



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

## **ESTRUCTURACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA MATERIA GRASA DE RECURSOS GENÉTICOS DEL CAFÉ (*Coffea arabica*) USANDO LA TECNOLOGÍA DE ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO CERCANO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**  
**JUAN CARLOS HERNÁNDEZ CASTILLO**

**ASESORES:**  
**DR. CHRISTOPHE MONTAGNON**  
**DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

[Escribir texto]



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERNANDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Estructuración y evaluación de la materia grasa de recursos genéticos del café  
(Coffea arabica) usando la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano

Que presenta el pasante Juan Carlos Hernández Castillo

Con número de cuenta: 303018894 para obtener el título de:  
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Mex. a 29 de junio de 2011

PRESIDENTE I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez

VOCAL Dra. Carolina Moreno Ramos

SECRETARIO Dra. María Andrea Trejo Márquez

1er SUPLENTE I.A. María Guadalupe López Franco

2º SUPLENTE M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”*

*Mahatma Gandhi*

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen de Guadalupe por permitirme haber llegado a este momento con salud y en la compañía de mi familia y todos los seres queridos que se encuentran alrededor.

Le agradezco de corazón a mi mamá **Marina Castillo Martínez** por cobijarme su amor, vida y dedicación. Es y será un ejemplo de vida ya que nunca se rinde, siempre me da el apoyo necesario, no tengo manera de cómo expresar todo lo que me ha dado y lo que representa para mí, el final de esta etapa se lo debo. La quiero con todo mi corazón y alma mamita.

Agradezco a mi papá **Cupertino Hernández Téllez**, que donde quiera que se encuentre sigo sintiendo el mismo amor y cariño. Si un día leyese esta dicción, le agradezco por todo y puede contar conmigo a pesar de lo que paso, ya que eso me ayudo para saber lo que quiero en la vida. Lo extraño mucho.

Muchas gracias tía **Silvia Castillo Martínez**, usted es y será como mi mamá ya que siempre nos ha dado su apoyo incondicional. Quiero que esto siga así y que cuando lea este párrafo sienta un abrazo y un beso llenos de amor y agradecimiento. Siempre la querré.

A todos mis primos a los cuales tengo mucho cariño y afecto: **Mario, Amparo, Socorro, María Eugenia, Juan, Eliborio, Gustavo, Alejandro, Marisol, Diana, Jonathan y Jorge †** (que desde donde esta le dedico también mi trabajo).

A mi prima **Miriam**, la cual quiero mucho y siempre me apoyo y estuvo al pendiente de mi, espero encontrarte nuevamente, y que donde estas seas muy feliz.

A ti hermano **José** por tu apoyo en las buenas y en las malas. Nunca cambies, se auténtico. Tu también harás esto algún día. Te quiero hijo.

A ti hermano **Luis** por tu apoyo, gracias por los momentos buenos y malos ya que de allí he aprendido. Te deseo lo mejor de corazón ahora que nacerá tu bebé. Te quiero hermanito.

A mi novia **Ariana Aguilar Contreras**. Gracias por todo tu amor, apoyo moral, valentía y dedicación, por hacerme reír, ayudarme cuando más lo he necesitado y por aguantarme cuando estaba estresado durante la carrera. Siempre serás mi chiquita bonita con la que quiero estar siempre.

Te amo Tinny.

Al señor **Javier**, a la señora **Hortensia y Yanik**, por su gran ayuda en las buenas y malas. Muchas gracias por sus consejos y valiosa ayuda desde siempre. Ustedes también son parte de este logro, un fuerte abrazo, los quiero.

Gracias a la Sra. **Maricruz, Sergio y Jorge**, por su invaluable apoyo y consejos. No encontraré nunca manera suficiente de agradecerles lo que han hecho por nosotros, dios los bendiga siempre.

A mi amiga **Lizeth**, gracias pecosita por depositar tu confianza en mí, por la amistad brindada así como tu apoyo. Gracias por los momentos que hemos pasado y los que nos faltan. Te quiero mucho mi gordis.

A mis amigos **Ernesto, Oscar (El Cuau), Omar y Abraham**, por permitir depositar mi confianza y cariño en ustedes. Les deseo lo mejor.

A mi amiga **Alicia**. Gracias por los consejos y amistad que siempre me has brindado así como momentos de risa y felicidad. Eres algo especial para mí.

A mi amiga **Lorena** por hacerme pasar ratos agradables y ser una persona muy valiosa para mí, te quiero mucho.

A **Javi** por todo el apoyo recibido, y sobre todo por ser una persona en la que se puede confiar, pedir ayuda y sobre todo recibir un buen consejo, Te deseo lo mejor. Gracias

Al Señor **Gerardo** y la Sra. **Jovita** por el apoyo brindado en el tiempo que llevo de conocerlos.

A los compañeros del taller de postcosecha: **Lupita, Ingrid, Lucero, Verito, Clau, Adri y Mau**; por hacer amena la estancia y por su amistad. Gracias y éxito a todos.

Gracias a la Dra. **Andrea Trejo** por todo el apoyo brindado en todo este tiempo, así como su dedicación y profesionalismo. Me ha gustado tener su amistad y consejo. Éxito en sus siguientes proyectos.

Gracias al Dr. **Christophe Montagnon** por depositar su confianza en mí, por el tiempo dedicado, su apoyo y consejos. Buena suerte donde quiera que se encuentre.

A **Eligio**, por todo tu apoyo, consejos y dedicación. Eres una persona muy agradable, a cual siempre recordare y con la que estaré siempre agradecido.

Gracias al grupo **AMSA**, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones.

Gracias a **Thalía Paola, Erick, Hugo, Iván y Carlos** por haber sido participes en alguna parte de este proyecto, así como de su amistad. Sé que pronto se encontraran en esta misma etapa.

A mi mascota **Musa**, gracias por haberme acompañado en los momentos de felicidad y los más difíciles, siempre te recordare con gran cariño a pesar de ya no estar aquí.

**A mi querida UNAM, en especial al CCH Naucalpan y a la FES-C1, por haber albergado mis sueños, hacerlos realidad e impulsarme a lograr nuevas metas y logros. Gracias a los Profesores en especial a José Luis Buenrostro. Espero retribuir algún día un poco de lo mucho que me dieron.**



---

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	I
INTRODUCCIÓN .....	II
ANTECEDENTES .....	1
1.1. HISTORIA .....	1
1.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL CAFÉ .....	1
1.3. BOTÁNICA DEL CAFETO .....	2
1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ.....	4
1.4.1. Carbohidratos.....	5
1.4.2. Compuestos nitrogenados .....	5
1.4.3. Lípidos .....	5
1.5. ESPECIES DE CAFÉ.....	6
1.5.1. <i>Coffea arabica</i> .....	6
1.5.2. <i>Coffea canephora</i> .....	8
1.6. PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL MUNDO .....	8
1.7. PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN MÉXICO .....	11
1.7.1. Principales zonas productoras .....	12
1.7.2. Importancia Cultural y Económica .....	14
1.8. PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAFÉ .....	15
1.8.1. Vía húmeda .....	16
1.8.2. Vía Seca .....	18
1.9. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA PARA LA EXPORTACIÓN DE CAFÉ.....	18
1.9.1. Requisitos para la presentación de las exportaciones.....	18
1.9.2. Control de calidad en los países importadores .....	20
1.10. TECNOLOGÍA DE ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS, Near Infrared Spectroscopy).....	22
1.10.1. Fundamento .....	22

---



---

1.10.2. Equipo.....	23
1.10.3. Calibración.....	23
1.10.4. Validación.....	23
1.11. MÉTODOS QUÍMICOS DE REFERENCIA PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS.....	24
1.11.1. Humedad.....	24
1.11.2. Proteína.....	24
1.12. APLICACIONES.....	24
2. OBJETIVOS.....	26
2.1.1. Objetivo General.....	26
2.1.2. Objetivo Particular 1.....	26
2.1.3. Objetivo Particular 2.....	26
2.1.4. Objetivo Particular 3.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. SECUENCIA METODOLÓGICA.....	27
3.2. MATERIAL BIOLÓGICO.....	28
3.3. TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA.....	30
3.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	31
3.5. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	31
3.6. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS) DE MUESTRAS DE CAFÉ	31
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
3.7.1. Análisis Discriminante.....	34
3.7.2. Análisis de la Varianza.....	34
3.7.3. Análisis en Componentes Principales.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. ESTRUCTURACIÓN EN GRUPOS.....	36
4.2. EVALUACIÓN DE LA MATERIA GRASA.....	39
4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP) PARA BÚSQUEDA DE MUTANTES U OUTLIERS.....	43
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
Referencias.....	52

---





---

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Clasificación Botánica del café.....	2
Cuadro 2. Composición química de los granos de café tostado medio (porcentaje de Base Seca.....	4
Cuadro 3. Variedades de Café arábica. ....	7
Cuadro 4. Principales países productores (miles de sacos). ....	10
Cuadro 5. Superficie cosechada, volumen y valor de la producción de café cereza por entidad federativa. ....	13
Cuadro 6. Importancia cultural y económica del café. ....	15
Cuadro 7. Aplicaciones del NIRS en diferentes productos.....	24
Cuadro 8. Muestras analizadas por grupos genéticos (Etiopía, Híbridos, Catimores y sus diferentes códigos) y variedades (Caturra, Guacamaya y Marsellesa). ....	28
Cuadro 9. Análisis Discriminante de orígenes genéticos de la parcela Llorona, Estimación. ....	36
Cuadro 10. Análisis Discriminante de orígenes genéticos de la parcela Llorona, Validación .....	36
Cuadro 11. Orígenes genéticos para la materia grasa (% materia seca).....	39
Cuadro 12. ANOVA de los Híbridos y Caturra para la materia grasa .....	40
Cuadro 13. ANOVA de los Etiopios para la materia grasa.....	41
Cuadro 14. ANOVA de los Catimores para la materia grasa. ....	42
Cuadro 15. Muestras con GH> 3 dentro de las 1675 muestras analizadas de diferentes grupos genéticos. ....	48



---

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Morfología de la flor de <i>C. arabica</i> .....	3
Figura 2. Morfología del grano de <i>C. arabica</i> .....	3
Figura 3. Proceso de elaboración de café por vía húmeda .....	17
Figura 4. Cuadro Metodológico .....	27
Figura 5. Diversidad genética de la especie <i>Coffea arabica</i> . .....	29
Figura 6. Muestrateca de variedades de <i>Coffea arabica</i> .....	30
Figura 7. Análisis de muestras de café en el NIRS .....	33
Figura 8. Centroides de los orígenes genéticos según los dos primeros factores del AD.....	38
Figura 9. Análisis de componentes principales (PCA) para Caturra. ....	44
Figura 10. Análisis de componentes principales (PCA) para Etiópes. ....	44
Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) para Guacamaya. ....	45
Figura 12. Análisis de componentes principales (PCA) para Híbridos.....	46
Figura 13. Análisis de componentes principales (PCA) para Llorona. ....	46
Figura 14. Análisis de componentes principales (PCA) para Sarchimores. ....	47

**RESUMEN**

Como parte de la necesidad de seguir brindando al mercado y sobre todo a los consumidores un café de alta calidad se ha realizado una estructuración y evaluación de la materia grasa de recursos genéticos del café (*Coffea arabica*) usando la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano.

El trabajo se realizó con muestras de café de 1675 diferentes orígenes genéticos (Etíopes, Caturras, Catimores, Guacamayas, Lloronas e Híbridos) de la especie *Coffea arabica*, procedentes de la parcela Llorona del grupo Ecom-Nicaragua a una altitud de 980 m.s.n.m. Las muestras de café fueron acondicionadas para disminuir el contenido de humedad de los granos de 12 a 5%, para tener una mejor manipulación y posterior análisis. Para moler los granos, se vertieron en un molino de aspas de pequeña capacidad, de donde se tomó el polvo fino. Un análisis químico (materia grasa) de cada una de las muestras de café, se realizó mediante la técnica espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), obteniendo de los resultados una posible estructuración, que consistió en tomar los mejores valores de materia grasa haciendo una clasificación y acomodo por grupos para una posterior creación de una variedad de café.

Con los resultados obtenidos se confirmó la validez de la estructuración de los grupos genéticos a partir de los espectros NIRS. Eso se puede explicar por la gran variabilidad genética que se reconoce a los etíopes cuando los otros grupos fueron menos variables, esperando malas clasificaciones entre grupos cercanos como Caturra, Catimores o Etíopes con Híbridos. Sin embargo, la clasificación de Catimores como Etíopes era menos esperada. Sin embargo, este resultado pudo indicar que unos Catimores se parecieran a Etíopes por lo que va del perfil NIRS por lo que podría abrir perspectivas para adelantar la selección de Catimores de alta calidad. Como conclusión del presente trabajo con base en los resultados obtenidos, es posible realizar una selección de las mejores categorías de cada grupo genético, permitiendo crear una nueva variedad de café con un contenido de materia grasa más alto o igual a los Etíopes.



## INTRODUCCIÓN

El vocablo café se deriva del turco “kahweh” (cavé) con distintas acepciones, según los idiomas, pero conservando su raíz (Santoyo, 2000). Se trata de un arbusto siempre verde originario de Etiopía. El proceso de obtención de café vía seca es el más antiguo y simple, consta de tres etapas. La cosecha de las cerezas, secado (al sol), molido, clasificación y el envasado. Mediante este método se beneficia casi todo el café arábigo (95%) y el robusta de los países donde se produce, principalmente africanos (Clarke, 1985). La calidad del café, depende del territorio donde se encuentre, y del macro clima el cual determina características sensoriales, incluyendo tipicidad y contenido químico en el grano. Sin embargo, la calidad también depende de la altitud y exposición a pendientes (Jacques, 2005). El café se introdujo a México hacia 1790, pero su propagación fue hasta 1817, en los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. Más tarde, se introdujeron semillas originarias de Yemen a Michoacán, en donde se extendió a Colima, Nayarit, Jalisco y Guerrero (Zamarripa, 1996). Los cafés naturales en nuestro país se destinan al consumo nacional y actualmente tienen cierta demanda para la elaboración de café soluble (Mandujano, 1989). La tecnología espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) ofrece un nuevo método de análisis bioquímico de materia prima y alimentos. Es capaz de realizar métodos de análisis cuantitativo y cualitativo (Burns, 2007). El infrarrojo cercano se refiere al espectro que se encuentran entre la luz visible y el infrarrojo siendo de 800 y 2500 nm. Primeramente se concentra en moléculas orgánicas, compuestas principalmente por Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno, entre otras, vinculadas a otras por enlaces químicos covalentes (CIRAD, 2003b). La combinación de NIRS con un método de correlación ortogonal forman una poderosa técnica que puede ser usada para la discriminación entre variedades de café *Robusta* y *Arabica*, y para diferenciar entre variedades puras y mezclas de las dos especies (Díez, 2006). Como productor de café México ocupa el quinto lugar a nivel mundial, después de Brasil, Colombia, Indonesia y Vietnam, además es el primer productor mundial de café orgánico, y uno de los primeros en cafés "Gourmet" (CEFP, 2001) por tal motivo es de gran importancia un estudio sobre la variación en la composición química que pudiera estar ocurriendo en los cafetales para



impedir que disminuya el mercado y por lo tanto afectar a los productores y al país como uno de los principales exportadores.





## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. HISTORIA

El vocablo café se deriva del turco kahweh” (cavé), con distintas acepciones, según los idiomas, pero conservando su raíz (Santoyo, 2000).

Originaria de la antigua Abisinia, ahora Etiopía, es la especie más apreciada y antigua que se conoce, desde mediados del siglo XVIII. Su área de cultivo se localiza en zonas intertropicales a una altura de hasta 2000 metros sobre el nivel del mar, y nunca por debajo de los 500 metros. Actualmente representa el mayor porcentaje de la producción del café, por encima del 60%, y produce variedades de café apreciadísimas como: Moka, Bourbon, Maragogipe, variedades Etíopes y Sarchimores. El fruto tiene forma ovalada y su maduración dura de 7 a 9 meses. El café Arábica se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en India y, en cierta medida, en Indonesia (CEFP, 2001).

### 1.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL CAFÉ

Por lo menos 66 especies del género *Coffea L.* han sido identificados hasta ahora; dos son las económica y comercialmente importantes: *C. arabica* (café arábica) y *C. canephora* (café robusta) (Orozco, 2007).

Los cafetos producen frutos carnosos, rojos o púrpuras, raramente amarillos, llamados cerezas de café, con dos núcleos, cada uno de ellos con un grano de café.

Las hojas de 10 a 15 centímetros de longitud, son ovales y coriáceas, lisas y brillantes por encima y pálidas por debajo, estando sostenidas por cortos peciolo y muy parecidas a las del laurel común. Sus flores, axilares, son blancas o ligeramente violáceas y se hallan constituidas por un cáliz de cinco dientes y una corola tubular de cinco lóbulos con cinco



estambres, con un olor suave y agradable (Orozco, 2007). En el cuadro 1 se muestra la clasificación botánica del café.

**Cuadro 1. Clasificación Botánica del café**

REINO	Plantae
TIPO	Espermatofitas
SUB-TIPO	Angiospermas
CLASE	Dicotiledóneas
SUB-CLASE	Gamopétalas inferiovariadas
ORDEN	Rubiales
FAMILIA	Rubiáceas
GÉNERO	Coffea
SUB-GÉNERO	Eucoffea
ESPECIE	Arabica, cenephora, liberica

**Fuente: Coste (1969)**

### 1.3. BOTÁNICA DEL CAFETO

Los cafetos son arbustos que pueden llegar a medir más de 12 metros de altura en estado salvaje, incluso algunas variedades, 20 metros. Sin embargo, y con el fin de facilitar la recolección, en las plantaciones se podan entre los dos y los cuatro metros de altura. Su tronco es recto y liso, sus hojas son perennes y mantienen un color verde brillante todo el año. La flor es de color blanco, parecida al jazmín, y de vida muy corta, ya que a los tres días de florecer, deja paso al fruto (Gómez, 1998). En la Figura 1 se muestra la morfología de la flor de café.

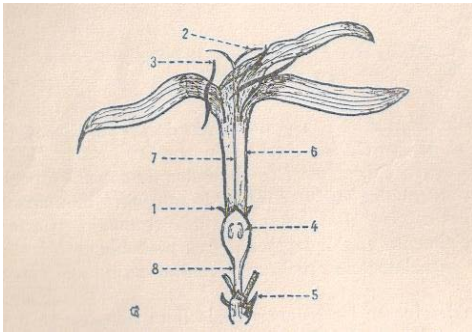
El cafeto suele dar su primer fruto entre los tres y los cinco años de vida, y ofrece un rendimiento de entre 400g a 2,2 kilos al año, durante un periodo de 30 a 50 años.

El fruto del cafeto tiene la apariencia de una cereza pequeña (Figura 2). Cuando nace es de color verde y durante los ocho u once meses siguientes, según la especie y la zona de cultivo y maduración, pasa por las distintas tonalidades que van del amarillo al rojo.





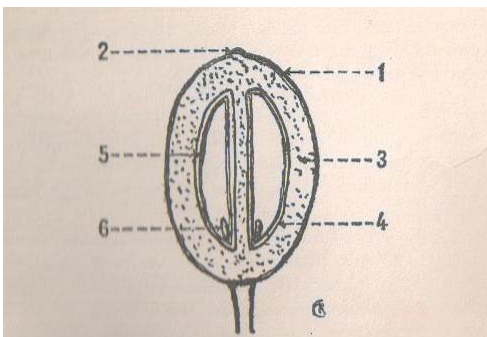
En el interior de cada cereza o drupa, hay dos semillas separadas por un surco y rodeadas.



1. Cáliz	2. Calículo
3. Estigmas	4. Tubo de corola
5. Estambres	6. Estilo
7. Óvulos	8. Pedúnculo

Figura 1. Morfología de la flor de *C. arabica*

Fuente: Coste( 1969)



1. Epicarpio (piel)	2. Disco
3. Mesocarpio (pulpa)	4. Endocarpio o pergamino
5. Tegumento seminal ó perispermo	6. Embrión

Figura 2. Morfología del grano de *C. arabica*

Fuente: Coste (1969)



#### 1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ

El café tiene múltiples componentes (Cuadro 2). Los granos de café crudos tienen una composición diferente entre la especie Arábica y la Robusta.

En la Arábica, la cafeína comprende el 1,2% de la materia seca, 4,2% minerales, de los cuales 1,7% es potasio; 16% lípidos, 1,0% trigonelinas, 11,5% proteínas y aminoácidos, 1,4% ácidos alifáticos, 6,5% despidos (ácidos clorogénicos), 0,2% glucósidos y 58% carbohidratos (Orozco, 2007).

En la Robusta, la cafeína comprende el 2,2% de la materia seca, 4,4% minerales, de los cuales 1,8% corresponden al potasio; 10% lípidos, 0,7% trigonelinas, 11,8% proteínas y aminoácidos, 1,4% ácidos alifáticos, 10% ácidos clorogénicos y 59,5% glucósidos trazas y carbohidratos. El contenido de agua de los granos de café crudo comercial varía entre 8 y 12% (Santoyo, 2000).

**Cuadro 2. Composición química de los granos de café tostado medio (porcentaje de Base Seca)**

Componentes	Variedad 'Arábica'	Variedad 'Robusta'
Cafeína	1.3	2.4
Minerales	4.5	4.7
Lípidos	17	11
Trigonelinas	1	0.7
Proteínas	10	10
Ácidos alifáticos	2.4	2.5
Ácidos clorogénicos	2.7	3.1
Carbohidratos	38	41.5
Aromas volátiles	0.1	0.1
Melanoidinas	23	23

Fuente: Santoyo (2000)



## 1.4.1. Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen casi la mitad del peso en seco del café verde. La sacarosa es el principal oligosacárido, los mananos y los arabinogalactanos son los principales polisacáridos (Santoyo, 2000).

En el tostado se destruye la sacarosa y los polisacáridos se despolimerizan gradualmente y acaban por quedar pirolizados al llegar al tostado oscuro. El porcentaje de carbohidratos en una taza de café depende de la mezcla, el nivel de tueste y el modo de preparación. Puede llegar del 20 al 35% de la materia sólida. Los constituyentes insolubles incluyen celulosa y hemicelulosa (Santoyo, 2000).

## 1.4.2. Compuestos nitrogenados

Éstos comprenden las proteínas, los aminoácidos, la trigonelina y los alcaloides. La trigonelina representa cerca del 1% del peso seco del café verde pero no sobrevive al tueste, descomponiéndose en ácido nicotínico, piridina y otros compuestos volátiles. El alcaloide más abundante es la cafeína, es un sólido cristalino, blanco y de sabor amargo, que actúa como una droga psicoactiva y estimulante, que comprende 1-2% del peso seco (Montminy, 2004).

Los granos de Robusta tienen más alto contenido de cafeína. Aunque sufre una sublimación muy marginal, la cafeína sobrevive al tueste. Una taza de café contiene de 30 a 180 mg de cafeína, según cuáles sean la mezcla y el modo de preparación (Santoyo, 2000).

## 1.4.3. Lípidos

Los lípidos son parte importante en la composición del grano de café. Éstos constituyen del 8 al 10% del café verde. Los diterpenos (parecidos al colesterol) los kahweoles y los cafestoles son específicos del café (Santoyo, 2000).

El aceite de café se concentra en la endosperma, el resto (0,2 a 0,3%) de cera se encuentra en la capa externa de la semilla. El aceite de café se compone de ácidos grasos, particularmente linoléico (40 a 45%) y palmítico (25 a 35%), proporciones similares a las encontradas en otros vegetales comestibles. Entre los esteroides, 24-metilencolesterol y



avenasterol son más importantes en la variedad Robusta que en la Arábica. La capa externa de cera contiene 5-hidroxitriptamidas, ácidos araquidónico, esteárico, 20-hidroxiaraquidónico, behénico y lignosérico. La presencia de estas sustancias en el café ha recibido la categoría de «sustancias irritantes», a las cuales algunas personas son más sensibles. El lavado y la utilización de algunos solventes permiten la remoción de gran cantidad de estas sustancias (Santoyo, 2000).

### 1.5. ESPECIES DE CAFÉ





La familia botánica a la que pertenece el cafeto, las rubiáceas, tiene unos 500 géneros y más de 60 especies. Un ejemplo reconocible por todos es la gardenia; aunque indudablemente la *coffea* es el género más importante de esta familia, desde el punto de vista económico.

Dentro del género *coffea*, existen más de 25 especies, todas ellas indígenas del África tropical y de ciertas islas del Océano Índico, especialmente Madagascar. De entre todas ellas, las especies de *coffea* más importantes, desde el punto de vista del sector industrial cafetero, son la *coffea arabica*, la *coffea canephora* o Robusta y la *coffea liberica*. Tanto sus diferencias botánicas, como la procedencia de las mismas, hacen que el café que se obtiene de unas plantas y otras presente matices distintos (CIRAD, 2003a)

#### 1.5.1. *Coffea arabica*

Proporciona un café suave y aromático. Las nuevas variedades son muy productivas y con un ciclo de vida de hasta 20 años. El fruto tiene forma ovalada y su maduración dura de 7 a 9 meses. El café Arábica se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en India y, en cierta medida, en Indonesia (OIC, 2010). En el cuadro 3 se muestran las características de las variedades de café *Coffea arabica* más comunes comercialmente, así como las que fueron usadas en la experimentación.

**Cuadro 3. Variedades de Café arábica.**

VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS
 CATURRA	Es una planta de porte bajo, tronco grueso y poco ramificado e inflexible. Posee entrenudos muy cortos en las ramas y en el tallo lo que lo hacen un alto productor. Sus hojas son grandes, de borde ondulado, anchas, redondeadas, gruesas y de color verde oscuro. Es un arbusto de un aspecto general compacto y de mucho vigor. Su sistema radical está bien desarrollado lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones. El rendimiento del grano fluctúa alrededor de las 4.25 libras. La calidad de la bebida es buena
 SARCHIMORE	Su producción supera en un 34% el de las variedades cultivadas actualmente. Las cualidades de la bebida son semejantes a las de las variedades bourbon. Es resistente a la roya del cafeto y tolerante a los nematodos fitoparásitos. Tiene buena adaptabilidad en las zonas cafetaleras ubicadas entre los 700 y 1,400 metros sobre el nivel del mar.
 ETÍOPE	Es un café de la especie <i>Coffea arabica</i> , es el más cultivado (alrededor de un 65-70% de la producción mundial). Es más digestivo y suave.  Presenta resistencia a la roya del cafeto así como una calidad sumamente apreciada.
 TIPO HÍBRIDO	Es el resultado del Cruzamiento entre un padre de Etiopía y un Caturra o un Sarchimor. Esta combinación genética da parámetros superiores de calidad con respecto a los Etiopies.

Fuente: CIRAD (2003a)



### 1.5.2. *Coffea canephora*

La especie *Coffea canephora* produce el café cuyos granos tienen el nombre comercial; Como su nombre lo indica, es una especie de gran vigor y rusticidad. Su tamaño puede llegar a ser 3 ó 4 veces mayor que el café Mundo Novo. Sus hojas y ramas son mayores que la variedad pero no sus frutos. Estos son más pequeños, redondos y con escaso mucílago. Su productividad es elevada pero por su tamaño dificulta su cosecha. Se le señala como tolerante a la roya del cafeto y a los nemátodos (OIC, 2010).

Se adapta a condiciones de altitud inferiores a los 600 m.s.n.m. Produce una bebida fuerte, astringente y con buen cuerpo. El problema creciente de los nematodos ha favorecido la utilización del café Robusta como patrón de los cafés Árabes, empleando preferentemente el injerto hipocotiledonal en el estadio de soldadito (Coste, 1969)

## 1.6. PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL MUNDO

El Café es el segundo producto de importancia en el mercado internacional, solamente detrás del petróleo. En el mercado internacional el café se encuentra dentro de los diez primeros productos con mayor valor comercial. La actividad cafetalera mundial es determinada por numerosos factores, gestados al interior y al exterior de los países que en diversos grados se encuentran relacionados con ella, por lo que la producción, oferta y demanda internacionales del aromático son constantemente influidas. Al observar la dinámica de la cafecultura internacional se muestra que dichos factores suelen ser de carácter: climáticos, sociales, políticos o financieros, entre otros (Cárdenas, 2007).

Los de orden político han incluido principalmente, las acciones que los países cafetaleros han llevado a cabo para defender y acrecentar sus cuotas de participación en el mercado internacional. La coordinación de dichas políticas dio lugar a la creación de una Organización Internacional que por treinta años reguló gran parte del comercio mundial del grano, convirtiéndose en el principal foro de discusión sobre temas cafetaleros en el ámbito gubernamental (Cárdenas, 2007).



Factores climáticos tales como “El niño”, que produce inundaciones y sequías en diversas regiones también constituyen elementos que hacen variar la oferta y la demanda de café. Entre los factores sociales, podremos observar la existencia de movimientos armados o migraciones. Dentro de los factores económicos tenemos que más o menos el 60% del gasto requerido en la producción de café, lo constituye el costo de la recolección de las cerezas; consecuentemente, una sola cosecha anual como la que se podría obtener en las áreas que tienen tina temporada húmeda, es menos costosa para el productor, que dos cosechas anuales en aquellas áreas que tienen dos períodos cortos de lluvia (García, 2006).

