciones de trigonelina y materia grasa (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre los compuestos bioquímicos.

Factor	Niveles	n	Cafeína	Trigo <sup>2</sup>	Sacarosa	MG <sup>3</sup>	ACG <sup>4</sup>
<b>Altitud</b> (msnm)	630 – 850	15	1.39 B <sup>1</sup>	0.83 A	7.24 B	11.57 B	8.11 C
	880 – 1050	23	1.47 A	0.82 A	6.99 B	11.70 B	8.31 B
	1055 – 1350	29	1.50 A	0.82 A	6.90 A	12.22 A	8.49 A
<i>Covariables</i>							
Sombra			0.05	0.62	0.0007	0.59	6.87
Rendimiento	p		0.28	0.25	0.55	0.45	1.35
Fertilización			0.07	0.15	0.17	0.10	0.35
<b>Sombra</b> (%)	0 – 25	13	1.40 B	0.83 A	7.35 C	11.85 A	8.16 B
	30 - 55	22	1.45 AB	0.82 A	7.07 B	11.90 A	8.31 A
	60 - 85	32	1.49 A	0.82 A	6.82 A	11.91 A	8.44 A
<i>Covariables</i>							
Altitud			<0.0001	0.31	0.08	0.04	<0.0001
Rendimiento	p		0.45	0.29	0.75	0.66	0.52
Fertilización			0.14	0.12	0.08	0.14	0.76
<b>Rendimiento</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	287 – 762	24	1.45 A	0.84 A	7.05 A	11,78 A	8,26 A
	826 – 1525	21	1.46 A	0.81 A	6.99 A	11,85 A	8,38 A
	1550 – 2605	22	1.47 A	0.81 A	6.97 A	12,06 A	8,39 A
<i>Covariables</i>							
Altitud			0.0001	0.30	0.09	0.04	<0.0001
Sombra	p		0.005	0.55	0.0007	0.43	0.0007
fertilización			0.12	0.17	0.10	0.14	0.40
<b>Fertilización</b> (No. Aplicación)	0 – 1	15	1.49 A	0.85 B*	7.14 A	11.37 B	8.34 A
	2 – 3	29	1.46 A	0.82 AB	7.04 A	11.97 A	8.37 A
	> 3	23	1.44 A	0.80 A	6.88 A	12.13 A	8.31 A
<i>Covariables</i>							
Altitud			<0.0001	0.37	0.08	0.07	<0.0001
Sombra	p		0.005	0.53	0.0006	0.61	0.001
Rendimiento			0.35	0.24	0.58	0.38	0.31

<sup>1</sup> Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). \*  $p < 0.1$

<sup>2</sup> Trigo = Trigonelina. <sup>3</sup> MG = Materia Grasa. <sup>4</sup> ACG = Acido Clorogénico.

Las aplicaciones de fertilizantes presentaron correlaciones positivas y significativas con materia grasa, así como correlaciones negativas con trigonelina (Figura 8 y Cuadro 20). La materia grasa presentó un incremento en su contenido cuando se realizaron dos o más aplicaciones de fertilizantes. Por el contrario, el incremento en las aplicaciones de fertilizantes mostró cierta tendencia de disminución en el contenido de trigonelina. Cafeína, sacarosa y ácidos clorogénicos no experimentaron ningún efecto significativo por parte de las aplicaciones de fertilizantes (Cuadro 21).

Se realizó un análisis de segmentación (ASM) con el compuesto trigonelina introduciendo como regresoras altitud, sombra, rendimiento y fertilización. Se encontró una influencia de altitud sobre el contenido de trigonelina. Luego con los parámetros obtenidos del ASM, se realizó un análisis de varianza y separación de medias por Duncan ( $p \leq 0.05$ ). Los rangos proporcionados por el ASM mostraron efecto significativo de la altitud en el ANDEVA. El incremento altitudinal reduce el contenido de trigonelina; los lotes a altitudes  $> 955$  msnm presentan los menores contenidos de trigonelina (Figura 9). El ASM también sugiere cierto efecto del rendimiento sobre la trigonelina. Sin embargo, luego de realizar ANDEVA, no se encontró ningún efecto significativo ( $p = 0.15$ ) bajo las condiciones de altitud ( $>955$  msnm) y rangos de rendimiento ( $R1 \leq 604 \text{ Kg ha}^{-1}$  y  $R2 > 604 \text{ Kg ha}^{-1}$ ).

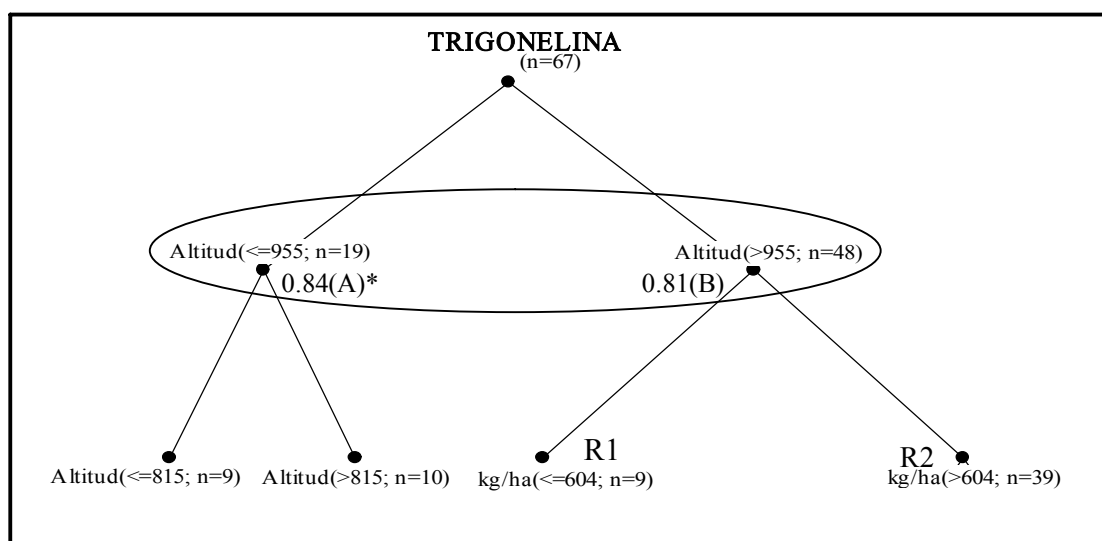


Figura 9. Análisis de segmentación para el compuesto bioquímico trigonelina. \* Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

El rendimiento solo se correlacionó negativa y significativamente con trigonelina (Figura 8 y Cuadro 20). Sin embargo, al igual que con los otros compuesto bioquímicos el rendimiento de grano en el ACV no mostró ningún efecto significativo sobre trigonelina (Cuadro 21). A través de un segundo ASM se logró identificar los niveles de rendimiento bajo los cuales existen diferencias significativas en las concentraciones de los compuestos bioquímicos en los granos de café. El contenido de trigonelina, materia grasa y ácido clorogénico fue significativamente mayor en granos de café de lotes con rendimientos  $> 870 \text{ kg ha}^{-1}$ . Se

observó tendencias de mayor acumulación sacarosa en granos producidos en lotes con rendimientos entre 287 – 870 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 22).

Cuadro 22. Efecto del rendimiento de grano sobre la composición bioquímica.

Factor	Niveles	n	Caféina	Trigo <sup>2</sup>	Sacarosa	MG <sup>3</sup>	ACG <sup>4</sup>
Rendimiento	287 - 870	39	1.45 A <sup>1</sup>	0.84 B	7.12 B*	11.63 A	8.26 B
(kg ha <sup>-1</sup> )	877 - 2605	28	1.47 A	0.80 A	6.93 A	12.08 B	8.40 A

<sup>1</sup> Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). \*  $p < 0.1$

<sup>2</sup> Trigo = Trigonelina. <sup>3</sup> MG = Materia Grasa. <sup>4</sup> ACG = Acido Clorogénico.

## 4.5 Calidad Organoléptica

### 4.5.1 Selección del Análisis de Organoléptico

Se realizaron dos análisis de catación u organolépticos, uno en Nicaragua y otro en Francia. El análisis organoléptico realizado en Nicaragua fue llevado a cabo por el Laboratorio de Catación de la Exportadora de Café Atlantic, S.A, miembro del Grupo ECOM ([www.ecomtrading.com](http://www.ecomtrading.com)). El análisis realizado en Francia se ejecutó en el laboratorio del *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement* (CIRAD).

Se hicieron diversas pruebas y análisis con los resultados de ambos análisis. Las calificaciones de las cataciones realizadas por los catadores en Francia presentaban rangos más estrechos que las realizadas en Nicaragua (Figura 10).

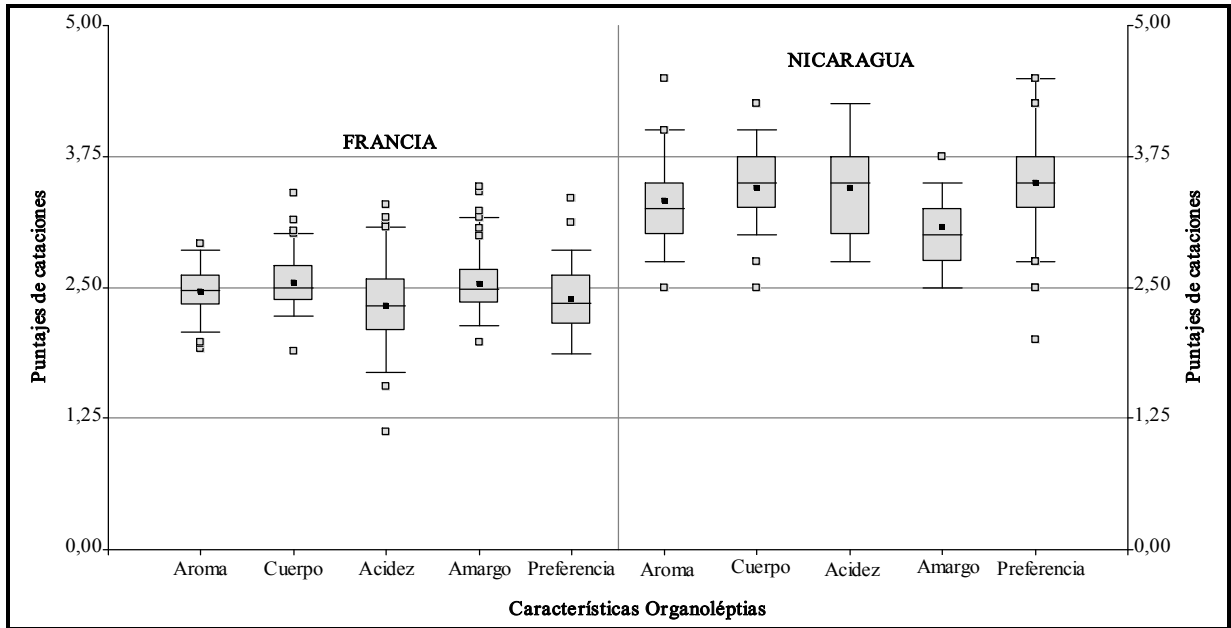


Figura 10. Distribución de calificaciones de cataciones de café realizadas en Nicaragua y Francia.

Lo que en términos generales sugiere que para los catadores en Francia no había mucha diferencia entre las diferentes muestras de café catadas. Posiblemente se deba a que dichos catadores degustan una gran variedad de café de diferentes orígenes y calidades (África, Suramérica, India, etc.) con olores y sabores diversos. Por ello, al probar diferentes muestras de café nicaragüense le fueron muy similar entre sí. Por otro lado, las cataciones realizadas en Nicaragua por catadores más especializados en café nicaragüense encontraron mayor variabilidad en las características de la bebida (Figura 10). Esta mayor discriminación en las características de la bebida es muy importante, especialmente si se quiere encontrar diferencias por influencia de los factores en estudio. Por tal razón, se decidió realizar todos los análisis subsiguientes del estudio a partir de las cataciones realizadas en Nicaragua por el Laboratorio de catación de la Exportadora Atlantic, S.A.

#### 4.5.2 Resultados de la calidad organoléptica

Las características organolépticas más apreciadas fueron influenciadas principalmente por el factor altitud (Figura 11, Cuadro 23-24).

