Caracterización de cafés (*Coffea arabiga*) de los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque

Kandy de Lourdes Rojas Tirado

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Caracterización de cafés (*Coffea arabiga*) en los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Kandy de Lourdes Rojas Tirado

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

Caracterización de cafés (*Coffea arabiga*) en los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque

Presentado por:

Kandy de Lourdes Rojas Tirado

Aprobado:

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Carrera Agroindustria Alimentaria

Flor Núñez, M.Sc.
Asesora

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Rojas, K. 2009. Caracterización de cafés (*Coffea arabiga*) de los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 35 p.

La calidad del café es uno de los factores considerados para diferenciarse dentro del mercado empresarial y varía dependiendo de la especie, altitud y manejo agronómico. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la altitud sobre la concentración de los principales componentes responsables del aroma y sabor del café en los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque. Se evaluó el efecto de 22 compuestos químicos en 15 fincas de cuatro departamentos de Honduras, ubicadas en una región altitudinal de 950 a 1,540 msnm. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar el efecto de la altitud sobre los componentes químicos. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson para grasas saturadas (0.52), antocianinas (0.44), grasas totales (0.43) calorías de grasa (0.43) y cafeína (0.39), los que demostraron una relación positiva baja significativa ($P > |r| 0.05$) respecto a altitud, lo que significa que el contenido de estos compuestos tienden a incrementar mientras incrementa la altitud. Por el contrario, el contenido de calcio demostró una relación negativa baja significativa (-0.45), disminuye mientras incrementa la altitud. La calidad de las fincas se evaluó mediante un análisis sensorial de aceptación general, el cual demostró que el contenido de sodio, grasa total, sacarosa y trigonelina son variables significativas utilizadas en el modelo de regresión para predecir calidad de café. Todas las fincas se catalogaron como cafés de buena a excelente calidad, la mejor finca se encontró en Santiago de Puringla a 1540 msnm en el departamento de La Paz.

Palabras clave: ácido clorogénico, altitud, cafeína, denominación de origen, trigonelina.

CONTENIDO

Portadilla……... i
Página de firmas……..... ii
Resumen…… iii
Contenido……. iv
Índice de cuadros, figuras y anexos…….. v

1. INTRODUCCIÓN…… 1
2. REVISIÓN DE LITERATURA……..... 4
3. MATERIALES Y MÉTODOS……. 11
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….. 17
5 CONCLUSIONES…… 26
6 RECOMENDACIONES…….. 27
7 BIBLIOGRAFÍA…….. 28
8 ANEXOS…….. 30

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Estándares de calidad y cafés con potencial comercial en Centroamérica..... 10
2. Información general de las fincas de café. 13
3. Compuestos químicos analizados y métodos de referencia para el análisis de las muestras de café. 14
4. Modelos de regresión para predecir calidad a través de componentes significativos e importantes según la literatura..... 24
5. Resultados de aceptación general del análisis de evaluación sensorial para las fincas en análisis..... 25

Figura

1. Efecto de la altitud sobre el contenido de grasa insaturada del grano de café. 18
2. Efecto de la altitud sobre el contenido de calorías de grasa del grano de café. 18
3. Efecto de la altitud sobre el contenido de grasa total del grano de café..... 19
4. Efecto de la altitud sobre el contenido de calcio del grano de café..... 20
5. Efecto de la altitud sobre el contenido de antocianinas del grano de café 21
6. Efecto de la altitud sobre el contenido de cafeína del grano de café..... 22