Paralelo a las negociaciones intergubernamentales y a los cambios climáticos y sociales, otro factor muy importante del comercio del aromático se desarrolla en los principales centros financieros del mundo. La Bolsa de Nueva York cotiza el café arábico en centavos de dólar estadounidense por libra (cts.llb.), y el café robusta se cotiza en la Bolsa de Londres en libras esterlinas por tonelada de café.

Para las proyecciones del café se ha utilizado un modelo dinámico que abarca los principales países exportadores e importadores de café crudo, para cada uno de los cuales se estimaron las funciones correspondientes a la oferta, la demanda y las existencias. El modelo realiza una simulación dinámica prospectiva y genera pronósticos sobre la base de supuestos sobre el comportamiento futuro del PIB, los índices de los precios de consumo y los tipos de cambio. Para cada uno de los próximos años se descompone el precio compuesto de la Organización Internacional del Café con objeto de lograr un equilibrio

Entre la oferta y la demanda del café crudo. El modelo que se muestra en el cuadro 4 se elaboró para ofrecer pronósticos relativos a la producción, el consumo y el comercio del café crudo, dando por supuesto que el café es considerado como un producto homogéneo sin distinción entre las variedades arábica y robusta (Gómez, 1998).



Se prevé que la producción mundial de café tendrá un crecimiento de 0,5 por ciento anual entre 1998-2000 y 2010, comparado con el 1,9 por ciento del decenio anterior. En 2010 la producción mundial debería ascender a 7 millones de toneladas (117 millones de sacos) frente a los 6,7 millones de toneladas (111 millones de sacos) en 1998-2000 (FAO, 2004).

**Cuadro 4. Principales países productores (miles de sacos).**

CROP YEARS COMMENCING:			2004	a	2009			
(MILES SACOS)	Año del cultivo		2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>PRODUCCIÓN MUNDIAL</b>			<b>116 062</b>	<b>111 463</b>	<b>129 138</b>	<b>119 396</b>	<b>128 181</b>	<b>123 713</b>
<b>TOTAL</b>			<b>115 454</b>	<b>110 950</b>	<b>128 487</b>	<b>118 769</b>	<b>127 493</b>	<b>1/ 123 002 2/</b>
Ethiopia	(A)	Oct-Sep	4 568	4 003	4 636	4 906	4 350	4 850
Uganda	(R/A)	Oct-Sep	2 593	2 159	2 700	3 250	3 200	3 400
Brazil	(A/R)	Apr-Mar	39 272	32 944	42 512	36 070	45 992	39 470
Colombia	(A)	Oct-Sep	11 573	12 564	12 541	12 504	8 664	9 500
<b>Mexico</b>	<b>(A)</b>	<b>Oct-Sep</b>	<b>3 867</b>	<b>4 225</b>	<b>4 200</b>	<b>4 150</b>	<b>4 651</b>	<b>4 500</b>
Indonesia	(R/A)	Apr-Mar	7 536	9 159	7 483	7 777	9 350	9 500
India	(A/R)	Oct-Sep	4 592	4 396	5 159	4 460	4 372	4 827
Philippines	(R/A)	Jul-Jun	252	309	298	431	285	300

1/ Derived on the basis of gross opening stocks at the end of crop year 2008/09

2/ Provisional

3/ Equatorial Guinea, Guyana, Lao (PDR of), Liberia, Timor-Leste and Yemen

**Fuente: OIC ( 2010)**





## 1.7. PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN MÉXICO

### Producción en bruto

El café llegó a México en 1795 para convertirse en un cultivo clave después de cien años, tanto en el país, como en Centroamérica y en parte del Caribe. Su cultivo se concentró en el estado de Veracruz, para luego expandirse a los estados de Chiapas y Oaxaca durante el siglo XIX. La historia de la cafeicultura mexicana se divide en dos épocas. La primera va desde su introducción a finales del siglo XVIII, hasta los primeros años del porfiriato; y se caracteriza por haber sido una producción limitada y desarrollada en pequeños cultivos destinados principalmente al consumo interno. La segunda etapa comienza en los años setenta del siglo XIX, y la define el aumento en los volúmenes de cosecha que eran cultivados en grandes plantaciones y estaban destinados en su gran mayoría al mercado mundial. La transformación obedecía al crecimiento de demanda internacional, principalmente europea y estadounidense de finales del siglo XIX (Cárdenas, 2007).

Atraídos por el periodo de bonanza internacional que se vivió en 1900, y por las políticas porfiristas que le abrieron las puertas a la inversión extranjera, llegaron a nuestro país grandes empresas alemanas, estadounidenses e inglesas a establecer plantaciones cafetaleras, que al interior funcionaban a base de sistemas esclavizantes, que se conformaban por mecanismos de explotación directa del trabajo. Por formas de extracción de excedente, relaciones económicas de explotación y formas sociales, políticas e ideológicas de denominación (Cárdenas, 2007).

Para la segunda mitad del siglo XIX entraron en vigor políticas y acciones de expropiación que rompieron en lo esencial la unión que había entre el productor agrícola y su medio de producción, teniendo como consecuencia un cambio cualitativo durante este periodo. Aparentemente el auge cafetalero fue convirtiendo a las comunidades indígenas en fuerzas productivas del capitalismo agroexportador y pasaron a ser meras productoras de la mano de obra que se necesitaría en la pizca (Cárdenas, 2007).

El café de México ha tenido una gran trascendencia desde el punto de vista no solo económico y social, sino cultural y ecológico.



Al ser el principal producto agrícola de exportación durante los últimos veinte años, este cultivo colocó a México en importantes posiciones internacionales. México ocupa hoy en día el cuarto lugar en el mundo después de Brasil, Colombia e Indonesia, el quinto lugar por la superficie cosechada y el noveno por su rendimiento.

En México, el café generó en la década de los ochenta 36% del valor de las exportaciones agrícolas y ocupó en quinto sitio por superficie cosechada antecedido solo por el maíz, el frijol, el sorgo y el trigo.

A diferencia de lo que pasa en los principales países productores como Brasil y Colombia, en México el café lo producen fundamentalmente las familias campesinas e indígenas y a pequeña escala. Así 92% de la superficie cultivada corresponde a propietarios con predios de menos de 5 hectáreas o a 70% con no más de 2 hectáreas. Estos representan 65% de la superficie cafetalera del país y casi la mitad del total de la producción, pues un tercio lo generan los propietarios con más de 10 hectáreas, 60% de los productores pertenecen a ejidos y comunidades indígenas, en tanto que el 38% son propietarios privados (pequeños, medianos y grandes) (CEFP, 2001).

### 1.7.1. Principales zonas productoras

Las regiones cafetaleras se concentran en cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro-Norte y la del Soconusco en Chiapas, en el sureste mexicano, que en conjunto abarcan 398 municipios en los 12 estados productores. Las especies de arbusto del cafeto que se cultivan en el país son dos: la arábica, árabe o arábica y la robusta o canéphora. Aproximadamente el 98% de los cafetos son variedades arábicas como la Bourbon, Caturra, Maragogipe (o Mátago), Mundo Novo, Garnica y Typica; siendo esta última la que predominaba en México hasta hace poco; sin embargo, actualmente se le está reemplazando por variedades de porte bajo y mayor producción como la Catimor y Catuai. Cada variedad posee diferencias de calidad, volumen producido, rendimiento, resistencia a las plagas y a las enfermedades, aroma, acidez, etc. En el cuadro 5 se observa el rendimiento que cada uno de los estados productores de café tienen en nuestro país, en algunos años existen estados que tienen más rendimiento que otros, pero



los más importantes son: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca representado el 90 % de la producción total.

**Cuadro 5. Superficie cosechada, volumen y valor de la producción de café cereza por entidad federativa.**

Años agrícolas de 2003 a 2008									
Entidad federativa	Producción (t)			Valor ( Miles de pesos)					
	2006	2007	2008 <sup>P</sup>	2003	2004	2005	2006	2007	2008 <sup>P</sup>
<b>Total</b>	<b>1 518 931</b>	<b>1 427 332</b>	<b>1 414 669</b>	<b>2 972 746</b>	<b>2 866 293</b>	<b>3 614 474</b>	<b>4 053 016</b>	<b>4 769 565</b>	<b>5 542 665</b>
Colima	2 530 588	2 197 538	2 730 512	3 896 1 552	6 723 1 232	7 438 1 607	7 787 1 608	7 911 1 765	12 777 2 029
Chiapas	026 48	203 48	184 49	473 57	552 82	527	799 139	022 154	493
Guerrero	468 41	795 41	045 36	056 75	423 49	73 861	076 106	797 101	233 758
Hidalgo	701	826	991	757	203	78 063	514	504	100 811
Jalisco	4 453	2 087	4 154	6 972	5 431	6 253	10 626	5 648	11 994
México	2 041	2 052	2 064	2 664	3 457	6 498	8 682	6 253	8 719
Michoacán de Ocampo	42	42	46	173	105	105	84	84	139
Morelos	430 18	385 15	334 28	2 077 19	1 226 34	1 079	1 111	1 179	999
Nayarit	048 191	440 197	436 170	155 360	736 311	38 716 324	57 174 433	46 168 1 105	99 447
Oaxaca	304 286	731 256	029 298	194 400	691 478	597 747	104 686	013 691	557 912 1 294
Puebla	780	399	942	269	788	050	711	946	280
Querétaro	300 15	240 16	270 17	500 14	720 13	900	1 200	1 200	1 080
San Luis Potosí	927	102	834	590	034	13 434	15 131	15 417	15 291
Tabasco	820	1 052	858	5 522	2 826	1 744	1 945	2 383	5 402
Veracruz de Ignacio de la Llave	318 061	304 781	290 752	471 448	643 378	707 209	975 071	865 040	1 170 566

Nota: Las sumas pueden no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

Fuente: INEGI (2009)



### 1.7.2. Importancia Cultural y Económica

La cafeticultura mexicana tiene una gran importancia económica, social y cultural. El café es el principal generador de divisas de todo el sector agropecuario, generando de 600 a 800 millones de dólares por concepto de exportaciones. El 80% de la producción se exporta (Cárdenas, 2007).

La comercialización del café en México presenta las siguientes características: la relación se establece entre productores, la esfera de la distribución y los consumidores finales. Entre la esfera de la producción y el consumo final, existe una larga cadena de eslabones comerciales, donde se controlan en realidad los movimientos centrales de los precios, fundamentalmente a corto plazo. Esto se puede esquematizar de la siguiente manera:

El productor vende su producto a los intermediarios locales, estatales o privados o lo comercializa directamente, a un precio que toma como base el mercado internacional y otros parámetros económicos de carácter mundial. Los intermediarios o los mismos productores, canalizan sus ventas al exterior hacia dos vertientes básicas: hacia los comerciantes o hacia los tostadores de los países importantes, a un precio que varía según la calidad, el puerto de embarque, el plazo de entrega, el tipo de contrato y la coyuntura específica de escasez, equilibrio o abundancia de las diferentes calidades de café que prevalezca en el mercado. Así, el precio resultante de la combinación de todos estos elementos, constituye la cotización clave en torno a la cual se mueve el complejo sistema de precios del café, que abarca desde el precio de compra en el campo hasta el precio al detalle en los países consumidores. Una vez que el caté llega a los tostadores y es procesado, se abre la esfera al mayoreo y al detalle, lo que hace posible que el consumidor final adquiera el producto en sus diferentes presentaciones.

Para nuestro país, la actividad exportadora nacional representa una de las principales fuentes generadoras de divisas, detrás del petróleo, el turismo y las maquiladoras (García, 2006).

A Continuación, en el cuadro 6 se muestran algunos aspectos relevantes dentro de la importancia cultural y económica que ha tenido el café en México.

**Cuadro 6. Importancia cultural y económica del café.**

IMPORTANCIA CULTURAL	IMPORTANCIA ECONÓMICA
Se cultiva en doce estados de la República Mexicana, que en orden de importancia son: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Tabasco, Colima y Querétaro.	Genera de 600 a 800 millones de dólares por concepto de exportaciones
Desarrollo de una cultura empresarial amigable con el medio ambiente y las tradiciones comunitarias (Chiapas).	Representa el 36% del valor de las exportaciones agrícolas
Consolidar una organización social de productores en una región de alta marginación, como es la región selva del estado de Chiapas, que integra 1,420 productores con 2800 hectáreas de café orgánico.	Captó divisas por concepto de exportaciones de café,

**Fuente: García (2006)**

### 1.8. PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAFÉ

El proceso de obtención de café es algo muy complicado de obtener ya que desde la recolección de la cereza (cosecha) hasta la obtención del grano debe ser un proceso muy controlado, y para poder realizar una buena obtención se utilizan dos métodos que se realizan mediante vía húmeda o vía seca (Montagnon, 2006).



1.8.1. Vía húmeda (Zamarripa, 1996):

**Selección:** Este se realiza a mano. Una cereza cortada prematuramente contiene alto grado de taninos que perjudican la bebida. Una muy madura o pasada también es inadecuada.

**Descerezado:** Los granos se pasan por una despulpadora para eliminar la cáscara roja externa, eliminando a su vez la mayor parte de la pulpa adherida a los granos.

**Fermentado:** Es el proceso donde las mieles y mucílago se desprenden y disuelven, el tiempo debe ser de 24-48 horas aproximadamente. Se introducen los granos en cubas, los azúcares que forman parte de los restos de pulpa se descomponen, permitiendo un mejor lavado.

**Lavado:** Se elimina todo el resto de pulpa con abundante agua en circulación.

**Ventilado:** Esta operación consiste en colocar el grano en planchas de concreto expuestas al sol, durante 12 horas a una temperatura de entre 30-40 °C, removiendo el grano unas cuatro veces al día, pretendiendo eliminar el excedente de agua.

**Secado:** Se realiza en tambores rotatorios a una temperatura de 90 °C durante 48 horas, permitiendo tener un pergamino con humedad de 12 %.

**Clasificación:** Se realiza una clasificación de pergaminos, obteniendo espumillas, y los denominados como lavados siendo Prima lavado, Extra prima, Altura y estrictamente Altura.

**Trillado:** Estos granos se pasan por una máquina descascarilladora para eliminar el pergamino y obtener el café verde, es aquí donde se tiene también se eliminan impurezas, se clasifica por color, tamaño o peso.