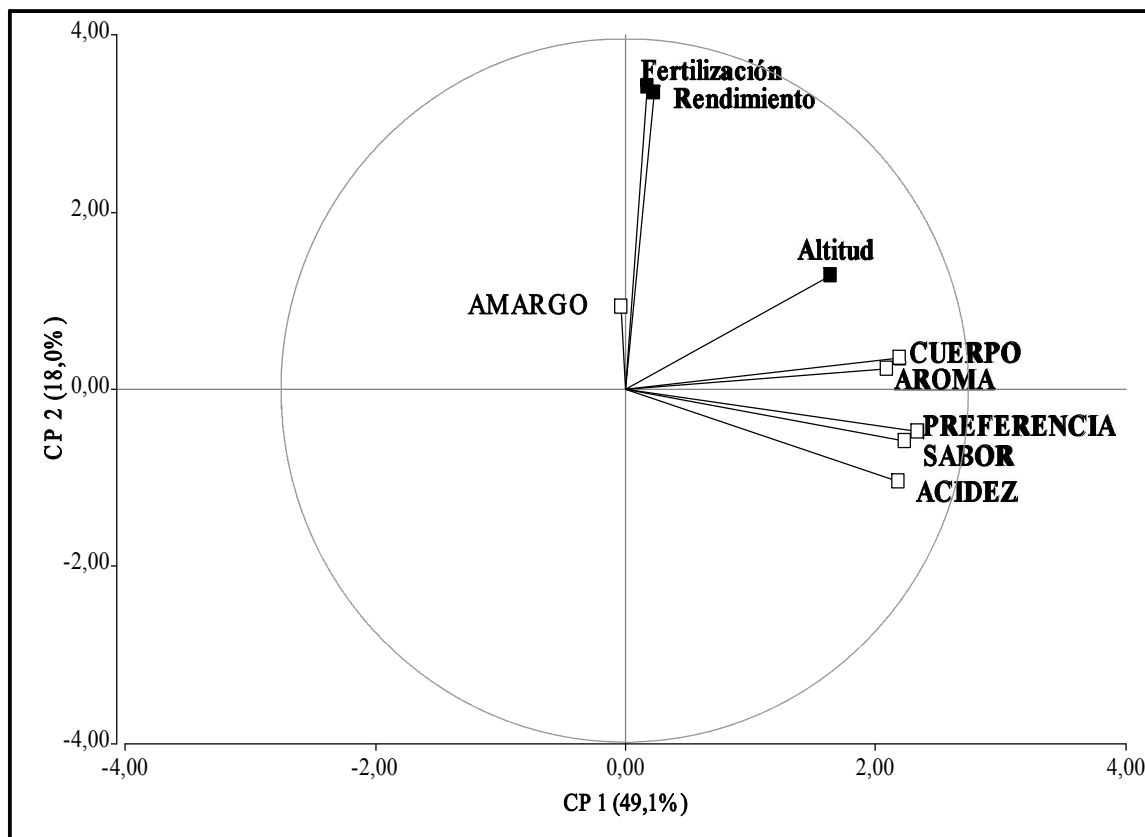


Figura 11. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización y calidad organoléptica del café.

Se realizó un ACP con las variables organolépticas y los factores altitud, sombra y fertilización. Los dos primeros CP explican el 62,9 % de toda la variabilidad (CP1 = 45 %, CP2 = 17,8 %). El cuadrante derecho del CP1 muestra una relación positiva entre el factor altitud, rendimiento y fertilización ( $\theta \leq 90^\circ$ ) con las variables aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia. Sin embargo, la intensidad del efecto es mayor para el factor altitud ( $\theta < 45^\circ$ ) (Figura 10). Tanto así que, a excepción de la variable amargo, altitud es el único factor que presenta correlaciones positivas y significativas para todas las variables. (Figura 11 y Cuadro 23). El rendimiento de grano no presentó correlaciones ni efectos significativos sobre las variables de calidad organoléptica (Cuadro 23 y 24).

Cuadro 23. Correlaciones de Pearson entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y variables de calidad organoléptica.

R <sup>2</sup> \ p*	Altitud	Sombra	Rend. <sup>1</sup>	Fert. <sup>2</sup>	Aroma	Cuerpo	Acidez	Sabor	Preferencia	Amargo
Altitud	1	0.001	0.06	0.07	<b>0.0002</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	0.74
Sombra	-0.39	1	0.03	0.03	<b>0.03</b>	0.42	<b>0.04</b>	0.19	0.17	<b>0.02</b>
Rendimiento	0.23	-0.27	1	<0.0001	0.35	0.34	0.56	0.93	1	0.9
Fertilización	0.22	-0.27	0.48	1	0.3	0.45	0.49	0.68	0.87	0.62
Aroma	<b>0.45</b>	<b>-0.26</b>	0.12	0.13	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.56
Cuerpo	<b>0.52</b>	-0.1	0.12	0.09	0.76	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.15
Acidez	<b>0.45</b>	<b>-0.25</b>	-0.07	-0.09	0.71	0.68	1	<0.0001	<0.0001	0.06
Sabor	<b>0.54</b>	-0.16	-0.01	-0.05	0.63	0.73	0.82	1	<0.0001	0.76
Preferencia	<b>0.53</b>	-0.17	0.00	-0.02	0.74	0.81	0.82	0.9	1	1
Amargo	0.04	<b>0.29</b>	0.02	0.06	-0.07	0.18	-0.23	0.04	0	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

<sup>1</sup> Rend. = Rendimiento. <sup>2</sup>Fert.= Aplicaciones de fertilizantes.

Las variables aroma, cuerpo y preferencia presentan diferencias estadísticas para los tres niveles altitudinales en estudio, donde las mejores calificaciones aparecen en el nivel alto de altitud. En cambio, acidez y sabor, dos de las variables organolépticas más importantes en la determinación de la calidad de la bebida no presentaron diferencias significativas entre el nivel altitudinal medio y alto, por tanto sus mejores puntajes se encontraron a partir de los 880 msnm (Cuadro 24).

La variable amargo de bebida se encuentra cerca del centro de origen. Esta cercanía indica que el amargo de la bebida presenta baja explicación de su variabilidad con el resto de los factores y variables en estudios para el ACP en cuestión. Sin embargo, las correlaciones muestran que la única correlación significativa del amargo con los factores en estudio fue con el factor sombra (R<sup>2</sup> = 0.29, p = 0.02) (Cuadro 23). Este efecto de la sombra sobre el amargo resultó significativo en el ACV. Los menores puntajes de amargo se obtuvieron a niveles de sombra inferiores al 30 %, niveles superiores al 30 % corresponden a los cafés con mayores calificaciones de amargo (Cuadro 24).



Cuadro 24. Análisis de covarianza de altitud, sombra, rendimiento y fertilización sobre la calidad organoléptica del café.

Factor	Niveles	n	Aroma	Cuerpo	Acidez	Sabor	Amargo	Preferencia
<b>Altitud</b> (msnm)	630 – 850	15	6.12 B <sup>1</sup>	6.34 C	6.25 B	6.10 B	5.93 A	6.25 C
	880 – 1050	23	6.59 AB	6.80 B	6.96 A	6.76 A	6.19 A	6.86 B
	1055 – 1350	29	6.95 A	7.26 A	7.19 A	7.09 A	6.23 A	7.50 A
<i>Covariables</i>								
Sombra			0.15	0.86	0.03	0.32	0.007	0.36
Rendimiento	p		0.97	0.62	0.33	0.71	0.86	0.74
Fertilización			0.99	0.84	0.15	0.18	0.55	0.38
<b>Sombra</b> (%)	0 – 25	13	6.87 A	6.69 A	7.30 A	6.74 A	5.67 A	6.93 A
	30 - 55	22	6.62 A	6.91 A	6.94 A	6.76 A	6.11 B	7.10 A
	60 - 85	32	6.57 A	6.97 A	6.72 A	6.76 A	6.37 B	6.96 A
<i>Covariables</i>								
Altitud			0.003	<0.0001	0.0007	<0.0001	0.16	<0.0001
Rendimiento	p		0.92	0.83	0.267	0.55	0.97	0.55
Fertilización			0.99	0.98	0.15	0.25	0.28	0.44
<b>Rendimiento</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	287 – 762	24	6.72 A	6.82 A	7.01 A	6.73 A	6.11 A	6.94 A
	826 – 1525	21	6.52 A	6.83 A	6.92 A	6.86 A	6.12 A	7.14 A
	1550 – 2605	22	6.68 A	7.04 A	6.77 A	6.68 A	6.22 A	6.94 A
<i>Covariables</i>								
Altitud			0.0026	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.2872	<0.0001
Sombra	p		0.44	0.27	0.23	0.93	0.004	0.96
fertilización			0.77	0.76	0.14	0.13	0.45	0.2
<b>Fertilización</b> (No. Aplicación)	0 – 1	15	6.36 B	6.76 A	7.00 A	6.77 AB	5.95 A	6.88 AB
	2 – 3	29	6.93 A	7.07 A	7.09 A	6.95 A	6.25 A	7.34 A
	>3	23	6.47 B	6.77 A	6.60 A	6.49 B	6.16 A	6.65 B
<i>Covariables</i>								
Altitud			0.007	<0.0001	0.0007	<0.0001	0.36	<0.0001
Sombra	p		0.25	0.40	0.15	0.89	0.007	0.79
Rendimiento			0.82	0.63	0.32	0.70	0.72	0.73

<sup>1</sup> Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

Las aplicaciones de fertilizantes presentaron influencia significativa sobre las variables aroma, sabor y preferencia. Sin embargo, los niveles bajo y alto de aplicaciones de fertilizantes presentaron las menores calificaciones para las variables aroma, sabor y preferencia; el nivel medio de aplicaciones presentó los mejores puntajes para dichas variables (Cuadro 24).

El factor sombra, a excepción de la variable amargo, no presentó ningún efecto sobre las variables organolépticas (Cuadro 23 y 24). Sin embargo, auxiliados de Análisis de Segmentación (ASM) se determinó un subuniverso de observaciones en donde la sombra tuvo efecto significativo bajo ciertas condiciones de altitud. Se realizaron ASM para las variables

aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia. La Figura 12 es un ejemplo de ASM realizado con la variable aroma de la bebida.

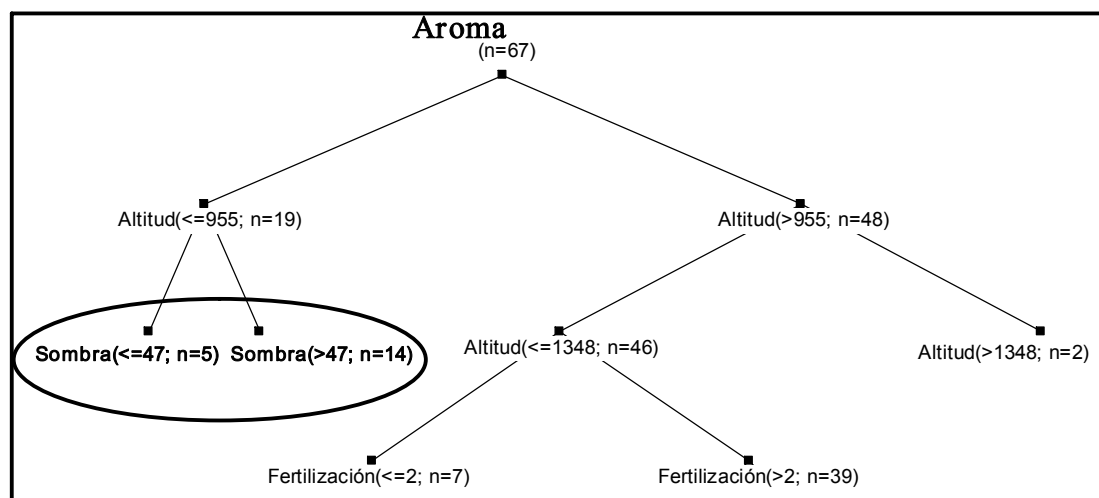


Figura 12. Análisis de segmentación para la variable aroma de bebida en función de la altitud, sombra y fertilización.

La información ofrecida por los ASM permitió realizar análisis de varianzas (ANDEVA) con nuevos parámetros (Cuadro 25). El ANDEVA reveló el efecto de sombra sobre aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia. Sin embargo, como se mencionó, tal efecto está reducido a un subuniverso de observaciones bajo ciertas condiciones de otros parámetros, en este caso altitud.

Cuadro 25. Efecto de la sombra sobre la calidad organoléptica del café.

Altitud (msnm)	Sombra (%)	n	Aroma	Cuerpo	Acidez	Sabor	Preferencia
630 - 955	≤47	14	6.60 B <sup>1</sup>	p > 0.1	p > 0.5	p > 0.6	p > 0.2
	>47	5	5.86 A				
963 - 1225	≤67	22	p > 0.4	6.87 B	p > 0.7	p > 0.5	p > 0.2
	>67	13		7.39 A			
950 - 1293	≤45	15	p > 0.9	p > 0.5	6.90 B	6.63 B	6.83 B
	46-63	10			7.65 A	7.40 A	7.70 A

<sup>1</sup>Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan (p ≤ 0.05). ANDEVA.

Los lotes de café ubicados a menos de 955 msnm con niveles de sombra < 47 % tienen los mayores puntajes de aroma de bebida. En cambio, los lotes ubicados entre 950 – 1293 msnm con niveles de sombra entre 46 – 63 % presentaron mayores puntajes de acidez, sabor y preferencia que niveles de sombra ≤ 45 % (Cuadro 25).

## 4.6 Calidad del Café y su Composición Bioquímica

Con el fin de visualizar las relaciones entre variables de calidad física, organolépticas y composición bioquímicas; con los factores altitud, sombra, rendimiento y fertilización se realizó un ACP y análisis de correlaciones de Pearson. El ACP explicó el 51.6 % de la variabilidad de las variables (CP1 = 32.3 % y CP2 = 19.3 %) (Figura 13).