Anexo

1. Espectro de las 15 muestras analizadas por NIRS. 30
2. Análisis de varianza para determinar el efecto de la altitud sobre los componentes químicos evaluados. 30
3. Coeficientes de correlación significativos de los compuestos afectados por la altitud. 31
4. Coeficientes de regresión de los compuestos con correlación significativa. 31
5. Contrastes ortogonales entre los departamentos y los cinco compuestos químicos más importantes. 31
6. Contrastes ortogonales entre municipios comparados con Marcala y los cinco compuestos químicos más importantes 32
7. Promedio y desviación estándar de los cinco componentes más importantes en cada municipio. 32
8. Comparación visual entre el contenido de los compuestos químicos y el estándar rango de calidad centroamericano. 33
9. Separación de medias Tukey entre el estándar de Centroamérica, muestras con potencial comercial y las muestras en análisis. 33
10. Coeficientes de correlación significativos al relacionar los compuestos evaluados y el resultado de evaluación sensorial. 34
11. Coeficientes de regresión significativos al relacionar los compuestos evaluados y el resultado de evaluación sensorial. 34
12. Rangos de calificación de catación utilizados para determinar calidad de café. 34
13. Clasificación de las fincas de acuerdo al estándar de aceptación general en el análisis de evaluación sensorial. 35

1. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XX, la actividad cafetalera ha sido uno de los principales pilares de la sostenibilidad económica y social del país, genera el mayor numero de divisas para el país, cada año se exportan 3.8 millones de sacos (46 kg/saco), esto vincula el 14% del PIB Nacional y 33% del PIB agrícola, ocupando el segundo lugar como producto generador de divisas para el país (Banco Central de Honduras 2009).

El café hondureño ha ido incursionado día con día hacia la apertura de nuevos mercados, logrando mantener una relación a largo plazo con compradores de café en el mercado internacional (IHCAFE 2007). Sin embargo la competencia frente a otros países provoca bajos precios de mercado e impiden la participación del café hondureño en el mercado.

Actualmente promover la producción y mercadear cafés de calidad, es uno de los factores a considerar para poder diferenciarse y aprovechar nuevas tendencias de mercado donde se obtienen mejores ganancias, como las inclinaciones hacia café gourmet, orgánico y oportunidades de negocio en empresas como Starbucks y Espresso Americano.

Según Decazy *et al.* (2003), los mejores cafés se encuentra a una altitud mayor a 1000 msnm y la calidad varía dependiendo de varios factores, como área geográfica, variedad cultivada, manejo agronómico y de post cosecha. Además de esto, la calidad está influenciada por varios componentes propios de café como grasa, sacarosa, cafeína, trigonelina y el ácido clorogénico (Avelino *et al*. 2005). El método más eficaz para determinar dichos componentes es cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y GC.

El objetivo de este estudio fue relacionar componentes químicos del café *(Coffea arábiga)* con su calidad y origen. Las muestras corresponden a los departamentos del Paraíso, Ocotepeque, Comayagua y La Paz. Se evaluó el efecto de humedad, cenizas, calorías totales, calorías de grasa, grasa total, grasa saturada, grasa insaturada, grasas trans, sodio, carbohidratos totales, fibra dietética, azúcares totales, sacarosa, ^{o}Brix, proteína, calcio, hierro, cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, taninos y antocianinas totales.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Honduras actualmente es el segundo productor de café en Centro América con un área de siembra que abarca 237,000 hectáreas a nivel nacional e involucran 108 mil productores activos (IHCAFE 2007).

El café es cultivado generalmente por poblaciones de escasos recursos, su explotación representa una fuente de ingresos para dichas poblaciones y genera aproximadamente 8% del total de empleos del país. La comercialización del café hondureño se realiza tanto a nivel nacional como a países como Alemania, Estados Unidos, Bélgica donde se obtienen las mejores ganancias (Banco Central de Honduras 2009).

Altos volúmenes de producción generados por países como Brasil, Vietnam e Indonesia, provocan la fluctuación de bajos precios de comercialización e impiden que el café procedente de Honduras siga compitiendo. En deficiencia de técnicas de manejo y capital de inversión para competir por volumen se hace necesaria la búsqueda de diferentes técnicas que permitan seguir sobresaliendo en el mercado.

1.2 ANTECEDENTES

La Corporación del Desafío del Milenio **(**Millennium Challenge Corporation, MCC) declaró elegibles a 16 países alrededor del mundo de una lista de 70 países preseleccionados. Para América Latina, únicamente tres países fueron declarados elegibles: Bolivia, Honduras y Nicaragua (MCA 2009).