**Tostado:** Mediante la aplicación de temperaturas (200-250°C), los granos cambian su estructura, se deshidratan y liberan aceite, reducen su peso, toman una coloración oscura y desarrollan sus aromas y sabores característicos.

**Molienda:** Es la parte final para obtener un café listo para ser consumido. Se muelen en molinos para grano en los que se tiene un tamaño de partícula pequeño, lo que facilitara la preparación.



A continuación se muestra en la figura 3 la obtención de café mediante la vía húmeda, cuyo método es el más común de utilizar en México.

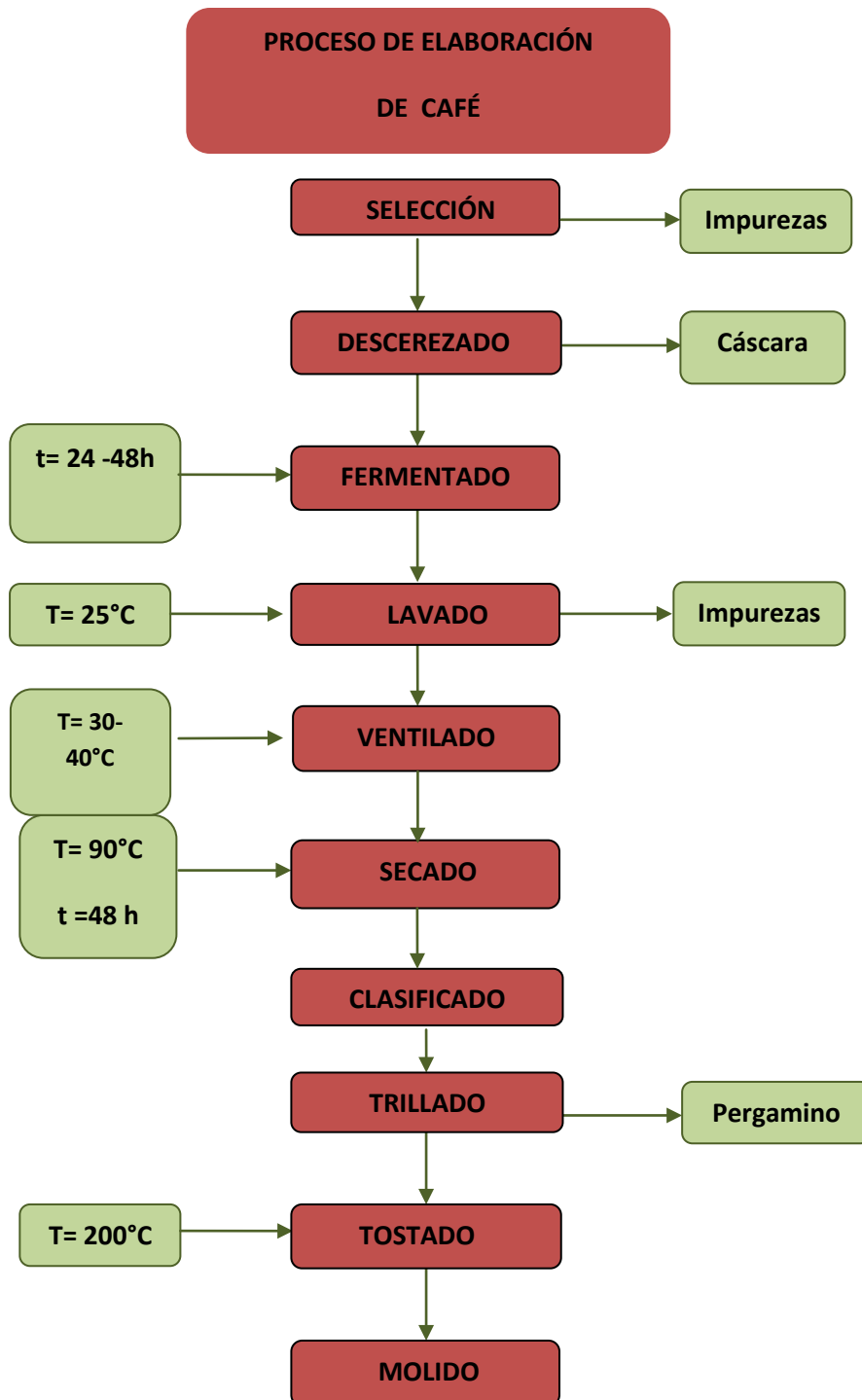


Figura 3. Proceso de elaboración de café por vía húmeda



1.8.2. Vía Seca (Zamarripa, 1996):

Las cerezas se dejan secar al sol dos o tres semanas en amplias explanadas, extendidas en capas finas. Se rastrilla y mueven varias veces al día para que todas las bayas reciban el calor del sol. Por las noches, y en caso de lluvias, se cubren para protegerlas.

La humedad de las cerezas se reduce aproximadamente al 10-12% desde el 75% que traen del campo. Llegado este punto la cáscara es más quebradiza, ha adquirido un tono marrón oscuro y permite oír el sonido de las semillas sueltas en el interior.

Es a partir de ese momento cuando simplemente golpeando o trillando los frutos se obtienen los granos de café verde.

Una vez despulpado el grano, el café verde se almacena en silos durante un tiempo para que siga perdiendo humedad

## **1.9. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA PARA LA EXPORTACIÓN DE CAFÉ**

La manera en que se presenta el café debe basarse en la demanda del mercado y no determinada por el método más sencillo para el exportador, para responder a la demanda del mercado, el productor debe conocer cada uno de los mercados consumidores y poder evaluar sus preferencias particulares. Esto no puede realizarlo sin contar con personal especializado, que posea conocimientos sobre documentación, requisitos, calidad para la exportación de café cualquiera que sea su destino (SAGARPA, 2005)

1.9.1. Requisitos para la presentación de las exportaciones

Los requisitos para la exportación pueden dividirse en dos componentes básicos:

1. Clasificación (tamaño y densidad de los granos).
2. Calidad (apariencia e infusión de los granos).





El café se clasifica según su tamaño y su densidad con el fin de obtener un producto final lo más uniforme posible. El café que no haya sido separado por su tamaño se suele denominar café sin clasificar se trata del producto en su estado natural, que puede ser de calidad excelente. El café sin clasificar no debe confundirse, por lo tanto con el café clasificado (undergrade), término que se refiere al café de calidad inferior. Este suele tener una apariencia mediocre y abigarrada y contiene grado estropeado y quebrado.

Una relativa uniformidad en cuanto al tamaño de los granos es importante porque es difícil tostar los granos grandes junto con los pequeños, los livianos o los quebrados. Los granos pequeños suelen tostarse excesivamente, los trozos pequeños de granos quebrados puedan incluso quemarse, por lo tanto, constituye un requisito industrial que el café sea clasificado según su tamaño y la densidad del grano (SAGARPA, 2005).

La clasificación según el tamaño del grano atiende a la necesidad de presentar un producto uniforme al consumidor que compre el café en vez de envasado o molido. Ciertos mercados todavía conceden gran importancia al tamaño y a la apariencia de los granos tostados tradicionalmente, pese al hecho de que durante los últimos veinte años muchos consumidores han adoptado la costumbre de adquirir café torrefactado y molido envasado al vacío.

La calidad es el segundo componente considerado dentro de la presentación del producto exportado, debe ser fiable y estable, apropiada para las mezclas que efectúa el tostador. Los gustos varían de un país a otro y no tendría sentido ofrecer un café con excelente acidez y aroma a mercados donde habitualmente se tuesta mucho el café hasta dejarlo muy oscuro y, por lo tanto, se evaporan la mayoría de los aspectos de la infusión, un café de tales características solo obtiene primas en mercados donde el aroma y la acidez son factores importantes de venta (SAGARPA, 2005).

Al efectuar la compra, el importador exige al exportador que garantice no solo que cada una de las partidas contenga café sano, sino también que la calidad es comparable a las remesas anteriores, un exportador que satisfaga estos requisitos tiene ventajas sobre los competidores que no lo hagan.



Estos requisitos se aplican al café de cualquier origen, independientemente de que el suministro sea de café Arábica de calidad superior o de café Robusta a granel. La calidad del café debe ajustarse para el que se realiza compra. Por lo tanto la presentación del café para la exportación consiste en una combinación de su clasificación y su calidad cuyos requisitos varían de un mercado a otro y de un importador a otro, todos los importadores exigen una presentación de café que se ajuste a sus necesidades y una calidad fiable y en la medida de lo posible, constante. No siempre se comprende que el logro de la flexibilidad en la presentación del café exportado no es una tarea ni difícil ni muy cara; se requiere principalmente pericia, metodología e incentivos (SAGARPA, 2005).

Un productor de café debe proyectarse teniendo en cuenta que la presentación del producto exportado ha de ser flexible para disponer de distintas opciones respecto a la clasificación, la separación y la mezcla. La demanda del mercado debería determinar los equipos necesarios y la disposición de las instalaciones, pero lamentablemente suele darse el caso contrario, es decir, son los equipos y la disposición de las instalaciones los factores que con frecuencia determinan las actividades de mercado.

## 1.9.2. Control de calidad en los países importadores

Algunos países consumidores han promulgado leyes sobre la importación y la venta de café verde, torrefacto y soluble, principalmente para protegerse contra riesgos en cuestión sanitaria.

Se presentan dos criterios de calidad para la importación de café

- Calidad Europea 1.5 - 2 % defectos (5 imperfecciones)
- Calidad Americana 5-6 % defectos (21 imperfecciones)

Café Primero Lavado (más de 21 imperfecciones)

Dando un poco de información sobre las imperfecciones, se tiene la siguiente tabla de imperfecciones o defectos.

1 grano negro completo = 1 imperfección

1 grano agrio completo = 1 imperfección



- 1 cereza seca = 1 imperfección
- 5 conchas u orejas = 1 imperfección
- 2-5 granos parcialmente negros o agrios = 1 imperfección
- 5 granos vanos o inmaduros = 1 imperfección
- 3 palitos pequeños (-5 mm) = 1 imperfección
- 1 palito mediano (15-29 mm) = 1 imperfección
- 1 palito grande (más de 15mm) = 2 a 3 imperfecciones
- 3 piedritas (-5 mm) = 1 imperfección
- 1 piedra mediana (5-14 mm) = 1 imperfección
- 1 piedra grande (más de 15mm) = 2-3 imperfecciones
- 2-3 pedazos de pulpa (cáscara) = 1 imperfección
- 2-3 pedazos de pergamino = 1 imperfección (Coffees, 2010).

Todo país importador de café tiene oficinas para el control sanitario, la mayoría de ellas situadas en puertos marítimos y en zonas fronterizas terrestres. Los inspectores tienen facultades para ordenar que se fumigue o acondicione cualquier mercancía que se encuentre plagada de insectos o contaminada por cualquier otra razón o no apta para la venta y pueden incluso prohibir la importación de tales mercancías.

Dichas oficinas pueden obligar al propietario de las mercancías a reexportarlas, lo cual sin duda es una operación costosa.

- Dentro de las causas de rechazo de las mercancías se trata a las plagas o contaminaciones (por ejemplo excremento de roedores), o la presencia de rastros de residuos químicos en los granos (Rodríguez, 2001).

La recepción y compra del café de los socios en pergamino se hace en base de muestras representativas y pruebas de captación a fin de tener la seguridad de que se está comprando un café sano, clasificado por su calidad, limpieza y rendimiento, cuidando los siguientes aspectos:

#### **A. Que el Café no Tenga Olores Extraños**



- B. Que el Café se Encuentre Limpio
- C. Que el Café no esté Mal (sobre) Fermentado
- D. Que el Café se Encuentre en su Punto de Secado

### **1.10. TECNOLOGÍA DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS, Near Infrared Spectroscopy)**

La palabra “espectroscopia” deriva de la raíz latina spectrum (aparición, imagen) y la palabra griega skopia. Esta definición es más bien descriptiva de la medición espectroscópica en sí misma; por ejemplo: ver una leve imagen procedente de una muestra (Burns, 2007).

En esencia, la tecnología NIR involucra luz interactuando con un material, donde una radiación electromagnética ocurre en forma de ondas. La longitud de onda es la distancia entre los dos picos o puntos altos, y se indica con el símbolo  $\lambda$ . La longitud de onda en el espectro NIR se mide normalmente en nanómetros (nm) donde  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$  ó  $1000\text{ nm} = 1\text{ mm}$ . Esa parte del espectro visible al ojo humano se extiende de alrededor de 400 a 800 nm, mientras que el espectro infrarrojo se extiende de aproximadamente 2,500 a 25,000 nm. El infrarrojo cercano es considerado esa parte del espectro situada entre la región visible y la región infrarroja. El rango de longitudes de onda que el NIR cubre, está entre 440 a 2,600 nm (Burns, 2007).

#### **1.10.1. Fundamento**

La muestra al ser analizada es bombardeada con rayos NIR de diferentes longitudes de onda. Por cada longitud de onda, algunos de los rayos son absorbidos por uniones químicas específicas. Al mismo tiempo, otros rayos son diseminados y reflejados por otras uniones químicas. Este proceso es comúnmente descrito como “Reflectancia NIR”. En contraste, algunos de los rayos pasarán a través de la muestra, lo cual es denominado “Transmisión NIR” (a menudo referida como NIT) (Burns, 2007).



Función del NIRS:

- 1) Uso cualitativo: separar orígenes geográficos, variedades genéticas y otros
- 2) Uso cuantitativo: medir (predecir) la concentración de un componente químico

## 1.10.2. Equipo

El espectrofotómetro Foss NIRSystem 6005-M fue usado para recoger espectros de los granos de café arabica finamente molidos usando pequeñas celdas con vidrio de reloj. La reflejancia (R) de cada muestra fue medida como  $\text{Log}(1/R)$  de 400 a 2500 nm en intervalos de 2 nm a una temperatura de 25 °C.

## 1.10.3. Calibración

En ambos casos, se necesita calibrar el NIRS; es decir. Se hace frente a variables cualitativas (origen geográfica, variedad...) o frente a variables cuantitativas (materia grasa, cafeína...).

Para definir una ecuación de predicción, el esquema siempre es lo mismo:

- Se constituye un conjunto de muestras. Para cada muestra se registran los valores de absorción del espectro por un lado y el valor real (conocida) de la variable que se pretende predecir.
- Ese conjunto se reparte de manera aleatoria en dos sub-grupos: el grupo de calibración y el grupo de validación.
- El sub-grupo de calibración se usa para definir la ecuación de predicción de los valores reales de la variable por predecir a partir de los valores del espectro. En otras palabras, se considera la variable por predecir como una regresión multilinear de los valores de absorción (Montagnon, 2006)

## 1.10.4. Validación



- Este sub-grupo se usa para “validar” dicha ecuación. Se usa la ecuación para predecir la variable y se comparan los valores predichos con los valores reales. Si la correlación entre predichos y reales es satisfactoria, se considera que la ecuación es validada y lista para un uso en rutina (Montagnon, 2006).