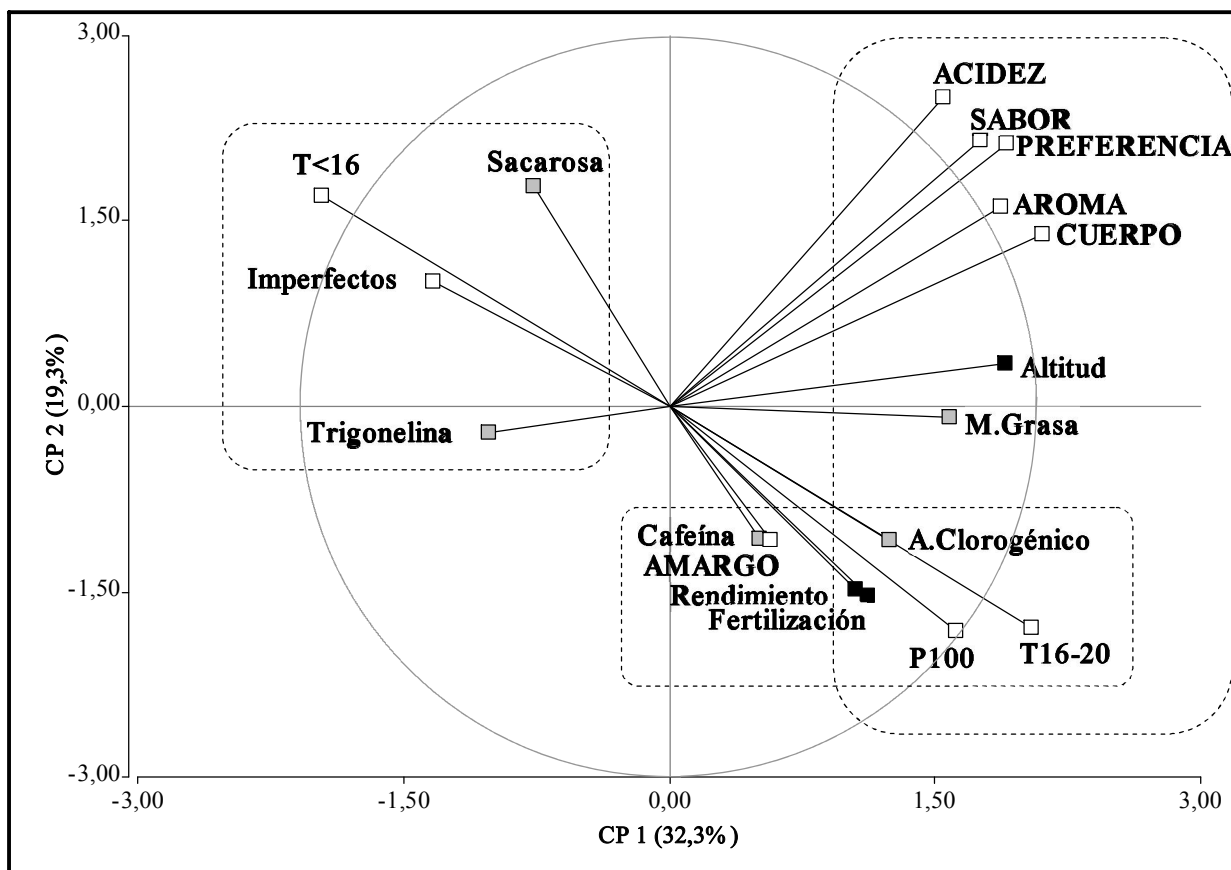


Figura 13. Análisis de componentes principales para altitud, rendimiento, fertilización, variables de calidad y compuestos bioquímicos.

El cuadrante derecho del CP1 y los análisis de correlación muestran correlaciones significativas y positivas entre materia grasa con granos grandes (T16-20) y pesados (P100), y por otro lado con aroma, cuerpo, acidez, sabor, preferencia. Además, el CP1 sugiere correlaciones entre materia grasa con ácidos clorogénicos y cafeína. Sin embargo, la correlación es significativa solo con ácido clorogénico. El ácido clorogénico a su vez presenta

correlación significativa con cafeína y amargo de bebida. Cafeína y amargo de bebida no presentan correlaciones significativas entre sí a pesar de su gran cercanía en el CP1 ( $\theta \leq 5^\circ$ ) (Cuadro 26 y Figura 13).

Cuadro 26. Correlaciones de Pearson entre las variables de calidad y composición bioquímica del grano de café.

R <sup>2</sup> \ p*	Calidad Física <sup>1</sup>				Calidad Organoléptica <sup>2</sup>						Compuestos Bioquímicos <sup>3</sup>				
	T16-20	T<16	IMP	P100	ARO	CUE	ACID	SAB	PREF	AMA	CAF	TRIG	MG	SAC	ACG
<b>T16-20</b>	1	0	<0.001	<0.001	<b>0.02</b>	<b>0.001</b>	0.42	0.14	0.08	<b>0.05</b>	0.1	<b>0.02</b>	<0.001	<b>0.002</b>	<b>0.005</b>
<b>T&lt;16</b>	-0.96	1	0.001	0	<b>0.04</b>	<b>0.002</b>	0.37	0.17	0.11	0.09	0.19	<b>0.01</b>	<0.001	<b>0.004</b>	<b>0.01</b>
<b>IMP</b>	-0.62	0.39	1	0.06	0.07	<b>0.04</b>	0.63	0.13	0.11	<b>0.05</b>	0.08	0.27	0.8	0.09	0.28
<b>P100</b>	0.74	-0.79	-0.23	1	0.15	0.06	0.85	0.62	0.38	0.2	<b>0.004</b>	0.13	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<0.001
<b>ARO</b>	<b>0.28</b>	<b>-0.26</b>	-0.22	0.18	1	0	<0.001	<0.001	<0.001	0.56	0.83	0.08	<0.001	0.71	0.54
<b>CUE</b>	<b>0.38</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.25</b>	0.23	0.76	1	<0.001	<0.001	0	0.15	0.6	<b>0.05</b>	<0.001	0.55	<b>0.04</b>
<b>ACID</b>	0.1	-0.11	-0.06	0.02	0.71	0.68	1	0	0	0.06	0.3	<b>0.06</b>	<b>0.01</b>	0.13	0.54
<b>SAB</b>	0.18	-0.17	-0.19	0.06	0.63	0.73	0.82	1	0	0.76	0.54	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	0.39	0.37
<b>PREF</b>	0.22	-0.2	-0.2	0.11	0.74	0.81	0.82	0.9	1	1	0.88	0.07	<b>0.005</b>	0.83	0.17
<b>AMA</b>	<b>0.24</b>	-0.21	<b>-0.24</b>	0.16	-0.07	0.18	-0.23	0.04	0	1	0.22	0.16	0.71	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>
<b>CAF</b>	0.2	-0.16	-0.21	<b>0.35</b>	-0.03	0.07	-0.13	0.08	0.02	0.15	1	0.02	0.37	0.003	<0.001
<b>TRIG</b>	<b>-0.29</b>	<b>0.32</b>	0.14	-0.19	-0.21	<b>-0.24</b>	-0.23	<b>-0.24</b>	-0.22	-0.17	0.28	1	0.07	0.01	0.74
<b>MG</b>	<b>0.42</b>	<b>-0.46</b>	-0.03	<b>0.32</b>	<b>0.44</b>	<b>0.43</b>	<b>0.31</b>	<b>0.25</b>	<b>0.34</b>	0.05	-0.11	-0.22	1	0.02	0.003
<b>SAC</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.34</b>	<b>0.21</b>	<b>-0.33</b>	-0.05	-0.07	0.19	0.11	0.03	<b>-0.24</b>	-0.36	-0.31	-0.29	1	<0.001
<b>ACG</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.33</b>	-0.13	<b>0.40</b>	0.08	<b>0.26</b>	0.08	0.11	0.17	<b>0.27</b>	0.49	-0.04	0.36	-0.57	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

<sup>1</sup> T16-20 = Tamiz del No. 16 al 20, T<16 = Tamices menores al No. 16, IMP = imperfectos, P100 = peso en g de 100 granos. <sup>2</sup> ARO = Aroma, CUE = Cuerpo, ACID = Acidez, SAB = Sabor, PREF = Preferencia, AMA = Amargo. <sup>3</sup> CAF = Cafeína, TRIG = Trigonelina, MG = Materia Grasa, SAC = Sacarosa, ACG = Acido Clorogénico.

Sacarosa y trigonelina son asociados en el cuadrante izquierdo del CP1 con granos pequeños (T<16) e imperfectos. Sacarosa y trigonelina entre sí presentan correlaciones negativas y significativas. Existe una correlación negativa de sacarosa con T16-20 y P100, amargo de bebida, cafeína, materia grasa y ácido clorogénico. Trigonelina se correlacionó negativamente con T16-20 y cafeína; también presenta una tendencia de correlación negativa con aroma (p=0.08), cuerpo (p=0.05), acidez (p=0.06), sabor (p=0.05), preferencia (p=0.07) y materia grasa (p=0.07) (Figura 13 y Cuadro 26).

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con las variables de calidad física y organoléptica para dilucidar mejor el posible efecto observado en las correlaciones de Pearson entre la calidad física y calidad de la bebida (Cuadro 26 y 27). El T16-20 tuvo efecto sobre la calidad organoléptica. Las muestras de café con mayor contenido de T16-20 (86 - 93 %) produjeron una bebida con mejor aroma, cuerpo y amargo. Mayores concentraciones de granos pequeños T<16 (11 - 33 %) produjeron una bebida con menos aroma y cuerpo. Cafés con altas concentraciones de granos imperfectos (4 - 11 %) produjeron una bebida con menos aroma, cuerpo, acidez, sabor, amargo y preferencia. El P100 no presentó ningún efecto significativo sobre las variables organolépticas, solamente se observó una tendencia de mejoría para la variable cuerpo (Cuadro 27).

Cuadro 27. Efecto de las variables de calidad física sobre la calidad organoléptica.

Variables	Niveles	n	Aroma	Cuerpo	Acidez	Sabor	Amargo	Preferencia
T16-20 (%)	61 - 85	44	6.41 A	6.68 A	6.83 A	6.66 A	6.03 A	6.84 A
	86 - 93	23	7.09 B	7.30 B	7.04 A	6.93 A	6.37 B	7.30 A
T<16 (%)	6 - 10	15	7.07 A	7.37 A	6.90 A	6.72 A	6.33 A	7.23 A
	11 - 33	52	6.52 B	6.76 B	6.90 A	6.87 A	6.10 A	6.93 A
Imperfectos (%)	0 - 1	29	6.91 A	7.19 A	7.22 A	7.05 A	6.29 A*	7.47 A
	4 - 11	38	6.43 B	6.67 B	6.66 B	6.53 B	6.04 B	6.64 B
P 100 (g)	13.55 - 16.37	25	6.50 A	6.68 A*	6.86 A	6.64 A	6.02 A	6.78 A
	16.38 - 19.19	42	6.73 A	7.02 B	6.93 A	6.82 A	6.23 A	7.13 A

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*  $p < 0,1$

Teniendo en cuenta los efectos de los factores evaluados en el presente estudio (altitud, sombra, fertilización y rendimiento) y los reportados por otros estudios se elaboró un diagrama que incluye los factores que influyen en la determinación de la calidad del café. En el diagrama también se muestran algunos factores que de manera general afectan el desarrollo del café. Sin embargo, algunos de ellos presentan muy poca información acerca de su efecto directo sobre la determinación de la calidad del café, tales como: malezas, plagas, tipos de suelo, manejo (plaguicidas), entre otros (Figura 14).

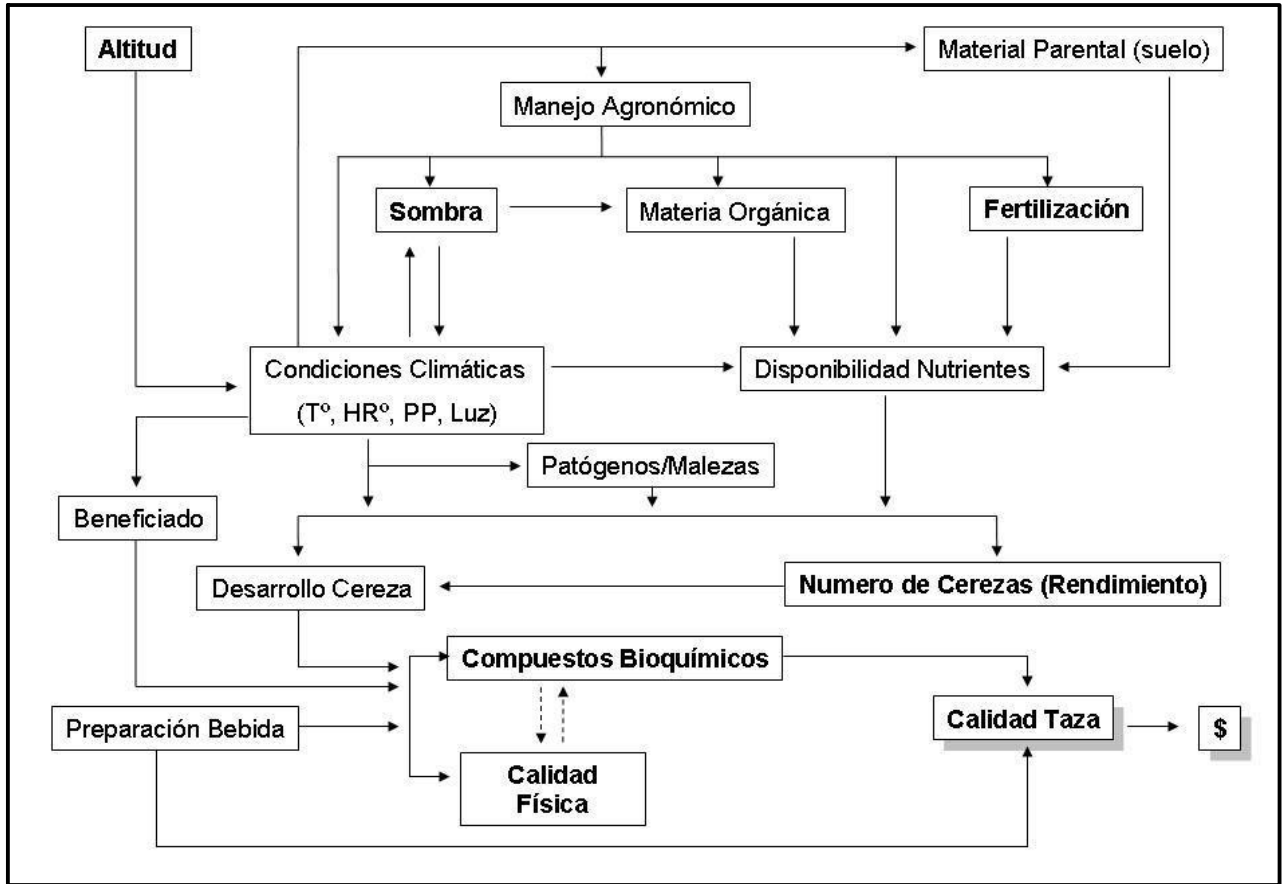


Figura 14. Factores que influyen en la determinación de la calidad final del café. Factores evaluados en el presente estudio se encuentra en negrilla.