### 1.11. MÉTODOS QUÍMICOS DE REFERENCIA PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS

#### 1.11.1. Humedad

La medida de humedad por NIRS podría parecer ser relativamente sencilla debido a la alta intensidad relativa o el alto coeficiente de la humedad en los enlaces O—H. Las vibraciones de las cadenas O—H del agua muestran alta absorción por el NIRS y esto puede ser fácilmente cuantificable (Burns, 2007).

#### 1.11.2. Proteína

Muchos métodos solían medir el nitrógeno total en una muestra de material de planta, el método de determinación de nitrógeno Kjeldahl es con mucho el mejor conocido y el más extensamente aplicado.

La medida directa más importante de proteína por NIR incluye la extensión de carbonilo de la amida primaria en 2060 nm (Efecto de Maillard); de 2168 a 2180 nm se consigue una combinación del enlace N—H creando vibraciones de varios tipos, determinando fácilmente el contenido de proteína (Burns, 2007).

### 1.12. APLICACIONES

En el cuadro 7 se muestran algunas aplicaciones de la espectroscopía del infrarrojo cercano en bebidas, cereales, pescado y café.

**Cuadro 7. Aplicaciones del NIRS en diferentes productos.**

PRODUCTO	APLICACIÓN	REFERENCIAS
----------	------------	-------------



<b>BEBIDAS</b>	Detección de ácidos cítrico y tartárico en jugo de naranja.	Cen (2007)
	Medida no destructiva y análisis de huella digital del contenido de Sólidos solubles en refresco de té basado en espectroscopía Vis/NIR	Li (2007)
	Valoración de cafeína en té verde en polvo instantáneo y gránulos	Sinija (2008)
<b>CEREALES</b>	Evaluación Y predicción del contenido nutritivo de cebada digestible	Pujol (2007)
	Identificación de alimentos transgénicos	Alishahi (2010)
<b>PESCADO</b>	Determinación de lípidos y proteínas en pescado fresco.	Mathias (1987)
<b>CAFÉ</b>	Efectos de exposición en pendiente, altitud y campo en la calidad de café en dos altitudes territoriales de costa Rica, Orosi y Santa María de Dota	Jacques (2005)
	Detección de la introgresión en cultivares de café arábica	Bertrand (2005)
	Análisis de Cafeína, Teobromina y Theophyllina en Café por espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) comparado con Cromatografía de líquidos a alta presión	Huck (2005)
	Diferenciación de variedades de café	Díez (2007)



# METODOLOGÍA EXPERIMENTAL





## **2. OBJETIVOS**

### 2.1.1. Objetivo General

Realizar un programa de fitomejoramiento del café haciendo uso óptimo de los arboles, existiendo para ello recursos genéticos del café en fincas del grupo AMSA, con la intención de estructurar en grupos homogéneos y establecer las diferencias en términos de composición química, hacia nuevas variedades.

### 2.1.2. Objetivo Particular 1

Conocer si es posible realizar la discriminación de variedades o grupo de variedades de café utilizando la técnica de espectroscopía de infrarrojo cercano y su posterior proceso de estructuración por grupos homogéneos.

### 2.1.3. Objetivo Particular 2

Realizar una predicción química de la materia grasa de las variedades de café por medio de la técnica de espectroscopía de infrarrojo Cercano para su posterior clasificación.

### 2.1.4. Objetivo Particular 3

Buscar mutantes de café a partir del análisis de diferentes arboles por medio de la técnica de espectroscopía de infrarrojo Cercano.





### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. SECUENCIA METODOLÓGICA

Para poder llevar a cabo los objetivos planteados se llevó a cabo la secuencia que se muestra a continuación:

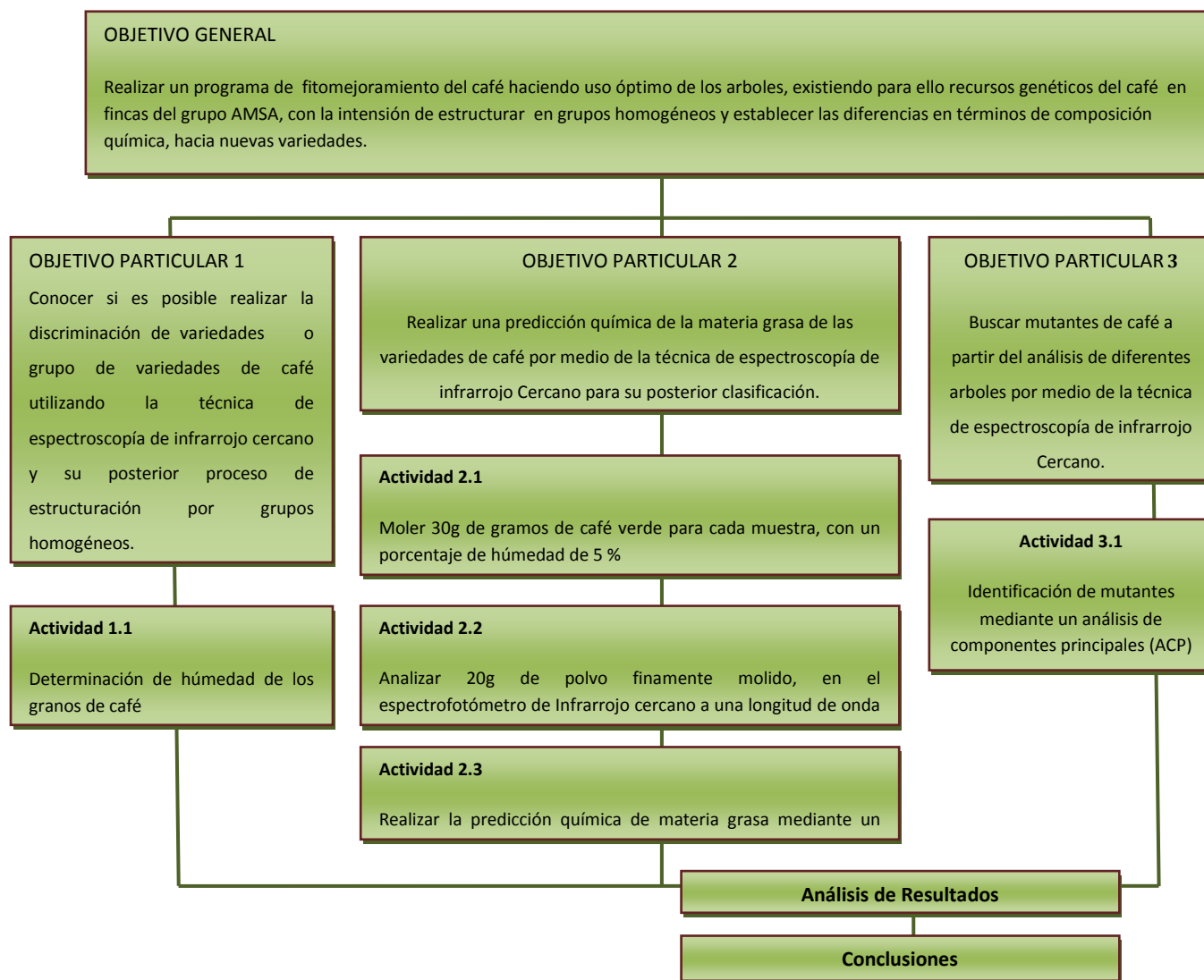


Figura 4. Cuadro Metodológico

**3.2. MATERIAL BIOLÓGICO**

Se trabajó con muestras de café de 1675 diferentes orígenes genéticos de la especie *Coffea arabica* (cuadro 8), procedentes de la parcela Llorona del grupo Ecom-Nicaragua a una altitud de 980 m.s.n.m.

En el cuadro 8 se muestra el total de muestras analizadas, divididas por grupos de acuerdo a los grupos genéticos y variedades.

**Cuadro 8. Muestras analizadas por grupos genéticos (Etiopía, Híbridos, Catimores y sus diferentes códigos) y variedades (Caturra, Guacamaya y Marsellesa).**

Código	Número de Muestras	Código	Número de Muestras
<b>Etiopía</b>		<b>Catimor</b>	
Et 28	8	Ct 1	8
Et 29	15	Ct 2	14
Et 39	33	Ct 3	12
Et 40	11	Ct 4	6
Et 41	17	Ct 5	11
Et 42	12	Ct 6	9
Et 43	10	Ct 7	15
Et 44	13	Ct 8	11
Et 45	13	Ct 9	9
Et 46	16	Ct 10	15
Et 49	15	Ct 11	12
Et 50	17	Ct 12	7
Et 51	13	Ct 13	14
Et 53	1	Ct 14	6
Et 54	3	Ct 15	17
Et 55	1	Ct 16	10
Et 56	13	Ct 17	8
Et 57	15	Ct 18	5
Et 58	2	Ct 19	10
<b>Total</b>	<b>228</b>	Ct 30	13
<b>Híbridos</b>		Ct 38	1
H 22	80	<b>Total 213</b>	
H 23	79	<b>Variedades</b>	
H 24	89	Caturra	<b>90</b>
H 25	86	Guacamaya	<b>570</b>
<b>Total</b>	<b>334</b>	Marsellesa	<b>240</b>
<b>Total General</b>		<b>1675</b>	



Se muestra una descripción del nombre que representan las letras con respecto al origen genético:

**C** = Caturra = Variedad tradicional de América Latina

**E** = Etiópes = Conjunto de árboles representante de la diversidad de *Coffea arabica* en Etiopia (Cuna de la especie)

**CT** = Variedades de tipo Catimor = Descendientes de un cruzamiento antiguo entre el Híbrido de Timor y caturra.

**G** = Guacamaya = Selección AMSA/CIRAD dentro de los sarchimores, siendo estos descendientes de un cruzamiento antiguo entre el Híbrido de Timor y una variedad tradicional villa Sarchi.

**L** = Marsellesa=Selección AMSA / CIRAD dentro de los sarchimores

**H** = Híbridos = Cruzamiento entre un padre de Etiopia y un Caturra o un catimor o un Sarchimor.

En la figura 5 se muestra la diversidad genética de la especie *coffea arabica*.

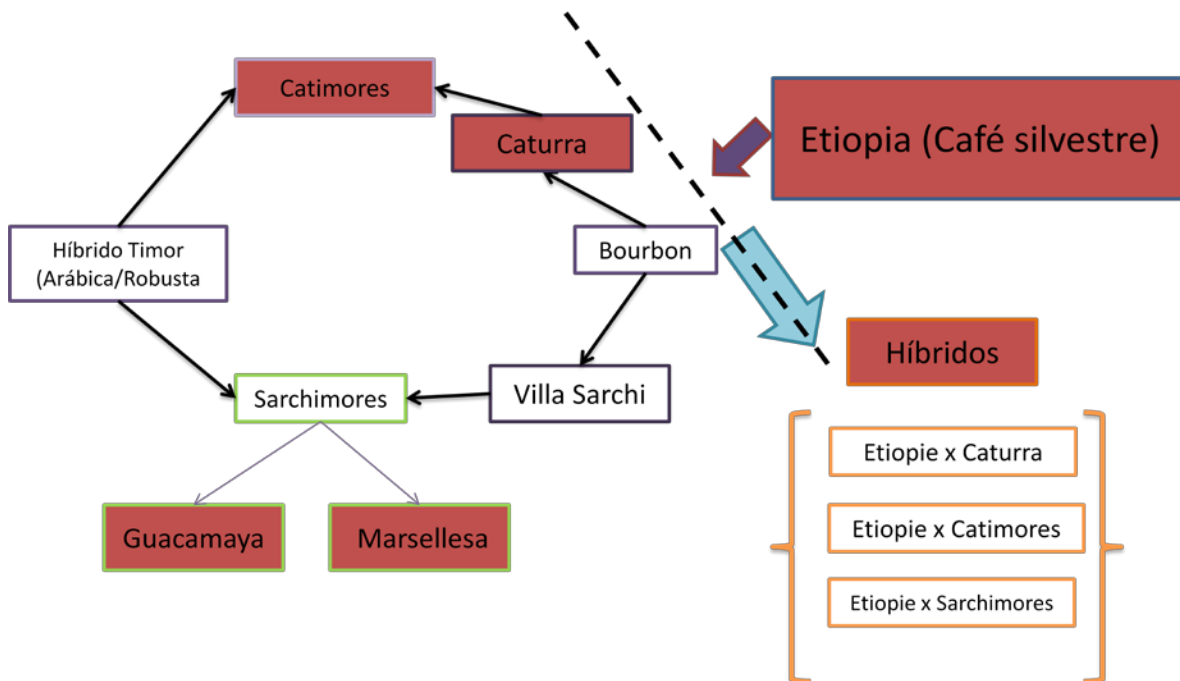


Figura 5. Diversidad genética de la especie *Coffea arabica*.



### 3.3. TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Las muestras de café fueron obtenidas en base al muestreo de arboles representativos de cada grupo o variedad (ver cuadro 8). Las muestras se colocaron en pequeños frascos de plástico con 50 g aproximadamente (figura 6). Cada una de las muestras fue identificada de acuerdo al árbol de procedencia. Los frascos con muestra fueron colocados dentro de otro recipiente, al cual se le adicionó silica gel en el fondo para disminuir la humedad de las muestras a un 5%, posterior a esto se realizó una determinación de humedad en base a la norma ISO 1446, y con esto fue más fácil la manipulación y conservación del grano, lo cual se hace más complicado con la humedad estándar de 12%.

Se decidió hacer este tratamiento ya que resulta menos costoso en comparación con la liofilización y el porcentaje de humedad del grano no tiene que ver con el tratamiento post-cosecha (Vía húmeda o Vía seca).



Figura 6. Muestrateca de variedades de *Coffea arabica*



---

### 3.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se molieron aproximadamente 30 gramos de granos verdes de café arábica, con un contenido de humedad de 5%. Para la preparación de la muestra se tomaron 20 gramos de café finamente molido y se colocaron en celdas con vidrio de reloj sin que quedaran espacios en la celda. Posteriormente las celdas fueron cerradas para impedir que cayera el polvo.

### 3.5. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Durante los últimos 20 años, el CIRAD ha ido acumulando datos de muestras de café en la base de datos NIRS. Se comprobó por un lado la repetitividad de los espectros y por otro lado se establecieron ecuaciones de predicción de algunos componentes químicos como la materia grasa.

Cuando llegó el equipo de CIRAD a México en 2005, un experto del CIRAD (Fabrice Davricar) verificó que la medición del espectro por el equipo no hubiera cambiado debido al traslado Francia-México. Hizo todas las averiguaciones necesarias para asegurar la buena calibración del equipo.

### 3.6. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS) DE MUESTRAS DE CAFÉ

Fundamento del análisis NIRS:

La muestra al ser analizada es bombardeada con rayos NIR de diferentes longitudes de onda (400-2498 nm) en escala de 2 nm. Por cada longitud de onda, algunos de los rayos son absorbidos por uniones químicas específicas. Al mismo tiempo, otros rayos son dispersados y reflejados por otras uniones químicas. Este proceso es comúnmente descrito como "Reflectancia NIR". En contraste, algunos de los rayos pasan a través de la muestra, lo cual es denominado "Transmisión NIR" (a menudo referida como NIT) (Burns, 2007).



---

Antes de comenzar a operar el equipo por primera vez en el día, se encendía y se dejaba calibrar el Software durante 30 minutos, posterior a esto se hacía una corroboración para saber que la calibración siguiera igual, la cual consistía en introducir una celda control (check cell) con harina de soya, esta era una referencia absoluta. El tiempo que llevaba realizar esta calibración era de 15 minutos aproximadamente.

Posterior a esta verificación se procedía al análisis de las muestras debidamente molidas. La muestra se colocó en una pequeña celda circular (aproximadamente 20 g), con superficie de vidrio, asegurando que no quedaran espacios vacíos en el interior, para no tener datos erróneos. Posteriormente la celda se sujetó del soporte del equipo NIRS, (marca Foss NIRSystems Modelo 6006-M), indicando la interfaz (computadora) que se debía cerrar la compuerta de la cámara, con un tiempo de análisis de entre 50-60 segundos a una temperatura de 25°C. Al final de cada sesión automáticamente el equipo mandaba la señal a la computadora avisando que se había culminado con el análisis (Figura 7). Las muestras fueron analizadas una vez, solo cuando la muestra excedía un GH (calcular una distancia de un individuo hacia el origen de la nube representativa del conjunto de individuos) de 3 se repetía el procedimiento para corroborar que los valores fueran ciertos. Para poder obtener el porcentaje de materia grasa en base a los espectros del Nirs se utilizó una ecuación de predicción, a la cual no hubo acceso por parte de CIRAD, pero a continuación se menciona como se obtuvo ésta.



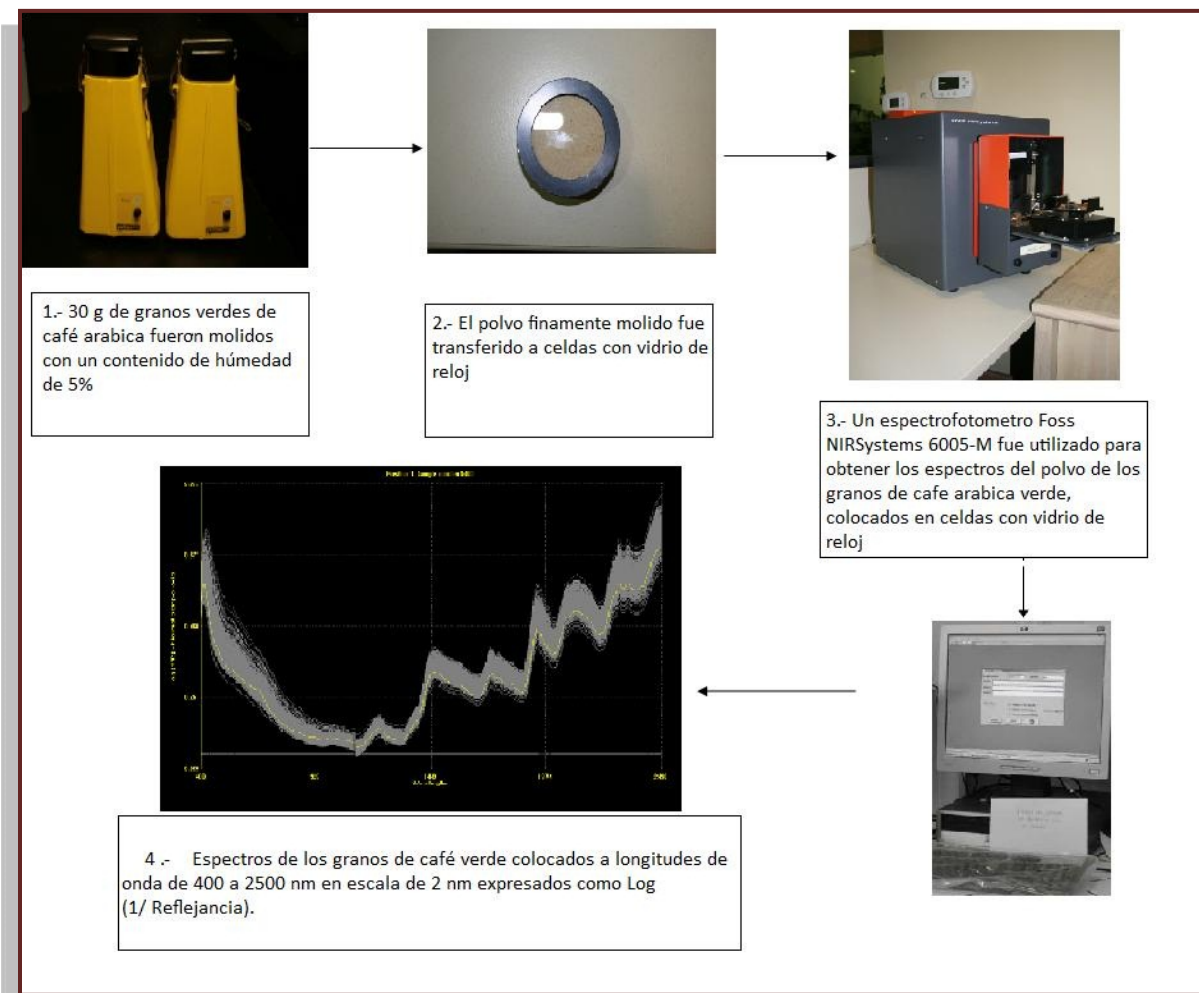


Figura 7. Análisis de muestras de café en el NIRS

Para establecer una ecuación de predicción de la materia grasa se tienen que estudiar como 200 muestras representativas de la variabilidad conocida del café. De esas 200 muestras se registró el espectro NIRS y se evalúa el contenido de materia grasa a través de metodologías tradicionales de laboratorio.

Se dividieron las 200 muestras en dos grupos aleatorios de 100 muestras. Con el primer grupo (predicción) se establece una regresión lineal entre los valores de absorbancia de las diferentes longitudes de onda a partir de los valores reales de materia grasa.



---

Con el segundo grupo (Validación) se predice el contenido de materia grasa gracias a la ecuación (regresión lineal) previamente establecida por el primer grupo y se comprara la predicción con el valor real de cada muestra. La correlación entre el valor predicho y el valor real da la validez de la ecuación (Montagnon, 2006).

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el presente trabajo se realizaron tres tipos de análisis:

- 3.7.1. **Análisis Discriminante:** el AD es un análisis multivariable que permite validar de manera estadística la estructuración en grupos a partir de varias variables descriptivas: en nuestro caso la absorción de cada longitud de onda de los espectros NIRS.

El principio es dividir en dos el fichero principal.

El AD usa el primer fichero para definir una ecuación de predicción del grupo a partir de las longitudes de onda de los espectros, es la parte de calibración.

El AD usa el segundo fichero para validar dicha ecuación prediciendo el grupo a partir del espectro NIRS y confrontar la clasificación con el grupo conocido. Es la parte de la validación. El número importante es el porcentaje de buena clasificación por el AD en la parte de validación (Montagnon, 2006).

- 3.7.2. **Análisis de la Varianza:** el ANOVA compara el valor promedio de una variable (materia grasa) de diferentes grupos. Se utilizó el test de Newman y Keuls del nivel de 0.05 de probabilidad para acertar una diferencia estadísticamente significativa entre medias de los grupos (Montagnon, 2006).

La técnica del **Análisis de la Varianza** consiste en descomponer la variabilidad de una población (representada por su varianza) en diversos sumandos según los factores que intervengan en la creación de esa variabilidad. Por ejemplo, si estudiamos la varianza que



---

presenta una colección de calificaciones que provienen de tres asignaturas en cuatro cursos distintos a lo largo de los últimos años, la varianza total se puede descomponer en cuatro sumandos:

- Parte proveniente del factor asignatura
- Componente aportado por los distintos cursos
- Influencia de la evolución temporal en los últimos años
- Varianza propia (interna) de la población.

3.7.3. **Análisis en Componentes Principales:** El ACP es un análisis multivariable que describe la variabilidad de un conjunto de individuos sin presumir cualquier grupo (lo que sería el AD). Es posible para cada individuo, calcular una distancia de dicho individuo hacia el origen de la nube representativa del conjunto de individuos. Esa distancia se llama GH y cuando su valor supera 3, el individuo tiene una probabilidad superior a 0.95 de estar significativamente fuera de la nube: sería nuestra definición de un outlier (Montagnon, 2006).

Se usó el software Xlstat para los ADs y ANOVAs y el Software Winisi para los ACPs

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá, pues, que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones). Esto no siempre es fácil, y será de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación.



**4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN****4.1. ESTRUCTURACIÓN EN GRUPOS**

La estructuración consiste en comprobar en base a los espectros NIRS, los orígenes genéticos y para ello se realizó una estimación y validación (cuadro 9 y 10).

**Cuadro 9. Análisis Discriminante de orígenes genéticos de la parcela Llorona, Estimación.**

de \ a	Caturra	Etíope	Guacamaya	Híbridos	Llorona	Catimores	Total	% correcto
Caturra	64	2	1	1	0	5	73	88
Etíope	5	138	5	30	1	19	198	70
Guacamaya	1	8	489	7	4	4	513	95
Híbridos	1	18	3	263	2	6	293	90
Llorona	2	2	3	2	190	3	202	94
Catimores	7	12	14	1	1	161	196	82
Total	80	180	515	304	198	198	1475	88

**Cuadro 10. Análisis Discriminante de orígenes genéticos de la parcela Llorona, Validación**

de \ a	Caturra	Etíope	Guacamaya	Híbridos	Llorona	Catimores	Total	% correcto
Caturra	14	0	0	2	0	1	17	82
Etíope	3	16	3	2	0	6	30	53
Guacamaya	0	0	55	1	0	1	57	96
Híbridos	1	4	1	34	1	0	41	83
Llorona	0	0	1	0	35	2	38	92
Catimores	0	0	0	0	0	17	17	100
Total	18	20	60	39	36	27	200	86

El AD confirmó la validez de la estructuración de los grupos genéticos a partir de los espectros NIRS, ya que permite validar de manera estadística la estructuración en grupos a



---

partir de varias variables descriptivas: en nuestro caso la absorción de cada longitud de onda de los espectros NIRS.

El valor de buena clasificación fue de 88 y 86 %, para estimación (Cuadro 9) y validación (Cuadro 10), respectivamente. Esos valores demuestran un grado de confianza muy alto en la predicción genética del grupo de un árbol por el NIRS.

Sin embargo, la clasificación de los etíopes no es tan satisfactoria con 53 % de buena clasificación (Cuadro 10). Eso se puede explicar por la gran variabilidad genética que se reconoce a los etíopes cuando los otros grupos son menos variables, esperando pequeñas malas clasificaciones entre grupos cercanos como Caturra, Catimores o Etíopes con Híbridos. Sin embargo, la clasificación de Catimores como Etíopes era menos esperada. No se pueden descartar errores de identificación de árboles. Sin embargo, este resultado podría indicar que unos Catimores se parecen a Etíopes por lo que va del perfil NIRS por lo que podría abrir perspectivas para adelantar la selección de Catimores de alta calidad.

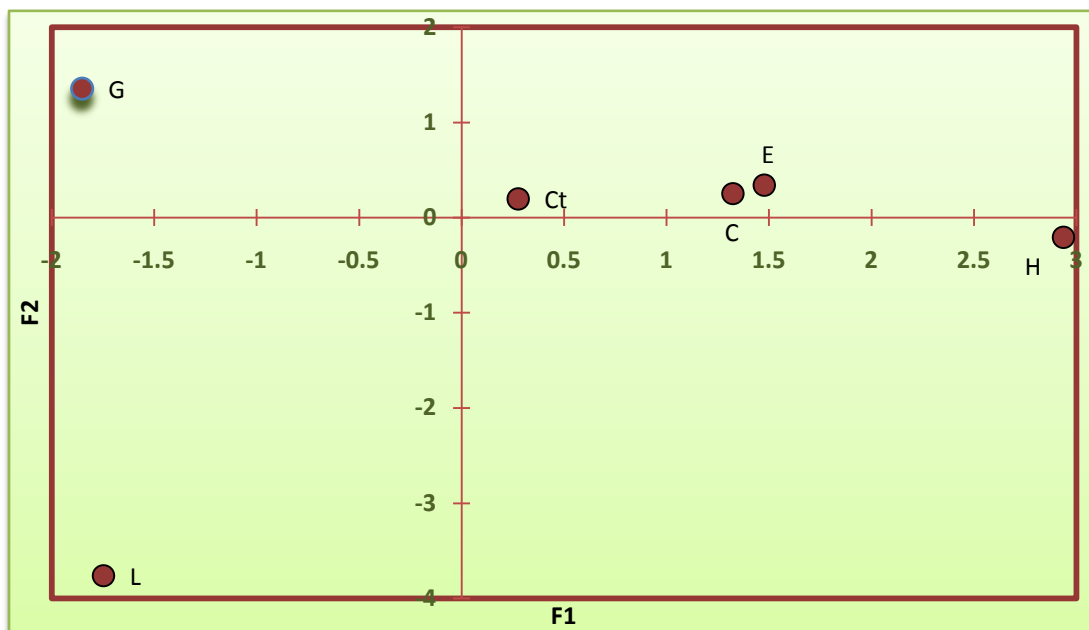
Es la primera vez que se comprueba el poder del NIRS para estructurar grupos según el origen genético. Ya se había comprobado con unas variedades pero no con cientos de muestras.

En otros trabajos realizados como en el de Diferenciación de variedades de café basado en espectroscopía en el infrarrojo cercano (Díez, 2007), se comprobó que el NIRS tuvo una gran acertación en la diferenciación de especies de *arabica vs robusta*. Los resultados obtenidos en otro trabajo sirvieron como una predicción hacia la diferenciación de variedades de café *Coffea arabia* (Esteban, 2006).