#### 4.7 Discriminación Geográfica de la Calidad del Café

Se realizaron análisis de conglomerados (ACM), análisis discriminantes (AD), análisis de componentes principales (ACP) y análisis de covariables (ANCOVA) para determinar si la composición bioquímica y la calidad del café es influenciada por el origen geográfico.

Debido a que las condiciones agroecologías a nivel de departamento son heterogéneas se realizaron los análisis a nivel de municipio. De esta manera se utilizó un área geográfica de menor tamaño con condiciones agroecológicas más homogéneas que las existentes a nivel de Departamento (Cuadro 9 y 10).

El ACM determinó tres agrupaciones principales. Un primer grupo fue comprendido por los municipios de El Cuá, El Tuma-La Dalia, Waslala y Wiwili. El segundo grupo lo formaron Dipilto, San Rafael del Norte y Jinotega. El tercer grupo fue integrado por Matagalpa y San Fernando (Figura 15).

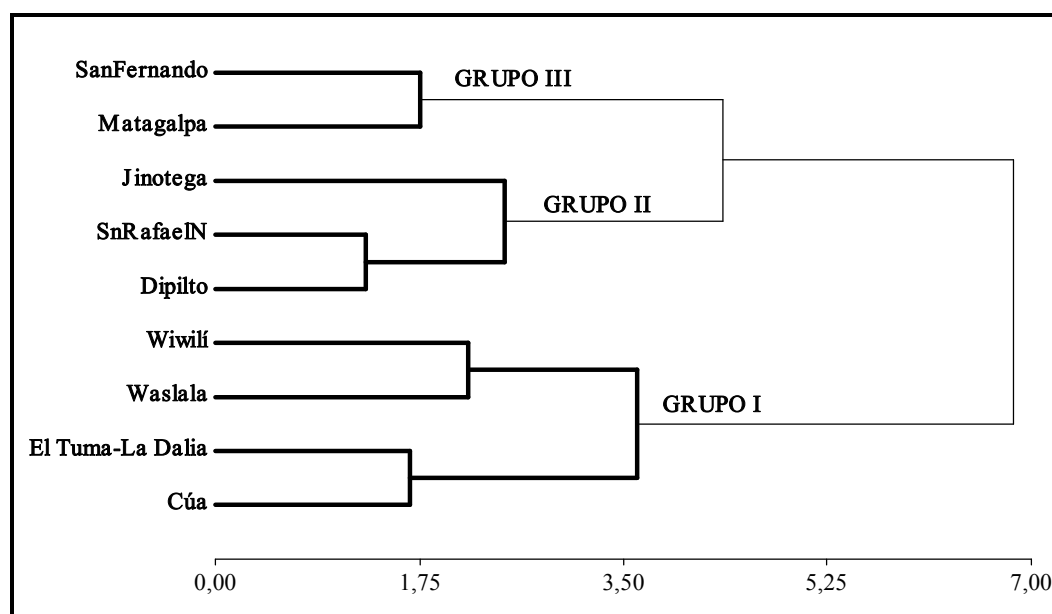


Figura 15. Discriminación de origen por municipio según composición bioquímica de los granos de café. Método de agrupación Ward con distancia Euclidiana (Correlación fonética = 0.68).

**Grupo I.** Con excepción del municipio de Wiwili (Departamento de Jinotega); los municipios de Waslala (RAAN), El Tuma-La Dalia (Dpto. de Matagalpa) y El Cuá (Dpto. de Jinotega)

presentaron altitudes promedios menores a 900 msnm (Cuadro 9). Wiwili presentó una altitud promedio de 1052 msnm. Por otro lado, los municipios Waslala, El Cuá y Wiwili se caracterizaron por presentar un nivel de manejo tradicional (T1) donde el uso de insumos es reducido (fertilizantes y plaguicidas), así como por el uso de niveles de sombra entre 56 – 60 %. Particularmente, el municipio de Wiwili se caracterizó por presentar los niveles más bajos en aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas en comparación con los demás municipios. El municipio de El Tuma-La Dalia presentó el nivel tecnológico más alto (T3) y niveles de sombra del 38 % (Cuadro 10 y 13).

**Grupo II.** Los municipios de Jinotega y San Rafael del Norte (Dpto. de Jinotega) presentaron altitudes promedios de 1050 msnm. Dipilto (Dpto. de Nueva Segovia) presentó una altitud promedio de 1145 msnm (Cuadro 9). San Rafael del Norte y Dipilto presentaron un nivel tecnológico medio (T2) y niveles de sombra del 67 y 57 % respectivamente. Jinotega presentó el nivel tecnológico más alto (T3) y niveles de sombra promedios del 51 % (Cuadro 10 y 13).

**Grupo III.** Los municipios de Matagalpa (Dpto. de Matagalpa) y San Fernando (Dpto. de Nueva Segovia) presentaron los lotes en mayores altitudes que el Grupo I y II. Los lotes de Matagalpa presentaron altitudes promedios de 1322 msnm y los de San Fernando presentaron altitudes de 1296 msnm. Ambos municipios presentaron un nivel tecnológico medio (T2) y porcentajes de sombra menores al 20 % (Cuadro 10).

Luego con el fin de validar la agrupación de municipios hecha por el ACM (Figura 15) se realizó un análisis discriminante. Trigonelina y materia grasa fueron los dos compuestos bioquímicos que más contribuyen a la discriminación de los lotes de café de los diferentes municipios. De manera general, el AD ubicó al Grupo I en el cuadrante derecho del eje canónico I, y a los Grupos II y III en el cuadrante izquierdo del mismo eje (Figura 16). Sin embargo, existen cafés del grupo II que se ubicaron en el cuadrante derecho del eje canónico 1 junto con el Grupo I. De igual forma se observó un par cafés del Grupo I en el cuadrante derecho del eje canónico 1.

El Grupo I se discriminó por completo del Grupo III. El Grupo I se caracterizó por mayores contenidos de trigonelina y sacarosa, así como menores concentraciones de materia grasa,



ácidos clorogénicos y cafeína. Por el contrario, el Grupo III presentó mayor acumulación de materia grasa, cafeína y ácidos clorogénicos, así como menores concentraciones de trigonelina y sacarosa. El Grupo II presentó un comportamiento similar al Grupo III en relación con las acumulaciones de los compuestos bioquímicos. De acuerdo a la posición del Grupo II y III con relación al eje central (0,0) y los compuestos bioquímicos, el AD sugiere que el Grupo II presentó menores acumulaciones de materia grasa, ácidos clorogénicos y cafeína que el Grupo III (Figura 16).

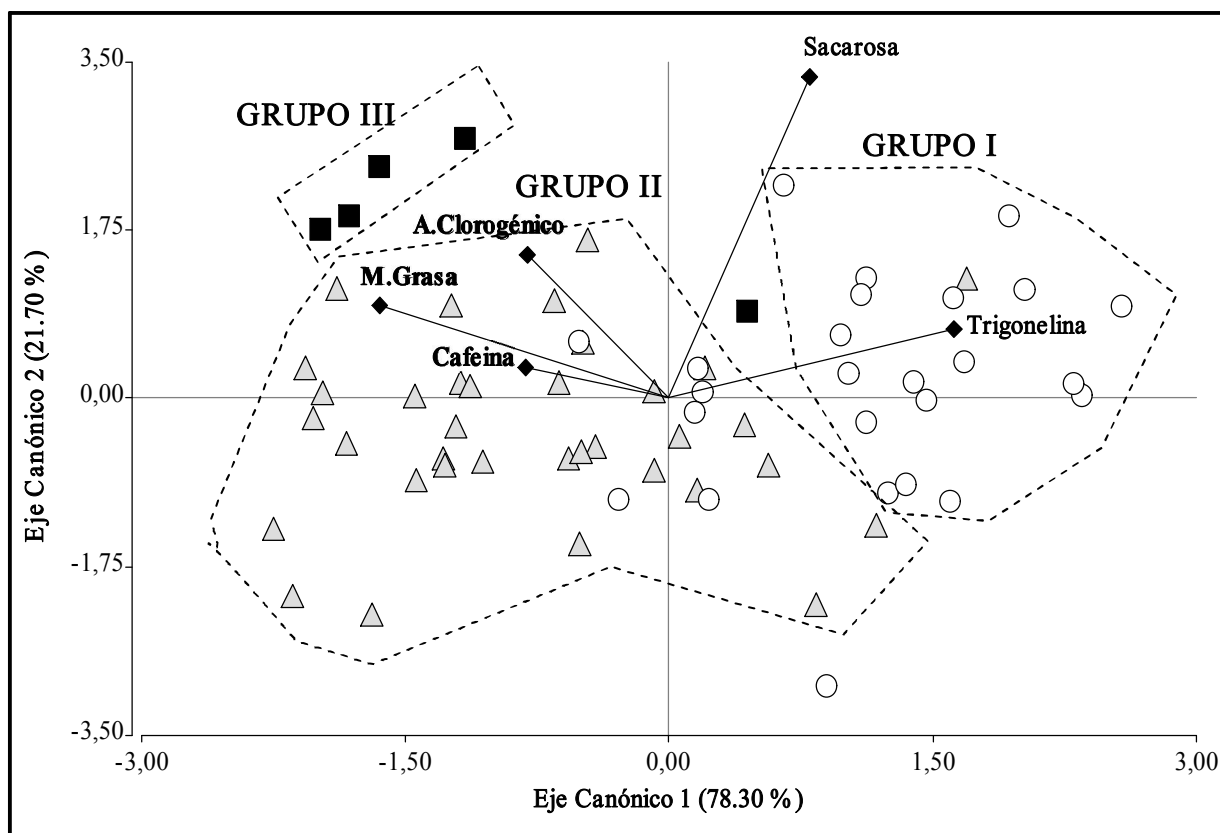


Figura 16. Análisis discriminante por municipio en función de su composición bioquímica.

Grupo I = Waslala, El Cuá, El Tuma-La Dalia y Wiwilí; Grupo II = Jinotega, San Rafael del Norte y Dipilto; Grupo III = Matagalpa y San Fernando.

Por otro lado, el Grupo I presentó algunos lotes que se mezclaron con el Grupo II y viceversa. Esto indica que dichos lotes del Grupo I presentan características similares al Grupo II y viceversa (Figura 16).

Se realizó un ACP y análisis de covarianzas (ACV) para determinar las relaciones entre los tres grupos creados con la calidad física y organoléptica del café (Figura 17).