La figura 8 ilustra los dos primeros factores (o ejes) del análisis con aquellas combinaciones lineales de las variables (en este caso longitudes de onda) que explican más la variabilidad general. Por definición la correlación entre los factores es nula.



La posición media de cada grupo genético y variedad en el plan formado de los dos primeros factores del AD realizada a raíz de los espectros NIRS. Una oposición entre Guacamaya y Marsellesa de un lado y Caturra, Etiopia e Híbridos del otro lado se observa, los Catimores ubicándose en el centro. Caturra y los Etiopes no tienen parentesco con el Híbrido de Timor. Así que su oposición contra los Sarchimores hace sentido. Los Catimores tienen parentesco con el Híbrido de Timor, pero también con el Caturra. Así que la posición intermedia de los Catimores se entiende.



**Figura 8. Centroides de los orígenes genéticos según los dos primeros factores del AD.**

Donde G: Guacamaya, CT: Catimores, L: Llorona, E: Etiopias, C: Caturra, H: Híbridos

Los híbridos tienen un padre etíope y otro que puede ser Caturra, Catimor o Sarchimor. Entonces, se hubiera podido esperar una ubicación intermedia de los híbridos entre un extremo Etiopía y otro compuesto de Caturra, Catimores o Sarchimores. Sin embargo no sucedió de esta manera.



El efecto de “vigor híbrido” o “heterosis” caracterizando a los híbridos se define como la superioridad del híbrido versus cada uno de su padre, cuando corresponde a un promedio entre los padres si no hay heterosis. Eso se aplica a la producción pero también parece que se podría aplicar al espectro NIRS, ya que mayor análisis de muestras de los híbridos se ubican fuera de la zona delimitada por sus padres. Siendo fuera de esta zona, los híbridos se ven más cerca de los Etiopes. Lo cual podría indicar un heterosis hacia más calidad.

#### 4.2. EVALUACIÓN DE LA MATERIA GRASA

El ANOVA compara el valor promedio de una variable (materia grasa para nosotros) de diferentes grupos. Usamos el test de Newman y Keuls del nivel de 0.05 de probabilidad para acertar una diferencia estadísticamente significativa entre dos grupos (Montagnon, 2006). A continuación se muestran ANOVAs para la materia grasa y en el cuadro 11 se hace para todos los orígenes genéticos.

**Cuadro 11. Orígenes genéticos para la materia grasa (% materia seca).**

Categoría	Media estimada	Grupos*			
Híbridos	16.604	A			
Etiopes	16.041		B		
Marsellesa	15.734			C	
Guacamaya	15.700			C	
Catimores	15.252				D
Caturra	15.163				D

\*Dos grupos con misma letra no son diferentes del nivel estadístico de 0.05 de probabilidad según la test de Newman y Keuls

El ANOVA confirmó nuevamente la variabilidad genética y en este caso lo ha hecho mediante grupos. El grupo de la letra A tiene el valor de materia grasa más alto y el grupo de la letra D tiene el valor más bajo. El primer grupo lo encabezaron solo los Híbridos (letra A) con un valor de 16.6 %, el segundo grupo fue para los Etiopes (letra B) con 16 % ms, el tercero (letra C) fue para Marsellesa y Guacamaya juntos con 15.7% ms, y el último grupo (letra D) fue para Catimores y Caturra juntos con 15.2 y 15.1%, respectivamente.





Esta clasificación es una manera simple de ver el acomodo de las variedades con base en su calidad de materia grasa, dejando ver un panorama más amplio al momento de querer hacer una selección para una posterior creación de variedades con una calidad aun mayor.

La eficiencia de la selección de las variedades Marsellesa y Guacamaya se comprobó por parte de AMSA y CIRAD, tomando en cuenta la calidad, ya que superan significativamente la variedad tradicional Caturra y los Catimores. Sin embargo, aun no alcanzan los niveles de los Etíopes.

Otra vez se observó que los híbridos no fueron como intermediarios entre sus padres, sino superiores a sus mejores padres que son los Etíopes. Es una nueva indicación del fenómeno de heterosis al nivel de la composición en materia grasa.

En el cuadro 12 se muestra el análisis de varianza realizado para evaluar el contenido de materia grasa en los Híbridos (Cruzamiento entre un padre de Etiopia y un Caturra o un catimor o un Sarchimor) y Caturra (es este caso fue un testigo, ya que es la variedad más comercial en América latina), observándose dos grupos el primero reúne todos los híbridos y el otro corresponde al Caturra (testigo).

**Cuadro 12. ANOVA de los Híbridos y Caturra para la materia grasa**

Categoría	Media estimada	Grupos *	
Híbrido 22	16.722	A	
Híbrido 23	16.627	A	
Híbrido 24	16.580	A	
Híbrido 25	16.497	A	
Caturra	15.163		B

\*Dos grupos con misma letra no son diferentes del nivel estadístico de 0.05 de probabilidad según la test de Newman y Keuls de los Híbridos para la materia grasa

La superioridad general de los híbridos se comprueba para el contenido en materia grasa. Al no tener diferencias significativas entre los híbridos, se puede seleccionar el mejor



híbrido según otros criterios como la productividad o resistencia a enfermedades sin tener impacto sobre la materia grasa.

El ANOVA para los Etiópes (Cuadro 13) resultó con gran variabilidad genética y en este caso lo ha hecho mediante grupos los cuales van desde la letra A hasta la D, donde el grupo de la letra A tiene el valor de materia grasa más alto y el grupo de la letra D tiene el valor más bajo. El primer grupo lo encabeza solo la categoría 40 (letra A) con un valor de 17.85 % ms, el segundo grupo fue para las categorías 42, 57, 44, 44, 41, 50, 49, 46, 56, 28, 29 y 45 juntas (letra B) con valores que oscilan desde 16.6 hasta 15.69 % ms, el tercero (letra C) fue para las categorías 57, 44, 41, 50, 49, 46, 56, 28, 29, 45, 39 y 43 juntas con valores de entre 16.33 hasta 15.43 % ms, y el último grupo (letra D) fue para las categorías 44, 41, 50, 49, 46, 56, 28, 29, 45, 39, 43 y 51 con valores que oscilan entre 16.22 y 15.27 % ms.

**Cuadro 13. ANOVA de los Etiopios para la materia grasa.**

Categoría	Media estimada	Grupos*			
40	17.858	A			
42	16.600		B		
57	16.328		B	C	
44	16.225		B	C	D
41	16.182		B	C	D
50	16.181		B	C	D
49	16.146		B	C	D
46	16.025		B	C	D
56	15.949		B	C	D
28	15.938		B	C	D
29	15.762		B	C	D
45	15.693		B	C	D
39	15.525			C	D
43	15.425			C	D
51	15.270				D

\* Dos grupos con misma letra no son diferentes del nivel estadístico de 0.05 de probabilidad según la test de Newman y Keuls.

La eficiencia de una posible selección de algunos códigos dentro del mismo grupo se comprobó. La clasificación permite la determinación de los códigos de buena o mala



calidad, ya que los del grupo de la letra B son los que presentan mejor calidad después de la categoría de la letra A, pero a la vez se puede referir a un grano de baja calidad ya que algunas de las muestras del grupo B se encuentran en el mismo cuadrante del grupo de la letra C y D.

El ANOVA para los Catimores (Cuadro 14) se dividió también en cuatro grupos de la A a la D, donde el primer grupo estuvo conformado por las categorías 17, 8, 16, 9, 11, 12, 13, 7, 14, 19, 6, 4, 2, 10, 30 y 18 juntos, en el grupo de la letra B se encontraron las categorías 8, 16, 9, 11, 12, 13, 7, 14, 19, 6, 4, 2, 10, 30, 18 y 1, en el grupo de la letra C estuvieron las categorías 11, 12, 13, 7, 14, 19, 6, 4, 2, 10, 30, 18, 1 y 3 y por último en el grupo de la letra D estuvo formado por las categorías 5 y 15.

**Cuadro 14. ANOVA de los Catimores para la materia grasa.**

Categoría	Media estimada	Grupos*			
17	16.172	A			
8	15.960	A	B		
16	15.890	A	B		
9	15.881	A	B		
11	15.728	A	B	C	
12	15.727	A	B	C	
13	15.655	A	B	C	
7	15.629	A	B	C	
14	15.585	A	B	C	
19	15.565	A	B	C	
6	15.555	A	B	C	
4	15.255	A	B	C	
2	15.211	A	B	C	
10	15.177	A	B	C	
30	14.950	A	B	C	
18	14.816	A	B	C	
1	14.795		B	C	
3	14.758			C	
5	14.127				D
15	13.756				D

\* Dos grupos con misma letra no son diferentes del nivel estadístico de 0.05 de probabilidad según la test de Newman y Keuls



Estos resultados son un claro ejemplo que dentro de una variedad de menor calidad hay algunos granos que tienen un contenido de grasa alto, tanto que se encuentran dentro del rango de otras variedades como lo son Híbridos y Etiopes. Esos granos deben ser importantes al momento de contemplar una realización de mejoramiento genético.

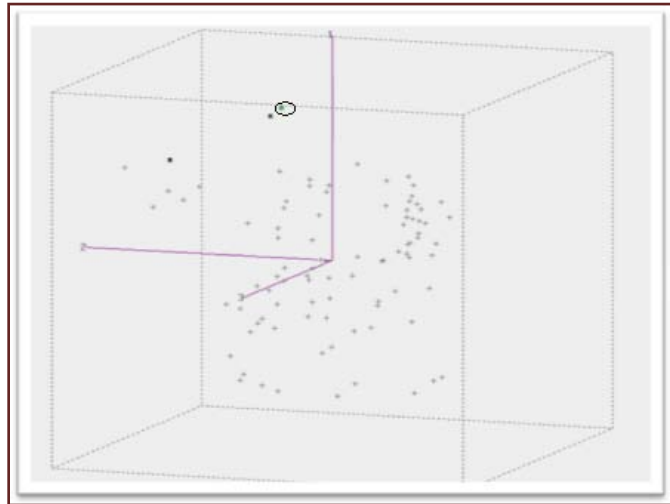
El resultado de que algunas muestras tengan alto contenido de materia grasa se puede interpretar como coherente ya que alguno de los padres de esta variedad tiene descendencia cercana de la variedad Etíope, variedad que tiene alto contenido en materia grasa.

#### **4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP) PARA BÚSQUEDA DE MUTANTES U OUTLIERS.**

El ACP es un análisis multivariable que consiste en describir la variabilidad de un conjunto de individuos sin presumir cualquier grupo (lo que sería el AD). Es posible para cada individuo, calcular una distancia de dicho individuo hacia el origen de la nube representativa del conjunto de individuos. Esa distancia se llama GH y cuando su valor supera 3, el individuo tiene una probabilidad superior a 0.95 de estar significativamente fuera de la nube: sería nuestra definición de un outlier (Montagnon, 2006).

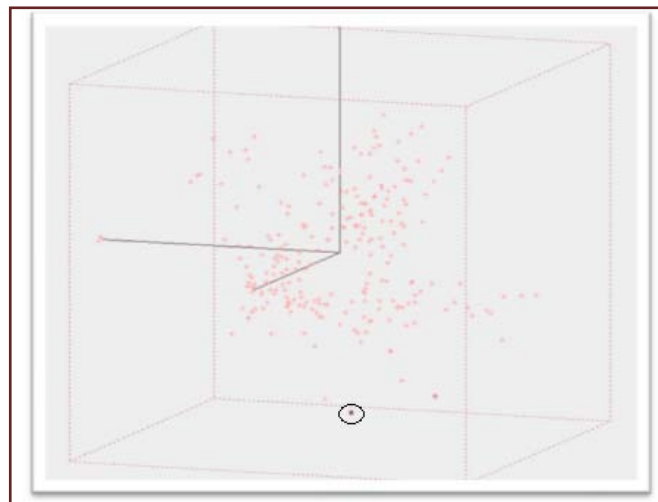
En el gráfico del análisis PCA por grupos (Figura 9), para la variedad caturra se originó un outlier, siendo la muestra número 1695 con un GH de 3.886, siendo esta muestra perteneciente a la variedad caturra (en base al fichero de la empresa), y esto quiere decir que probablemente hubo alguna mutación debido a que se encuentra cada vez más cerca del parentesco de los etiopes y por lo tanto pudo contener mas materia grasa para este caso.

Entendiéndose como Outlier cuando un individuo tiene una probabilidad superior a 0.95 de estar fuera de la nube y un GH es posible calcular la distancia de un individuo hacia el origen de la nube representativa del conjunto de individuos. (Montagnon, 2006).



**Figura 9. Análisis de componentes principales (PCA) para Caturra.**

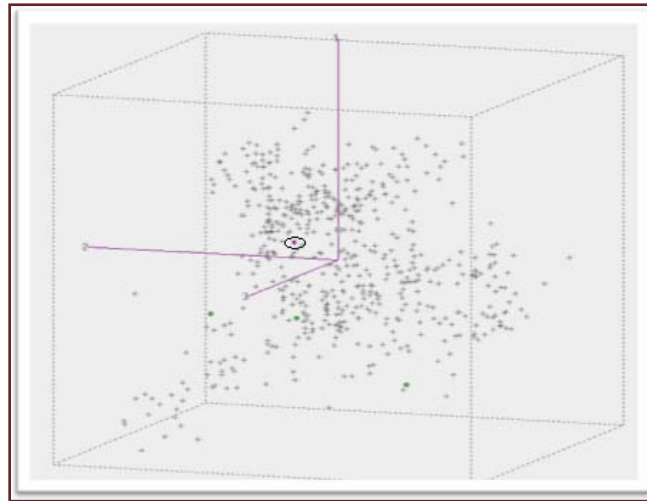
Para la variedad Etíope (Figura 10) se registró un outlier, correspondiente a la muestra número 1869 con un GH de 3.977. El resultado muestra la determinación del AD, donde afirma que esta muestra pertenece al grupo de los Híbridos con una acertación de 0.9. Este valor es el resultado de la cercanía genética que hay entre los Híbridos y los Etíopes, y por lo tanto no es casualidad que se presente un valor de esta característica.