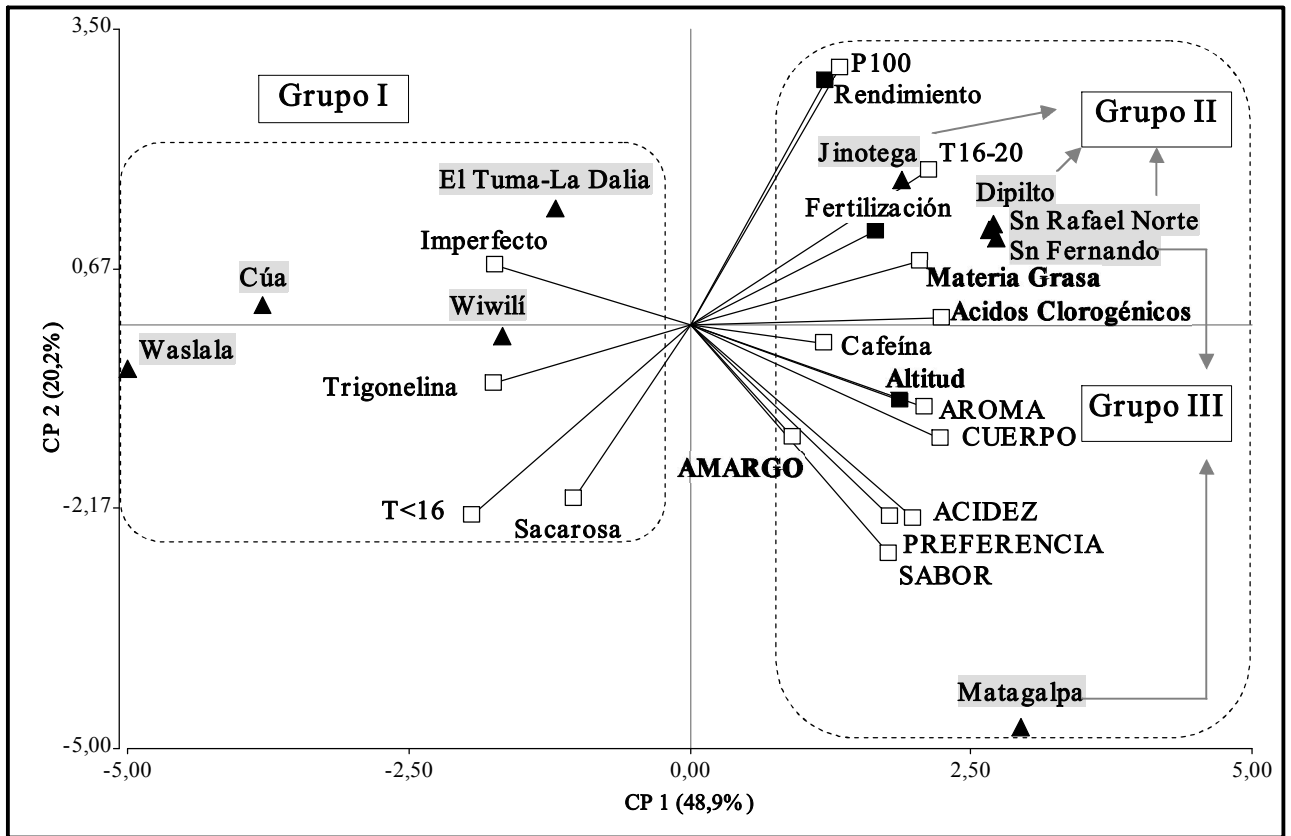


Figura 17. ACP para calidad del café (física y organoléptica), compuestos bioquímicos y factores (altitud, rendimiento y fertilización) de acuerdo al municipio de origen.

El CP1 logró discriminar al Grupo I de los Grupos II y III (Figura 17). Sin embargo, no fue tan eficiente en la discriminación entre Grupo II y III como el AD anterior (Figura 16 y 17). Las asociaciones mostradas entre calidad del café (física y organoléptica) con la composición bioquímica y factores (altitud, rendimiento y fertilización) mantienen las relaciones mostradas entre ellas en análisis anteriores (Figura 13). Los Grupos II y III se asociaron a granos de café con mayor tamaño y peso, así como con mayores valores de aroma, cuerpo, acidez, sabor, preferencia y amargo. En este sentido, el ACP sugiere que los cafés del municipio de Matagalpa (Grupo III) mostraron los mejores puntajes de calidad organoléptica. Jinotega por otro lado presentó granos de mayor tamaño y peso. El Grupo I se asoció con mayores contenidos de granos pequeños e imperfectos (Figura 17).

## 5 DISCUSION

### 5.1 Relación entre altitud, sombra, rendimiento y fertilización de los lotes en estudio por su ubicación geográfica

La relación entre altitud y sombra – mayores niveles de sombra a menor altitud y viceversa – (Cuadro 14 y 15) definió en gran medida la determinación tanto del número de aplicaciones de fertilizantes y como el rendimiento de grano. En lo referente a la influencia de la sombra sobre el rendimiento, la gran mayoría de los productores, están conscientes que el incremento de los niveles de sombra implica una disminución automática del rendimiento de grano (Perfecto *et al.* 2004) y bajo este conocimiento se deriva otras acciones de manejo que a continuación se describen. En general, los productores manejan mayores niveles de sombra en zonas bajas o subóptimas (<1000 msnm) como una estrategia ante dos situaciones. La primera es que bajo condiciones de bajura, las altas temperaturas, y en algunos casos, el déficit hídricos afectan negativamente el desarrollo del cafeto (Vaast *et al.* 2005a). Bajo estas condiciones la sombra es una solución ante tal dilema (Vaast *et al.* 2005b; Somarriba *et al.* 2004). La segunda situación es que bajo las condiciones de crisis de bajos precios del café, la reducción del uso de insumos, particularmente de fertilizantes es la medida más común entre los productores (Bacón 2005; Dzib 2003). En este sentido, el uso de mayores niveles de sombra les permite disminuir la producción y la demanda de la planta del café por nutrientes (Somarriba *et al.* 2004). Está reducción en el rendimiento es resultado de una menor floración por la reducción de luminosidad incidente debido a la sombra. Existe también otro grupo de productores que manejan tradicionalmente sus cafetales con una filosofía de bajos insumos, en donde la sombra ha sido una herramienta clave que les ha permitido alargar la vida de sus plantaciones por muchos años.

Por el otro lado, lotes ubicados en regiones bajo condiciones más favorables para el cultivo de café (> 1000 msnm) y que históricamente han sido reconocidos como zonas que producen un buen café (Kuhl 2004) presentaron mayores rendimientos y un niveles de manejo medios a altos (T2 a T3) que las zonas bajo condiciones subóptimas mencionadas (Cuadro 10).

En lo referente al uso de la sombra bajo condiciones óptimas, se observó que existen dos tendencias. La primera se encuentra en lotes con niveles de sombra < 25 % ubicados a altitudes 1260 - 1350 msnm, como los lotes ubicados en Matagalpa y San Fernando. La otra tendencia es el uso de niveles de sombra altos (50 – 70 %) a pesar de encontrarse en condiciones sin limitaciones de temperatura y humedad, tal es el caso los lotes ubicados en Jinotega, Dipilto y San Rafael del Norte (Cuadro 9, 10, 13). La primera tendencia sigue la teoría planteada por Muschler (2004), donde los productores mencionan que bajo dichas condiciones (óptimas) niveles de sombra mayores no son necesarios y por el contrario pueden favorecer apariciones de patógenos. La segunda tendencia sigue la lógica mencionada bajo condiciones bajura donde el manejo de mayores niveles de sombra es una estrategia de reducción de insumos y alargar la vida del cafetal. Obviamente la reducción de insumos entre estos productores y los productores de zonas subóptimas es a diferente escala, puesto que para los primeros el ahorro de insumos los sitúa en T2 y para los segundo en T1. Esta diferencia se ve materializada en los rendimientos, donde los productores T1 no alcanzaron a llegar a los 800 kg ha<sup>-1</sup> y los T2 sobrepasan los 1300 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 10).

## **5.2 Calidad del café y su composición bioquímica**

Granos de café de mayor tamaño son productos de una maduración total. La maduración total del fruto (grano) conlleva una serie de procesos y transformaciones bioquímicas dentro del grano que permiten acumular compuestos que favorecen la obtención de una bebida de café de calidad. Dentro de los principales cambios se encuentran la degradación y síntesis de compuestos como trigonelina, ácidos clorogénicos, sacarosa, materia grasa y cafeína. En el presente estudio los compuestos materia grasa, ácidos clorogénicos y cafeína se caracterizaron por presentar sus mayores concentraciones en granos grandes y de mayor peso. En cambio sacarosa y trigonelina, fueron compuestos característicos de granos pequeños e imperfectos que no lograron alcanzar la maduración completa (Cuadro 26).

Materia grasa fue el único compuesto que se correlacionó marcadamente con la producción de una bebida de calidad. Materia grasa influyó positivamente las características deseables de la bebida: aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia (Figura 13 y Cuadro 26). Esta relación entre materia grasa y mejor calidad de organoléptica ha sido encontrada en diferentes estudios

(Franca *et al.* 2005b; Vaast y Bertrand 2005; Decazy *et al.* 2003; Maeztu *et al.* 2001). Las diferencias entre las concentraciones de materia grasa en granos grandes y pequeños indica una mayor acumulación de dicho compuesto conforme ocurre el desarrollo del grano del café en el interior de la cereza. Del tal forma, que granos que han alcanzado (finalizado) por completo su maduración presentan mayores acumulaciones materia grasa que granos que todavía se encuentran en proceso de maduración.

Ácidos clorogénicos fueron asociados a la producción de una bebida con mayor amargo y cuerpo (Cuadro 26). Esta asociación entre amargo y ácidos clorogénicos ha sido documentada en diferentes momentos (Vaast *et al.* 2005a; Illy y Viani 1996). El amargo se debe a que durante el proceso de tostado, los ácidos clorogénicos sufren un proceso de hidrólisis que libera residuos de ácidos quínicos y compuestos fenólicos. Dichos compuestos son precursores del amargo y astrigencia de la bebida (Bertrand *et al.* 2003; Clifford 2000 y 1999)

Cafeína no se correlacionó con ninguna de las características organolépticas (Cuadro 26). Los contenidos de cafeína fueron correlacionados con granos pesados y en alguna medida con granos grandes. El ACP mostró una fuerte relación entre cafeína y amargo de la bebida. Relaciones similares son encontradas en datos publicados por Decazy *et al.* (2003). Sin embargo, la relación mostrada por el ACP entre cafeína y amargo es probable que no se real. En primer lugar, no existe relación significativa entre ambas variables. Su cercanía puede deberse a un tira y encoge característico de este tipo de análisis, ya que ambas presentan correlaciones similares casi con las mismas variables lo que las puede haber ubicado en esa posición de cercanía. Illy y Viani (1996) mencionan que la cafeína se encuentra correlacionado con los ácidos clorogénicos al formar parte de un complejo de compuestos bioquímicos de mayor complejidad. Esto podría explicar la cercanía con el amargo. Por ello, cafeína puede ser un indicador de las concentraciones de ácidos clorogénicos y por ende del amargo de la bebida.

Trigonelina se correlacionó negativamente con granos de mayor de tamaño, así como con las variables organolépticas aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia (Figura 13 y Cuadro 26). Durante el desarrollo inicial del fruto (verde) se produce una mayor acumulación de trigonelina. Está acumulación disminuye conforme avanza el proceso de maduración del

grano. Razón por la cual se encontró mayor acumulación de dicho compuesto en granos de café de menor tamaño que no han alcanzado maduración completa del grano. La trigonelina durante el tostado por efecto de la pirolisis produce la liberación de ácido nicotínico. El ácido nicotínico se ha asociado al sabor amargo de la bebida (Clifford 1985; Taguchi *et al.* 1985). Sin embargo, en el presente estudio no presentó relación positiva con el amargo. Sin embargo, no se descarta el efecto negativo sobre la calidad organoléptica. Por tanto, las mayores acumulaciones del ácido nicotínico y menores concentraciones de materia grasa son las principales razones de la menor calidad de bebida producida de granos pequeños e imperfectos (inmaduros).

Sacarosa, se correlacionó negativamente con todos los demás compuestos bioquímicos analizados (Cuadro 26). Su mayor acumulación sucedió en granos pequeños e imperfectos de lotes ubicados en condiciones de altas temperaturas, baja humedad y con deficiencias nutricionales (Figura 13). Por el contrario, Vaast *et al.* (2005a) encontró un incremento en el contenido de sacarosa en condiciones de menor temperatura y mayor humedad relativa. Bajo condiciones de altas temperatura y pobre aporte nutricional se presentan problemas de déficit hídricos en ciertos periodos de desarrollo del grano, así como déficit de carbohidratos. Este tipo de deficiencia influye negativamente sobre la enzima amilasa de tal forma que disminuye su actividad y favorece el incremento de la sacarosa; razón por la cual los contenidos de este compuesto son mayores en los granos pequeños e imperfectos (Valencia 1973). En el presente estudio, sacarosa a pesar de no presentar correlaciones significativas con las variables organolépticas, por correlacionarse positivamente con granos pequeños e imperfectos y negativamente con los contenidos de materia grasa (Figura 13 y Cuadro 26), sugiere que los mayores contenidos de sacarosa son un indicativo de baja calidad de taza.

### **5.3 Influencia de la altitud, sombra, fertilización y rendimiento sobre la calidad del café**

La altitud fue el factor más determinante en la definición de la calidad del café. Sombra, fertilización y rendimiento ejercieron un efecto positivo pero en menor intensidad que altitud. La altitud favoreció la producción de granos de mayor tamaño y peso (Cuadro 19). El

incremento en tamaño y peso implicó una mayor acumulación de materia grasa. La mayor acumulación de materia grasa favoreció el aumento en la intensidad de las características organolépticas: aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia (Figura 13 y Cuadro 26).

Este efecto positivo de altitud sobre la calidad del café ha sido mencionado en diferentes estudios (Vaast *et al.* 2005a; Decazy *et al.* 2003; Figueroa *et al.* 2000). El incremento altitudinal provoca cambios benéficos en las condiciones ambientales en las que se desarrolla el café y sus frutos. La disminución de la temperatura afecta el tiempo de maduración propiciando un mejor desarrollo de la cereza y consecuente llenado de grano. Lo que se expresa en la producción de granos más grandes y pesados (Vaast *et al.* 2005b; Wintgens 2004; Alarcón *et al.* 1996). Esta correlación negativa entre la temperatura y el tiempo de maduración del fruto fue demostrado por Jaramillo y Guzmán (1984); quienes al evaluar la influencia de la temperatura del aire sobre el crecimiento y desarrollo del café (var. Caturra) encontraron que la disminución en la temperatura del aire implicó un mayor periodo entre la floración y maduración del fruto.

Por otro lado, el incremento de la humedad relativa y disminución de la temperatura reduce la transpiración (Descroix y Snoeck 2004); esta reducción evita los desbalances hídricos entre el agua perdida por la transpiración y la absorbida por las raíces como en el caso de los cafetos bajo condiciones de estrés hídrica. Estos desbalances pueden provocar que la planta tome agua de otros órganos como los frutos para suplir la demanda de la transpiración, esto tendría como consecuencia la pérdida de turgencia celular en los tejidos y una consecuente disminución en el tamaño del grano (Vaast *et al.* 2002; Huerta 1962).

La sombra mejoró la calidad del café (Cuadro 19 y 25). Esta mejoría se debe a que la sombra al igual que el incremento altitudinal provoca una disminución en la temperatura así como un aumento en la humedad relativa (Vaast *et al.* 2005b). Produciendo de esta forma el efecto positivo sobre el desarrollo del fruto y grano de café mencionado anteriormente. Sin embargo, los resultados indican que el efecto de la sombra no logra igualar el efecto ejercido por la altitud sobre la calidad del café.

Los mayores niveles de sombra favorecieron la producción de granos de mayor tamaño y peso, así como disminución de granos pequeños e imperfectos que aquellos lotes con menores niveles de sombra. El efecto positivo sobre la calidad física se presentó en lotes de café bajo condiciones subóptimas y óptimas (630 – 1350 msnm) e independiente del nivel de fertilización y rendimiento. Sin embargo, con la calidad organoléptica no presentó efectos significativos bajo todas las condiciones de altitud, fertilización y rendimiento. Solamente se encontró efecto significativo sobre la calidad organoléptica (cuerpo, acidez, sabor y preferencia) en lotes entre 955 – 1250 msnm donde los niveles de aplicaciones de fertilizantes son medios a altos ( $\geq 2$  aplicaciones). Esto indica que la sombra en combinación con la fertilización puede mejorar la calidad organoléptica del café aun en condiciones óptimas. Eso explicaría por que la sombra no logró tener efecto sobre la calidad organoléptica en aquellos lotes ubicados en bajura ( $< 900$  msnm) con bajos niveles de fertilización.

Los efectos benéficos de los árboles sobre el sistema de producción cafetalero no solamente se remiten a la mejoría en la calidad del café, regulación de la vida útil y demandas nutricionales la plantación como se mencionó antes. Existen otros beneficios de igual importancia tanto para el productor como para el medio ambiente. Muchos de estos beneficios brindados por los árboles fueron reconocidos por los productores en el presente estudio. Entre ellos se encuentran venta y/o consumo de madera (ej. *Cordia alliodora*), leña (ej. *Inga sp*) y frutos (ej. Cítricos y *Persea sp.*) (Somarriba *et al.* 2004). Estimulación del ciclaje de nutrientes por la biomasa aportada de las podas y hojarasca, así como incorporación de nutrientes al sistema a través de la fijación biológica por especies fijadoras (Kass *et al.* 1998; Nair *et al.* 1998; Willson 1985).

El sistema de café con sombra, también favorece la conservación de biodiversidad al ofrecer hábitat, alimento y refugio a muchas especies de fauna y flora silvestre. Además, pueden servir de corredores biológicos a especies silvestres migratorias o que se mueven entre áreas de conservación (habitats fuentes) (Somarriba *et al.* 2004; Perfecto *et al.* 2004; Moguel y Toledo 1999). En el caso particular del estudio, los lotes de café de los municipios de Wiwili, El Cuá y Waslala presentaron tipologías de sombra ricas en especies arbóreas. Así como, una diversidad estructural tanto vertical como horizontal (Cuadro 14). Estas características de las tipologías de sombra presentes pueden jugar un papel importante en la conservación de la



biodiversidad al encontrarse dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera de Bosawas.

Las aplicaciones de fertilizantes realizadas por los productores en diferentes momentos jugaron un rol importante en la formación de granos de mayor tamaño y peso, así como la reducción de granos imperfectos. Esto fue acompañado de una mayor acumulación de materia grasa y reducción de los contenidos de trigonelina. Lo que produjo una mejor calidad de bebida, mejorando los atributos de aroma, sabor y preferencia. Por otro lado, también se logró observar como el exceso de fertilización pueden afectar negativamente la calidad de bebida. Esto es resultado del desconocimiento de las demandas reales de las necesidades nutricionales del cultivo por parte del producto (Cuadro 24).

El factor rendimiento se correlacionó positivamente con las variables de tamaño ( $r^2 = 0.52$  y  $p = 0.0001$ ) y peso de grano ( $r^2 = 0.43$  y  $p = 0.0003$ ), de tal forma que granos grandes (86 % en T16-20) y pesados (17.34 g en P100) se produjeron a mayores rendimientos de granos (1550 – 2605 kg ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 18 y 19). Este incremento en tamaño y peso de grano fue acompañado por mayores acumulaciones de materia grasa (Cuadro 26). Este comportamiento difiere a lo planteado por otros estudios, en donde se indica que mayor número frutos (lo que implica mayores rendimientos) provoca una competencia por carbohidratos entre los frutos en desarrollo y consecuentemente granos de menor tamaño y/o defectuosos (Vaast *et al.* 2005c).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los mayores rendimientos encontrados en el presente estudio sucedieron bajo dos condiciones; primero, los lotes de café se encontraban en zonas de mayor altitud (óptimas) donde los niveles de sombra eran reducidos, estimulando de esta manera una mayor carga de frutos en los cafetos; y segundo, bajo estas condiciones los productores se caracterizaron por realizar un mayor aporte de nutrientes en los diferentes periodos del desarrollo del grano (Figura 13). Estas condiciones de mayor altitud y disponibilidad de nutrientes (durante el desarrollo del grano) pudieron haber disminuido la competencia entre granos reportada en diferentes trabajos, de tal forma que al obtener mayores rendimientos no implica una disminución automática en el tamaño y peso de grano.

## 5.4 Discriminación por origen

De acuerdo a su composición bioquímica y calidad (física y organoléptica) del café se definieron tres grupos de municipios (Figura 15-17). Esta agrupación fue el resultado de la combinación de las concentraciones de los compuestos bioquímicos presentes en los granos de café. Como se mencionó en el acápite anterior, los contenidos de compuestos bioquímicos en el grano de café son influenciados por las condiciones agroecológicas y de manejo (altitud, sombra, fertilización y rendimiento) en las que se desarrolla y madura el fruto del café. Por ello, cafés de municipios diferentes expuestos a condiciones agroecológicas y de manejo en común, produjeron café con características bioquímicas y organolépticas muy similares (Cuadro 9-10 y Figura 17).

El Grupo I (G-I) fue compuesto por Waslala, Wiwili, El Cuá y El Turma-La Dalia. El Grupo II (G-II) se formó por Jinotega, San Rafael del Norte y Dipilto. El Grupo III (G-III) fue compuesto por Matagalpa y San Fernando (Figura 15-17).

El G-I se caracterizó por presentar mayor producción de granos pequeños e imperfectos, mayores acumulaciones de trigonelina y sacarosa que materia grasa; y por consiguiente una menor calidad de bebida (tal y como se explicó en el acápite anterior). G-I hace visible como las deficiencias y/p excesos de factores tales como altitud, sombra y manejo influyen negativamente en la determinación de la calidad. Por ejemplo, el municipio de Wiwili cuenta con una altitud superior a los 1050 msnm y niveles de sombra medios a altos ( $58 \pm 20$  %). Sin embargo, muy probablemente debido al casi nulo aporte de fertilizante presentó calidades (pobres) de café similares a cafés producidos a menos de 900 msnm (Cuadro 10).

Los G-II se produjo granos más grandes y mayor acumulación de materia grasa que G-I. Produciendo de esta forma una bebida con mejor calidad. Los lotes se ubicaron a altitudes oscilantes a los 1050 msnm, manejos medios a altos y niveles de sombra  $> 50$  %. Todo ello influyó en la determinación de un café de mejor calidad. G-III presentó mayores concentraciones de materia grasa y por ende mejor calidad de bebida que G-II. Los factores que jugaron el papel más importante fueron altitud ( $> 1290$  msnm) y la fertilización.

Los compuestos bioquímicos que más ayudaron a la diferenciación de los lotes de café fueron trigonelina, sacarosa, materia grasa y ácidos clorogénicos. Siendo trigonelina y sacarosa compuestos característicos de los municipios con menor calidad de bebida. Materia grasa fue el compuesto característico de los municipios con mejor calidad de bebida.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La definición de la calidad de café resultó ser un proceso complejo en el que intervienen un gran número de factores e interacciones con diferentes intensidades. Sin embargo, existen algunas condiciones y/o factores que ejercen una influencia importante independientemente de los demás factores. En este sentido, la altitud fue el factor que más influyó sobre la calidad del café y su composición bioquímica. Aunque altitud es una ventaja comparativa que no puede ser igualada por completo por los caficultores de regiones de menor altitud, el manejo de la sombra y la fertilización (dosis y épocas) podrían suplir o compensar en algún grado el efecto de la altitud sobre la determinación de la calidad del café.

El efecto significativo que mostró individualmente altitud, sombra, rendimiento o fertilización sobre la calidad del café y su composición bioquímica fue independiente del efecto resto de los factores. Esto implica, por ejemplo, que el efecto significativo de los diferentes niveles de sombra sobre el tamaño de grano fue independiente de los niveles de altitud, rendimiento de grano y fertilizaciones.

Lograr granos de café de mayor tamaño y peso, así como reducir la aparición de granos con defectos es una condición básica que asegura en gran medida la producción de un café de calidad. Por ello, es importante definir un plan de manejo (sombra, nutrición, plagas, etc.) que tome en cuenta este objetivo, así como las condiciones agroecológicas presentes y los factores socioeconómicos del productor, especialmente para aquellos productores que se encuentran bajo condiciones subóptimas para el desarrollo del café.

Bajo condiciones agroecológicas óptimas para el desarrollo del café, el manejo agronómico adecuado permite lograr altos rendimientos de granos sin producir competencia por carbohidratos por parte de los frutos de café.

Ciertos compuestos bioquímicos mostraron una fuerte relación con las características organolépticas (materia grasa, ácido clorogénico, sacarosa y trigonelina); de tal forma que podrían utilizarse como indicadores de la calidad del café. Al usar el contenido de dichos compuestos como indicadores, se podría eliminar el error humano debido a las discrepancias

que existen entre catadores con diferentes experiencias. Materia grasa se asoció positivamente a la calidad del café, mientras que trigonelina y sacarosa se asociaron negativamente a la calidad. Cafeína no mostró ninguna correlación directa con la calidad organoléptica. El ácido clorogénico presentó características intermedias.

La sombra juega un rol importante en la reducción del uso de insumos y consecuente disminución de costos de producción, especialmente en aquellos productores de bajos a medios recursos. Por otro lado, se observó una diferencia en el nivel de desarrollo tecnológico (manejo) entre los productores ubicados en las zonas menor altitud (<1000 msnm) y los ubicados a mayor altitud (>1000 msnm). De manera general, los productores de zonas bajas se caracterizaron por tener fincas de menor tamaño, menores densidades de siembra, uso de mayores niveles de sombra y reducido uso insumos en contraposición a los productores de zonas altas. Estas limitaciones de manejo junto con las condiciones subóptimas prevalecientes influyeron en la definición de una menor calidad de café.

A nivel de departamentos se observaron diferencias y similitudes en la calidad de café. Estas diferencias y similitudes se mostraron de manera más clara a nivel de municipio, donde municipios de diferentes departamentos pero con condiciones agroecológicas (altitud, temperatura, humedad relativa, precipitación, etc.) y de manejo (uso de sombra e insumos) similares presentaron calidades de café semejantes. Al final, los procesos que determinan la calidad del café no reconocen límites administrativos sociopolíticos (países, departamentos, municipios), sino las condiciones agroecológicas y actividades de manejo que imperan en el proceso de crecimiento y desarrollo del café y sus frutos.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- ABECAFE. 1998. Glosario de términos de sabor. Edición especial. p 38-340,42.
- Alarcón M, O; Aldazabal, M; Martínez, J. 1996. Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. *Centro Agrícola* 23(3): 11-16.
- Alcázar, A; Jurado, J; Martín, M; Pablos, F; González, A. 2005. Enzymatic-spectrophotometric determination of sucrose in coffee beans. *Talanta In press*.
- Amorin, H; Silva, D. 1968. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. *Nature* 219: 381-382.
- ANACAFE. 1999. Manual de Caficultura Orgánica. Guatemala. 159 p
- Anderson, K; Smith B; W. 2002. Chemical Profiling To Differentiate Geographic Growing Origins of Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:2060-2075.
- Asociación de Cafés Especiales de Nicaragua (ACEN); Technoserve 2003. Secretos de Calidad: Lecciones de la Taza de la Excelencia. 26 p.
- Avelino, J; Barboza, B; Araya, J; Fonseca, C; Davrieux, F; Guyot, B; Cilas, C. 2005. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(11): 1869-1876.
- Avelino, J; Perriot, J; Guyot, B; Pineda, C; Decazy, F; Cilas, C. 2002. Identifying terroir coffees in Honduras. *Plantations, Recherche, Developpement*. p 6 – 16.
- Bacon, C. 2005. Confronting the Coffee Crisis: Can Fair Trade, Organic, and Specialty Coffees Reduce Small-Scale Farmer Vulnerability in Northern Nicaragua? *World Development* 33(3): 497-511.
- Barrios O, AW; Ovalle de la Vega, CF; Davila R, RJ; Valdez L, RA; Solís G, ME; Muñoz G, CR. 1998. Beneficiado Húmedo y su Control de Calidad. *In* Manual de Caficultura. ANACAFE. Ciudad de Guatemala. Guatemala. p 229-259.
- BCN. 2005. Exportaciones Fob por principales productos según actividad económica (en línea). Consultado 10 agosto 2005. Disponible en <http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/anual/>
- Bertrand, B; Rapidel, B. 1999. Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. San José. C.R. IICA-PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR. 496 p
- Bertrand, C; Noirot, M; Doulebeau, S; de Kochko, A; Hamon, S; Campa, C. 2003. Chlorogenic acid content swap during fruit maturation in *Coffea pseudozanguebariae*: Qualitative comparison with leaves. *Plant Science* 165(6): 1355-1361.