**Figura 10. Análisis de componentes principales (PCA) para Etíopes.**



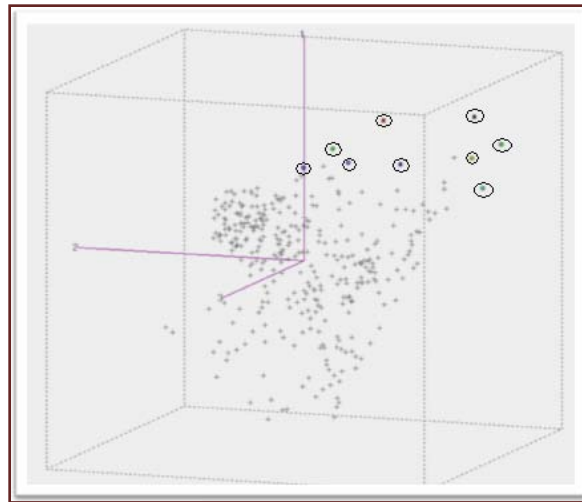
Para la variedad Guacamaya (Figura 11) se registró un outlier, perteneciente a la muestra número 1264 con un GH de 3.087. El resultado que ha dado el programa Winisi es que lo ha identificado como una muestra del mismo grupo analizado. En el análisis de AD la muestra 1264 da tanto en A priori como en A posteriori una variedad Guacamaya con una acertación de 0.999. La variedad Guacamaya se certifica que tiene algunas muestras con una calidad mayor



**Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) para Guacamaya.**

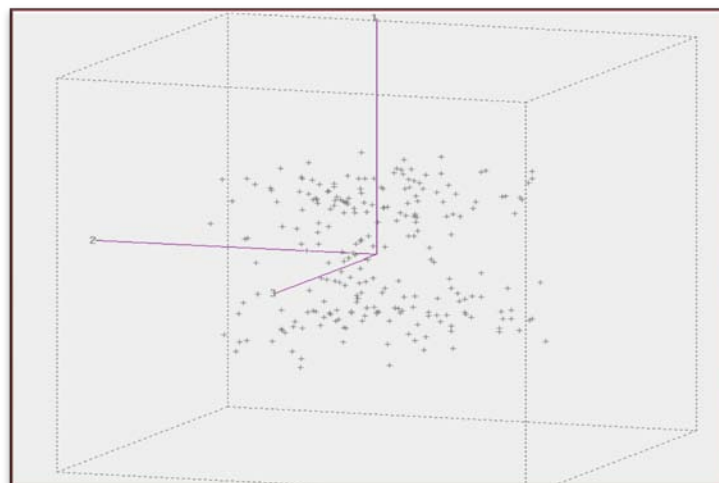
Para la variedad de los Híbridos (Figura 12) se registraron outliers, pertenecientes a las muestras número 1919, 1334, 1513 con un GH de 3.244, 3.379, 4.099.

En el análisis de AD las muestras 1334, 1513, 1919 se muestran tanto en A priori como en A posteriori como una variedad de Híbridos con una acertación de 1.0, 0.86 y 0.84, respectivamente, lo que significa que la variedad de los Híbridos tiene mucha cercanía con otras variedades, puesto que de allí descienden, razón por la cual hay más outlier para este grupo.



**Figura 12. Análisis de componentes principales (PCA) para Híbridos.**

Para la variedad Llorona (Figura 13) no se registraron outliers, mientras que el ACP muestra cinco muestras como Sarchimores y una como Guacamaya. En el caso que se menciona como Sarchimores es correcto puesto que Llorona es una selección dentro de estos, y en el caso de Guacamaya también es razonable ya que también descienden de los Sarchimores, y por lo tanto puede haber muestras que presenten similitud con alguno de sus descendientes.

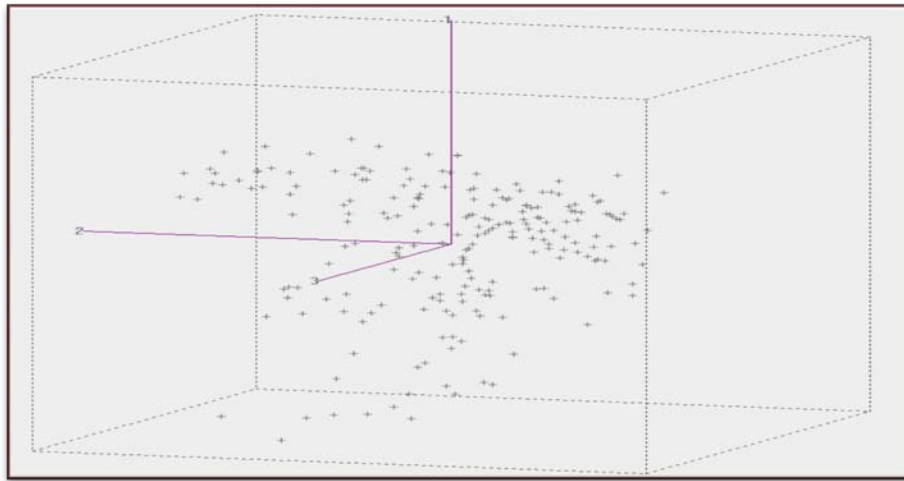


**Figura 13. Análisis de componentes principales (PCA) para Llorona.**



Para la variedad *Sarchimores* (Figura 14) no se registraron outliers, mientras que en el ACP todas las variedades de *Sarchimores* dieron como resultado Etiopias.

Estos valores son un poco extraños ya que la descendencia es de un cruzamiento entre el Híbrido antiguo de Timor y una variedad tradicional, lo que quiere decir que cuenta con información genética de varias variedades.



**Figura 14. Análisis de componentes principales (PCA) para Sarchimores.**

El análisis por PCA de cada grupo o variedad (Fig. 9 a 14) reveló una lista siguiente de Outlier o sea de aquellas muestras con  $GH > 3$  que se resumió en el cuadro 15.

El cuadro muestra un grupo de muestras que fueron sometidas a una réplica del análisis de NIRS, debido a que el primer análisis presentó un  $GH > 3$ , siendo para la variedad Caturra sólo la muestra 1692, para Etiopía sólo la muestra 1869 y para los Híbridos las muestras 1919, 1334, 1513 y 1968. También se muestra el Ranking (número que ocupan las muestras con  $GH$  mayor a tres, el conteo es de atrás hacia adelante) de las muestras iniciales y las réplicas en el que se encontraban las muestras dentro del programa Winisi, siendo el ranking, la posición en la que se encontraban las muestras en la lista del programa Winisi, donde la última muestra de la lista se conto como la número 1, y la penúltima como número 2 y así sucesivamente.



**Cuadro 15. Muestras con GH > 3 dentro de las 1675 muestras analizadas de diferentes grupos genéticos.**

GRUPO	NÚMERO DE OUTLIERS	MUESTRA	REPETICIÓN	GH	RANKING
Caturra	1	1695	3	3.654	1
				3.373	2
				1.754	4
Etiópe	1	1869	2	3.977	1
				2.695	3
Híbrido	4	1919	3	3.244	3
				2.301	10
				1.854	19
		1334	2	3.379	2
				1.762	22
		1513	2	4.099	1
2.220	2				

Las réplicas obtenidas de cada una de las muestras mostraron que se trataba de un error que se puede atribuir a la mala manipulación de la muestra durante la experimentación, debido a que los GH de cada una de las muestras disminuían gradualmente hasta que algunas terminaron con un GH que oscilaba entre 1 y 2. El Ranking de cada una de las muestras dice la posición en la que se encontraron, es decir de toda la lista de muestras analizadas se comenzaba a contar del final hacia el principio, ya que las últimas fueron las que se encontraban fuera del grupo de aceptación delimitado por el Ranking, el cual no debía pasar de 3 porque quería decir que alguna muestra era diferente con respecto al resto del grupo.

Aunque el GH de las muestras disminuía, el número de Ranking no lo hacía bruscamente, como sucedió en la muestra 1869 de Etiopía, donde se tuvo un GH inicial de 3.977 y su réplica un valor de 2.695, lo que los posicionó en un Ranking final de 1 y 3. Algo muy similar



sucedió con las muestras 1513 y 1968 del grupo de los Híbridos. Estos valores siguieron siendo un resultado importante, ya que las réplicas estaban cerca de la frontera del GH=3. Esto pudo ser el resultado de una buena Heterosis entre los dos padres seleccionados al momento de crear una variedad.

En otros trabajos utilizando el infrarrojo cercano para detectar la introgresión en cultivares de café arábica también hubo detección de outliers, interpretándolos como introgresión (para nosotros Híbridos) dentro de cultivares en donde se quería encontrar este tipo de café (Bertrand, 2005).

Otro trabajo que nos pudo ayudar como una referencia del buen trabajo que realiza en NIRS es en la identificación de alimentos transgénicos, ya que tuvo un valor de acertación muy alto, puesto que tuvo una acertable discriminación de transgénicos permitiendo ser rápido y menos costoso como PCR Y prueba de ELISA. Esta comparación fue un claro ejemplo de que los Híbridos serían fácilmente detectados y posteriormente discriminados del resto del grupo de variedades.





## Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. El NIRS fue capaz de establecer diferencias genéticas a partir del contenido de materia grasa en diferentes variedades de café de la especie *Coffea arabica*, demostrando que en variedades de menor calidad se encuentran arboles o grupos de arboles con alto contenido lipídico.
2. El análisis discriminante (AD) mediante los espectros NIRS, fue capaz de establecer una buena clasificación de 88% y 86% para validación, demostrando un alto rango de confianza en la predicción genética de un árbol mediante NIRS.
3. El análisis de varianza (ANOVA) para cada grupo genético demostró que existe una relación directa entre la calidad de una variedad con una categoría específica
4. Para el grupo de los híbridos se determinó que cualquier categoría es suficiente para realizar un programa de fitomejoramiento genético.
5. Se pueden realizar las siguientes combinaciones para un posterior mejoramiento genético mediante polinización (proceso de transferencia del polen desde estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores en las angiospermas, donde germina y fecunda los óvulos de la flor, haciendo posible la producción de semillas y frutos).

➤ Híbrido 22 X Etiopie 40	✓ Etiopie 40 X Catimore 40
➤ Híbrido 23 X Etiopie 40	✓ Híbrido 22 X Catimore 40
➤ Híbrido 24 X Etiopie 40	✓ Híbrido 23 X Catimore 40
➤ Híbrido 25 X Etiopie 40	✓ Híbrido 24 X Catimore 40
➤ Catimore 40 X Etiopie 40	✓ Híbrido 25 X Catimore 40



# RECOMENDACIONES





### **Recomendaciones**

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede recomendar la continuación de mejora de variedades de Café mediante embriogénesis somática consiste en el desarrollo de embriones a partir de células que no son el producto de una fusión gamética, o en otras palabras, es un proceso por el cual se produce una estructura bipolar (embrión a partir de una célula somática) ya que se tiene la posibilidad de realizarlo mediante este método dentro de donde se realizó la experimentación.





---

## Referencias

1. Alishahi, A. (2010). Identificación de alimentos transgénicos mediante NIRS. *Spectrochimica* , 75: 1-7.
2. Bertrand, B. (2005). ¿Puede la reflejancia del infrarrojo cercano del café verde ser usada para detectar introgresion. *Revista de ciencia de alimentos y Agricultura* , 85: 955-962.
3. Burns, D. (2007). *Handbook of Near-Infrared Analysis*. Londres: taylor & Francis group.
4. Cárdenas, S. (2007). *Situación actual del comercio internacional del cafe mexicano*. México: Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Especialista en economía Agrícola UACH, México.
5. CEFP. (2001). *El mercado de café en México*. Consultado 17 de marzo 2010, Disponible en : <http://www.cefp.gob.mx>.
6. Cen, H. (2007). Luz visible y espectroscopía del infrarrojo cercano para una rápida detección de ácido cítrico y tartárico en jugo de naranja. *Journal of Food Enginnering* , 82: 253-260.
7. CIRAD (2003a). *Centro de Coperacion Internacional en Recursos Agronómicos para el Desarrollo*. Francia: qualisud.
8. Cirad (2003b). *NIRS*. Francia: qualisud.
9. Clarke, R. (1985). *Green Coffee processing*. Nicaragua: Clifford.
10. Coste, R. (1969). *El café*. Barcelona: Blume.
11. Díez, E. (2007). Coffee varietal differentiation base of near infrared spectroscopy. *Talanta* , 221-229.





12. Esteban, D. (2006). Diferenciación de variedades de café basado en espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). *Talanta*, 71: 221-229.
13. FAO, O. D. (2004). *Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas/proyecciones al año 2010*. Roma: FAO.
14. García, A. (2006). *Importancia cultural y económica del café*. Tesis de licenciatura de Ing Agrícola, UACH.México.
15. Gómez, G. (1998). *Cultivo y beneficio del Café*. Publicaciones Camacho, México.
16. Huck, C. (2005). Análisis de Cafeína, Theobromina y Theophyllina en Café por espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) comparado con Cromatografía de líquidos a alta presión. *Analytica Chimica Acta* , 538: 195-203.
17. INEGI. (2009). *Sistema para la Consulta de información del sector alimentario en México (SESAM)*. INEGI, México.
18. Jacques, A. (2005). Efectos de exposición en pendiente, altitud y campo en la calidad de café en dos altitudes territoriales de Costa Rica, Orosi y Santa María de Dota. *Revista de ciencia de alimentos y agricultura*, 85: 1869-1876.
19. Li, X. (2007). Medida no destructiva y análisis de huella digital del contenido de sólidos solubles en refresco de té basado en espectroscopía Vis/NIR. *Journal of Food Engineering* , 316-323.
20. Mandujano, R. (1989). *Importancia del mejoramiento y control de la calidad del caféverde para el mercado nacional y de exportación*. Puebla, México: Departamento de café.
21. Mathias, J. (1987). Determinación de lípidos y proteínas en pescado fresco mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). *Agricultura* , 61: 303-311.
22. Montagnon, C. (2006). *Café; territorios y calidades*. Quae., Francia.



23. Montminy, J. (2004). *Cafeína para mantenerse despierto*. Servicio de noticias científicas, España.
24. OIC. (2010). *Organización Internacional del Café*. OIC.
25. Orozco, J. (2007). *Descripción de especies y variedades de café*. ENICAFE, México.
26. Pujol, E. A. (2007). Evaluación y predicción del contenido nutritivo de cebada digestible mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). *Livestock Science*, 109: 189-192.
27. Rodriguez, J. (2001). *La concentración del mercado internacional*. Pangea consultores, México.
28. SAGARPA. (2005). *Requisitos para exportar alimentos a los Estados Unidos y a la Unión Europea*. Dirección nacional de alimentos, México.
29. Santoyo, C. (2000). *Factores agronómicos y calidad del café*. Tesis de Licenciatura de ingeniería agrícola, UACH. México.
30. Sinija, V. (2008). Espectroscopía NIR para valoración de cafeína en té verde en polvo instantáneo y gránulos. *LWT- Ciencia de alimentos y tecnología*, 42: 998-1002.
31. Zamarripa, A. (1996). *Programa Nacional de desarrollo y mejoramiento tecnológico para la producción de café en México*. Tesis de licenciatura de ingeniería agrícola UACH, México.