- Bornemisza, E. 1988. Oligoelementos en la nutrición del cafeto. *In* Curso Regional sobre Nutrición Mineral del Café. IICA-PROMECAFE. San José, Costa Rica. p 135-140.
- Brownbridge, J; Gebreigzabhair, E. 1968. The quality of some of the main Ethiopian mild coffees. *Turrialba* 18(4): 361-372.
- Buenaventura S, C; Castaño C, J. 2002. Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café provenientes del ecotopo 206B en Colombia. *CENICAFE* 53(2): 119-131.
- Casal, S; Oliveira, M; Alvarez, M; Ferreira, M. 2000. Discriminate Analysis of Roasted Coffee Varieties for Trigonelline, Nicotinic Acid, and Caffeine Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 3420-3424.
- CCI. 1992. *Café: Guía del Exportador*. Suiza. Centro de Comercio Internacional (CCI). 402 p.
- CEPAL 2002. *Centroamérica: el impacto de la caída de los precios del café en 2001*. 60 p.
- CETREX. 2004. *Estadísticas de Exportaciones de Café Verde (en línea)*. Consultado el 10 agosto del 2005. Disponible en <http://www.cetrex.com.ni/cafe.html>.
- Charurin, P; Ames, J; Castillo, M. 2002. Antioxidant Activity of Coffee Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3751-3756.
- Clarke, R. 1985a. Green Coffee Processing. *In* Clifford, M; Willson, K Eds. *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Great Britain. Croom Helm. p 230-250.
- Clarke, R. 1985b. The Technology of Converting Green Coffee into The Beverage. *In* Clifford, M; Willson, K Eds. *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Great Britain. Croom Helm. p 375-393.
- Cleves S, R. 1998a. *Tecnología en Beneficiado de Café*. San José, C.R. 223 p.
- Cleves S, R. 1998b. Factores que inciden en la calidad del café originados en el cultivo y la recolección. *In* *Tecnología en Beneficiado de Café*. San José. C.R. p 8-14.
- Cleves S, R; Astúa R, G. 1998. Defectos y vicios del café que se origina o manifiestan en el beneficiado. *In* Cleves S. R. Eds. *Tecnología en Beneficiado de Café*. San Jose, C.R. p 15-21
- Clifford, M. 1985. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. *In* Clifford, M; Willson, K. Eds. *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Great Britain. Croom Helm. p 305-374.
- Clifford, M. 1999. Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79(3): 362-372.

- Clifford, M. 2000. Review: Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence, dietary burden. Absorption and metabolism. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1033-1043.
- Costa F, AM; Mosca, AI. 1999. Coffee geographic origin -- an aid to coffee differentiation. *Food Research International* 32(8): 565-573.
- Cuchet, R. 2004. Ramacafe 2004: Nicaraguan coffee growers meet in Managua. *Coffee & Cocoa International*. p?
- Daviron, B. 1994. La crisis del Mercado Cafetalero Internacional en una Perspectiva de Largo Plazo. Auge y Crisis de la Caficultura Mexicana. *In* Mario Samper. *Comp. Crisis y Perspectivas del Café Latinoamericano*. San José, C.R. ICAFE-UNA p 37-76.
- Davis, K. 2001. *Coffee: A Guide to Buying, Brewing, and Enjoying*. NY, USA. 279 p.
- Decazy, F; Avelino, J; Guyot, B; Perriot J; Pineda, C; Cilas, C. 2003. Quality of Different Honduran Coffees in Relation to Several Environments. *Journal of Food Science* 68(7): 2356-2361.
- Dentan, E. 1985. The microscopic structure of the coffee bean. *In* Clifford, M; Willson, K Eds. *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Great Britain. p 284-304.
- Descroix, F; Snoeck, J. 2004. Environmental Factors Suitable for Coffee Cultivation. *In* Wintgens, J Eds *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Alemania, Wiley-VCH. p 164-177.
- Díaz P, R. 2001. Situación y perspectivas de la caficultura en Centroamérica ante la crisis internacional de precios. CAPACIDAD 21/PNUD/PNUMA/DANIDA/SIDA. Tegucigalpa, Honduras. 46 p.
- Dzib C, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR. CATIE. 124 p.
- Echandi, E; Fernández, C. 1962. Relación entre el contenido de ácido clorogénico y la resistencia a llaga macana o cáncer de los cafetos causada por *Ceratocystis fimbriata*. *Turrialba* 12(2): 87-90.
- Eskes, AB; Leroy, Th. 2004. Coffee Selection and Breeding. *In* J, Wintgens. Eds. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Alemania, Wiley-VCH. p 57-86.
- Figuroa S, P; Jiménez, O; Lopez de León, E; Anzuelo, F. 2000. Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas y físicas del café. XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. Costa Rica. p 493-497.



- Franca A, S; Oliveira L, S; Mendonca J, CF; Silva, XA. 2005a. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry* 90(1-2): 89-94.
- Franca, A; Mendonca, J; Oliveira, S. 2005b. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. *Food Science and Technology*. 38(7): 709-715.
- García F, OF; Straube U, NB. 1998. La sombra en el cafetal. *In* Manual de caficultura. ANACAFE. Ciudad de Guatemala, Guatemala. p 81-98.
- Geel, L; Kinnear, M; Kock, H. 2005. Relating consumer preferences to sensory attributes of instant coffee. *Food Quality and Preference* 16: 237-244.
- Gliessman, S. 2002. Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba, C.R. 359 p.
- González C, N; Ramos N, M; Bustamante, J. 1999. Contenido de ácidos clorogénicos y cafeína en hojas sanas de cultivares de café resistentes y no resistentes a *Hemileia vastatrix* Berk y Br. *Anales de Botánica Agrícola* 6: 5-11.
- Gorbitz, A. 1968. Enzimas y Calidad del café. *Turrialba* 18(4): 517.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo de café. Managua, Nicaragua. Serie Técnica. Manual Técnico No. 44. CATIE. 267 p.
- Haagar, J; Staver, C; Melo, E. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio de interacciones entre plagas, fertilidad del suelo y árboles de sombra. *Agroforestería en las Américas* 8(29): 49-51.
- Hartmann P, P; Pigford, J. 1991. Diccionario de las Ciencias. Trad. AM, Rubio. Ed. Paraninfo. España. 604 p.
- Huck C, W; Guggenbichler, W; Bonn, GK. 2005. Analysis of caffeine, theobromine and theophylline in coffee by near infrared spectroscopy (NIRS) compared to high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled to mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 538(1-2): 195-203.
- Huerta S, A. 1962. Intesidad de transpiración en el café en condiciones de exposición solar y de penumbra natural. *CENICAFE* 13(3):125-138.
- IICA. 2003. Cadena de Comercialización del Café. Managua, Nicaragua. 169 p.
- IICA. 2004. Cadena Agroindustrial del café en Nicaragua. Nicaragua. 77 p.
- Illy, A; Viani, R. 1996. Espresso Coffee: The Chemistry of Quality. Hong Kong. Academic Press Limited. 253 p.

- Jaramillo R, A; Guzmán M, O. 1984. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L. variedad Caturra. CENICAFE 35(3): 57-65.
- Kass, D; Thurston, H; Schlather, K. 1998. Sustainable Mulch-Based Cropping Systems with Tree. *In* Buck, L; Lassoie, J; Fernandes, E. Eds. Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. USA, Lewis Publishers: 361-379.
- Kemsley E, K; Ruault, S; Wilson, RH. 1995. Discrimination between *Coffea arabica* and *Coffea canephora* variant robusta beans using infrared spectroscopy. Food Chemistry 54(3): 321-326.
- Kuhl A, E. 2004. Nicaragua y su café. Managua, Nicaragua. Hispamer. 371 p.
- Ky, CL; Louarn, J; Dussert, S; Guyot, B; Hamon, S; Noiro, M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. Food Chemistry 75(2): 223-230.
- Leon Y, G. 2004. Programa de Subasta Q. *In* RAMACAFE 2004. Managua. Nicaragua. 16 p.
- Lingle, T. 1997. Essentials of Good Coffee Brewing. Kenya Coffee 62(734): 2549-2552.
- Lingle, T. 1999. Fundamentos para la catación de café. ABECAFE Abril-Mayo-Junio. p 21-22.
- López, A.; Orozco, L.; Somarriba, E.; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. Agroforestería en las Américas 10(37-38): 74-79.
- Maeztu, L; Andueza, S; Ibañez, C; Paz de Peña, M; Bello, J; Cid, C. 2001. Multivariate Methods for Characterization and Classification of Espresso Coffees from Different Botanical Varieties and Types of Roast by Foam, Taste, and Mouthfeel. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 4743-4747.
- MAGFOR. 2004. Estrategia para la Reconversión y la Diversificación Competitiva de la Caficultura en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 60 p.
- Marín L, S; Arcilla P, J; Montoya R, E; Oliveros T, C. 2003. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). CENICAFE 54(3): 208-225.
- Martin M, J; Pablos, F; Gonzalez, AG. 1998. Discrimination between arabica and robusta green coffee varieties according to their chemical composition. Talanta 46(6): 1259-1264.
- Menchú, J. 1967. Cualidades de la bebida del Café: Aroma, Cuello, Acidez y Sabor. El café de Nicaragua 191: 16-18.
- Mendoza V, R. 2002. La paradoja del café. El gran negocio mundial y la poer crisis campesina. Managua, Nicaragua. NITLAPAN. 150 p.

- MIFIC. 1999. Norma Técnica del café Verde. Clasificación de calidades, determinación de materias extrañas y defectos. Managua, Nicaragua. 15 p.
- Mitchell, H. 1988. Cultivation and Harvesting of the Arabica Coffee Tree. *In* R, Clarke; R, Macrae. Eds. Coffee: Agronomy. Great Britain. Elsevier Applied Science. p 43-90.
- Moguel, P; Toledo V, M. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1): 11-21.
- Montavon, P; Mauron, A; Duruz, E. 2003. Changes in Green Coffee Protein Profiles During Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2335-2343.
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* (85): 131-139.
- Muschler, R. 2004. Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. *In* J, Wintgens. Eds. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. p 391-418.
- Nair, P; Buresh, R; Mugendi, D; Latt, C. 1998. Nutrient Cycling in Tropical Agroforestry Systems: Myths and Science. *In* Buck, L., Lassoie, J. and Fernandes, E. Eds. Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. USA, Lewis Publishers: 1-31.
- Nikolova-Damyanova, B; Velikova, R; Jham, GN. 1998. Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species in crude coffee beans harvested in Brazil. *Food Research International* 31(6-7): 479-486.
- Osorio, N. 2002. The Global Coffee Crisis: A Threat to Sustainable Development. ICO. 4 p.
- Parker, S. 1991. Diccionario McGraw-Hill de Química: Bilingüe Inglés – Español. Mexico. McGraw-Hill. 392 p.
- Peeters, LK; Soto-Pinto, L; Perales, H; Montoya, G; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95(2-3): 481-493.
- Perfecto, I.; Vandermeer, J; Masa, A; Soto Pinto, L. 2004. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics In Press*.
- Poisson, J. 1988. The biosynthesis of some important coffee constituents. *In* R, Clarke; R, Macrae. Eds. Coffee: Agronomy. Great Britain. Elsevier Applied Science. p 293-302.
- Puerta Q, G. 1998. Calidad en taza de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *CENICAFE* 49(4): 265-278.
- Puerta Q, G. 1999. Influencia del proceso de beneficiado en la calidad del café. *CENICAFE* 50(1): 78-88.

- Puerta Q, G. 2000a. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. CENICAFE 51(1): 5-19.
- Puerta Q, G. 2000b. Influencia de los café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. CENICAFE 51(2): 136-150.
- Rogers, WJ; Michaux, S; Bastin, M; Bucheli, P. 1999. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. arabica*) coffees. Plant Science 149(2): 115-123.
- Rubayiza, A; Meurens, M. 2005. Chemical Discrimination of Arabica and Robusta Coffees by Fourier Transform Raman Spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 4654-4659.
- Saenz C, A. 1990. El cultivo del cafeto en México. México. Instituto Mexicano del Café. 226 p
- Salas E, J. 1993. Arboles de Nicaragua. Managua, Nicaragua. IRENA. 390 p.
- Salazar, E., Muschler, R., Sánchez, V. and Jiménez, F. 2000. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 7(26): 40-42.
- Salazar C, I. 1999. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR. CATIE. 82 p.
- Samper K, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las Caficultoras Centroamericanas. In B, Bertrand; B, Rapidel. Eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José. C.R. IICA. PROMECAFE. CIRAD. IRD. CCCR. p 1-68.
- Santoyo C. VH; Díaz C. S; Escamilla P. E; Robledo M. JD. 1996. Factores agronómicos y calidad del café. Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo/Confederación Mexicana de Productores de Café. 21 p.
- Shankaranarayana, M; Abraham, K. 1986. Evaluation of Coffee Quality Using Chemical and Instrumental Methods. Journal of Coffee Research 16(1-2): 14-22.
- Siles G, P. 2001. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus degluta*. *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR. CATIE. 88 p.
- Siles G, P; Vaast, P. 2002. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus degluta*. *Terminalia ivorensis* o sin sombra. Agroforestería en las Américas 9 (35-36): 44-49.
- Snoeck, J; Lambot, C. 2004. Crop Maintenance. In J, Wintgens. Eds. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Wiley-VCH. p 246-323.

- Soares L, W. 1998. Infrared and Ultraviolet Spectroscopy Techniques. In JG, Millar; KF, Haynes. Eds. *Methods in Chemical Ecology*. USA. Kluwer Academic Publishers. p 185-206.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F; González, J; Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (*Coffea arabica* L.) Plantations. In G, Schroth; G, da Fonseca; C, Harvey; C, Gascon; H, Vasconcelos; A, Izac. Eds. *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Washington, DC, USA. p 198-226.
- Starbucks. 2005. Calidad de Café Verde para Starbucks. 23 p.
- Suárez C, F; Montenegro, L; Aviles, C; Moreno, M; Bolaños, M. 1961. Efecto del sombrío en los primeros años de vida de un cafetal, Santa Tecla, El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 36 p.
- Taguchi, H; Sakaguchi, M; Shimabayashi, Y. 1985. Trigonelline content in coffee beans and thermal conversion of trigonelline into nicotinic acid during the roasting of coffee beans. *Agricultural and Biological Chemistry* 49(12): 3467-3471.
- Tapp, HS; Defernez, M; Kemsley, EK. 2003. FTIR Spectroscopy and Multivariate Analysis Can Distinguish the Geographic Origin of Extra Virgin Olive Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(21): 6110-6115.
- Vaast, P; Bertrand, B. 2005. Date of harvest and altitude influence bean characteristics and beverage quality of *Coffea arabica* in intensive management conditions. *HortScience In press*.
- Vaast, P; Cilas, C; Perriot, J; Davrieux, J; Guyot, B; Bolaños, M. 2005a. Mapping of Coffee Quality in Nicaragua According to Regions. Ecological Conditions and Farm Management. *In ASIC Conference*. Bangalore, India. p 842-850.
- Vaast, P; Van Kanten, R; Siles, P; Dzib, B; Frank, N; Harmand, J; Genard, M. 2005b. Shade: A Key Factor for Coffee Sustainability and Quality. *ASIC Conference*, Bangalore, India. p 887-896.
- Vaast, P; Bertrand, B; Perriot, J; Guyot, B; Genard, M. 2005c. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of Science of Food and Agriculture In press*.
- Vaast, P; Perriot, J; Cilas, C. 2003. Mejoramiento y Fortalecimiento en los Procesos de Certificación de Calidades y Comercialización del Café. Reporte. CIRAD-UNICAFE. 40 p.
- Vaast, P; Harmand, J. 2002. The importance of agroforestry systems for coffee production in Central America and Mexico. *Plantations, Recherche, Developpement*. p 34 – 43.
- Valencia A, G. 1973. Factores que inciden en la formación de granos negros y caída de frutos verdes de café. *CENICAFE* 24(2): 47-55.

- van der Vossen, H. 1985. Coffee selection and breeding. *In* Clifford, M; Willson, K Eds. Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Great Britain. Croom Helm. p 305-374.
- Vásquez, M; Anzuelo R, F; López C, JR; Zavala B, JA. 1998. Especies y Variedades del Cafeto. *In* Manual de Caficultura. ANACAFE. Ciudad de Guatemala, Guatemala. p 27-39
- Villaseñor L, A. 1987. Caficultura Moderna en México. Texacoco. Méx. Edit. Futura S.A. 469 p
- Wallengren, M. 2005. Nicaragua's Ramacafe: Rediscovering True Coffee Spirit. Tea & Cocoa Trade Journal 177(3).
- Wheeler, M. 2001. The speciality coffee market. *In* P, Baker. Eds. Coffee Futures: A source book of some critical issues confronting the coffee industry. Chinchina, Colombia. CABI-FEDERACEFE, USADA-ICO. p 66-73.
- Willson. K. 1985. Mineral Nutrition and Fertiliser Needs. *In* Clifford, M; Willson, K Eds. Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Great Britain. Croom Helm. p 135-156.
- Wintgens, J. 1992. Factores que Influencian la Calidad del Café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. IICA-PROMECAFE. 25 p.
- Wintgens, J. 2004. Factors Influencing the Quality of Green Coffee. *In* J, Wintgens. Eds. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Alemania, Wiley-VCH. p 798-809.
- Zarco, E. 2003. Beneficio del café a pequeña escala. *In* Manual del Caficultor 2003. CAFE. F. P. San Salvador, El Salvador. p 78-86.
- Zuluanga, VJ. 1990. Los factores que determinan la calidad del café verde. *In* 50 años de CENICAFE. 1938-1988. Conferencias Commerativas. Chinchina, Caldas, Colombia. p?

## ANEXOS

Anexo 1. Interacciones entre las variables de calidad física, calidad organoléptica y composición bioquímica.

	T16-20	T<16	IMP	P100	ARO	CUE	ACID	SAB	PREF	AMA	CAF	TRIG	MG	SAC
T<16	-													
IMP	-	+												
P100	+	-	-											
ARO	+	-	-	n										
CUE	+	-	-	+	+									
ACID	n	n	n	n	+	+								
SAB	n	n	n	n	+	+	+							
PREF	+	n	n	n	+	+	+	+						
AMA	+	-	-	n	n	n	-	n	-					
CAF	n	n	-	+	n	n	n	n	n	n				
TRIG	-	+	n	n	-	-	-	-	-	n	-			
MG	+	-	n	+	+	+	+	+	+	n	n	-		
SAC	-	+	+	-	n	n	n	n	n	-	-	-	-	
ACG	+	-	n	+	n	+	n	n	n	+	+	n	+	-

+ : positiva, - : negativa y n : ninguna/indiferente.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Interacciones entre las variables de calidad física, calidad organoléptica y composición bioquímica con los factores en estudio.

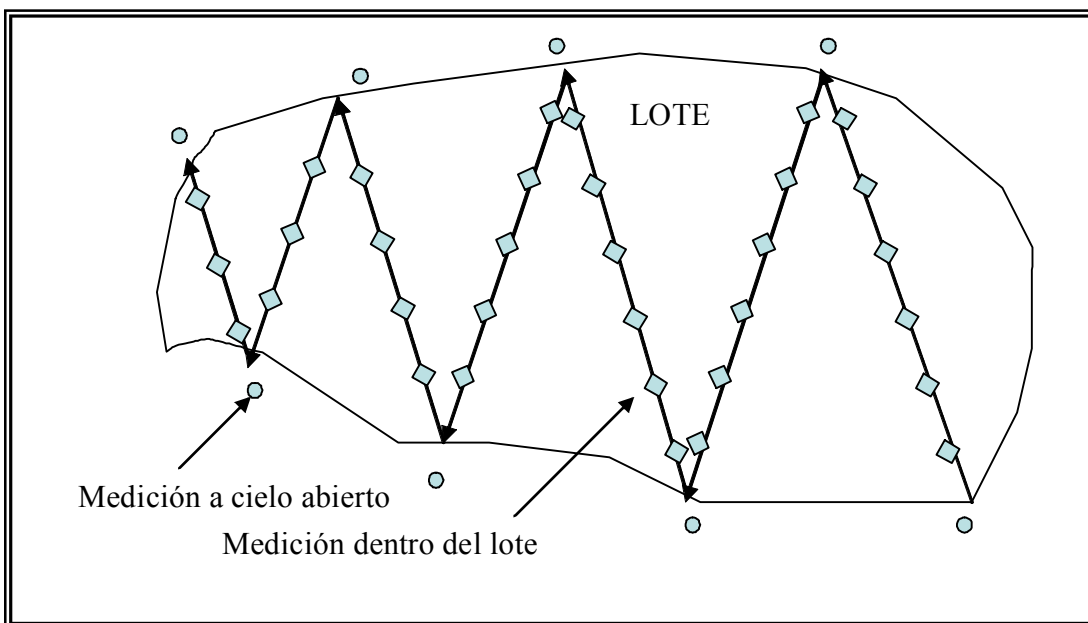
Variables		Factores			
		Altitud	Sombra	Rendimiento	Fertilización
Calidad Física	Tamaño	+	+	+	+
	Imperfectos	-	-	-	-
	Peso grano	+	+	+	+
Calidad Organoléptica	Aroma	+	+*	I	+
	Cuerpo	+	+*	I	I
	Acidez	+	+*	I	I
	Sabor	+	+*	I	+
	Amargo	I	+	I	I
	Preferencia	+	+*	I	+
Compuestos Bioquímicos	Caféina	+	+	I	I
	Sacarosa	-	-	-	I
	Trigonelina	-	I	-	-
	Materia Grasa	+	I	+	+
	Acido Clorogénico	+	+	+	I

+ = positiva, +\* = positiva bajo ciertas condiciones de altitud, - = negativa e I = ninguna/indiferente

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 3. Diseño de la medición de sombra



Anexo 4. Lista de especies de árboles de sombra encontrados en los lotes de estudio.

No.	Nombre Común	Nombre científico	No.	Nombre Común	Nombre científico
1	Aguacate	<i>Persea americana</i>	41	Higuera	<i>S-I</i>
2	Aguacate Montaña	<i>Persea oeruclea</i>	42	Huele de Noche	<i>S-I</i>
3	Aguacate Posan	<i>Persea sp</i>	43	Jocote	<i>Spondias mombin</i>
4	Aguacate Sabanero	<i>Persea sp</i>	44	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
5	Aguacatillo	<i>Hernandia sonora</i>	45	Lengua Vaca/Tabacón	<i>Triparis melaenodendron</i>
6	Brasil	<i>Haematoxylon brassiletto</i>	46	Limón	<i>Citrus limon</i>
7	Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	47	Limón Mandarina	<i>Citrus sp</i>
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	48	Limoncillo	<i>Caparris sp</i>
9	Caimito	<i>Chrysophyllum cainito</i>	49	Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
10	Capulín Blanco	<i>Trichospermum mexicanum</i>	50	Llamarada del Bosque	<i>Spathodea campanulata</i>
11	Cedro Real	<i>Cedrela odorata</i>	51	Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
12	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	52	Majague	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>
13	Chaperno	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	53	Mampas	<i>Lippia myriocephala</i>
14	Chichicaste	<i>Urera caracassana</i>	54	Mango	<i>Magnifera indica</i>
15	Cola de Pava	<i>Cupania cubensis</i>	55	Matapalo	<i>Ficus sp</i>
16	Coralillo	<i>Ormosia coccinea</i>	56	Matorral	<i>S-I</i>
17	Coralito	<i>Ormosia coccinea</i>	57	Muñeco	<i>Cordia bicolor</i>
18	Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i>	58	Naranja Dulce	<i>Citrus sinensis</i>
19	Cuadrado/Pico Pajaro	<i>Acacia hindsii</i>	59	Nogal	<i>Junglans olanchanum</i>
20	Cuajilote	<i>S-I*</i>	60	Ojoche	<i>Brosimum alicastrum</i>
21	Cuajiniquil	<i>Inga vera</i>	61	Orín de Chancho	<i>S-I</i>
22	Cuernava	<i>S-I</i>	62	Papayón	<i>Jaracatia mexicana</i>
23	Eucalipto	<i>Eucaplyptus camaldulensis</i>	63	Poró	<i>Erythrina poeppigiana</i>
24	Gavilán	<i>Albizia guachapele</i>	64	Quiebra Muela	<i>Drimys granadensis</i>
25	Granadillo	<i>Platymiscium pinnatum</i>	65	Salvia	-
26	Guaba Blanca	<i>Inga vera</i>	66	Sangregado	<i>Pterocarpus officinalis</i>
27	Guaba Cuadrada	<i>Inga sapintoides</i>	67	Sarai	-
28	Guaba Negra	<i>Inga punctata</i>	68	Suita	<i>Asterogyne martiana</i>
29	Guacamaya	<i>Astronium graveolens</i>	69	Vainilla	<i>Senna atomaria</i>
30	Guacimo Molenillo	<i>Luehea candida/ L. speciosa</i>	70	Vara Blanca	<i>Hedyosmun mexicanum</i>
31	Guaba Roja/colorada	<i>Inga oertediana</i>			
32	Guarumo	<i>Cecropia insignis</i>			
33	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>			
34	Guayabo	<i>Bourreria huanita</i>			
35	Guayabo Liso	<i>Terminalia oblonga</i>			
36	Guayabón	<i>Terminalia oblonga</i>			
37	Guineo	<i>Musa sp</i>			
38	Elequeme	<i>Erythrina berteroaana</i>			
39	Huesito	<i>Macrohasseltia macroterantha</i>			
40	Indio Desnudo	<i>Bursera simarouba</i>			

\* *S-I*= Sin identificar