El objetivo del Programa de la MCA es promover el crecimiento económico de manera más acelerada, apoyando la meta de la Estrategia de Reducción de la Pobreza (ERP) propuesta por Honduras ante el MCA, que es la de elevar el crecimiento real del PIB por lo menos en un 4.5% anual sobre una base sostenible y disminuir los índices de pobreza y extrema pobreza en 1.6 puntos porcentuales anuales. En el año 2003 el índice de pobreza era de 63.5% y el de extrema pobreza, de 44.7%. La meta de la ERP para el año 2015 es de reducir esos índices a 42 y 25% (MCA 2009).

Uno de los proyectos del programa del MCA es el financiamiento de estrategias que impulsen el desarrollo de la producción cafetalera al cual se dedican 15 de los 18 departamentos de Honduras y que en su mayoría son caficultores de escasos recursos. El objetivo es obtener mejores ingresos tanto a nivel nacional como internacional al competir con los demás país que se dedican al mismo rubro. Esta estrategia permitirá que lo hogares pobres puedan compartir los beneficios del crecimiento y a la vez mejorar el patrón de distribución del ingreso en el país.

La calidad del café ha sido uno de los factores a considerar para poder mantenerse dentro y optar a la apertura de nuevos mercado. Es necesario aprovechar también las zonas de mejor producción en el país que están determinadas por la región altitudinal a la que se encuentran ya que según Decazy *et al.* (2003), la calidad varía dependiendo de la altitud de producción. La calidad está determinada por una serie de reacciones químicas que proporcionan sabores y aromas propios del café (Farah *et al.* 2005).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

- Caracterizar químicamente muestras de café (*Coffea arabiga*) del Comayagua, La Paz, El Paraíso y Ocotepeque.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Cuantificar el contenido de trigonelina, ácido clorogénico, cafeína y sacarosa en muestras de Comayagua, la Paz, el Paraíso y Ocotepeque.
- Identificar diferencias en la composición proximal de las muestras de café de Comayagua, la Paz, el Paraíso y Ocotepeque por métodos de referencia.
- Cuantificar el perfil de azúcares y ácidos grasos en muestras de café de las regiones de Comayagua, la Paz, el Paraíso y Ocotepeque.
- Cuantificar antocianinas y taninos totales en muestras de café de las regiones Comayagua, la Paz, el Paraíso y Ocotepeque.
- Determinar espectros de absorción de las muestras de café por NIRS.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 COMPONENTES QUIMICOS DEL CAFÉ

2.1.1 Humedad

La humedad es la cantidad total de agua presente en un compuesto. En el café, el disminuye después del tostado y varía de acuerdo al tratamiento post-cosecha (Franca *et al.* 2004).

2.1.2 Cenizas

Es el residuo inorgánico que se obtiene después de incinerar la materia orgánica de un alimento. Normalmente el contenido de cenizas de estudios anteriores en café se situaron en un rango de 4-5 g/100 g de muestra (Machado 1997).

2.1.3 Calorías

Lac calorías son una unidad de energía encontrada en los alimentos provenientes ya sea de grasas, proteínas o carbohidratos. Es usada para las funciones básicas del cuerpo humano y su desempeño físico. El exceso de calorías se almacena en el tejido adiposo (Mataix 2008).

2.1.4 Calorías de grasa

Las calorías de grasa indican el porcentaje de las calorías que provienen de grasa del café. Generalmente las grasas aportan 9 calorías por cada gramo, el doble de las calorías encontradas en carbohidratos y proteínas (Mataix 2008).

2.1.5 Grasa total

La grasa total está compuesta de carbono, hidrogeno y oxígeno, en su mayoría las grasas alimenticias son ésteres formados de la unión de un alcohol (glicerol) y uno o varios ácidos grasos. Algunos de estos son lípidos simples, ceras y aceites (Machado 1997). Es uno de los principales precursores de sabor en café (Avelino *et al.* 2005). Según la

literatura el rango de grasa total debe ubicarse entre 9 -16 g/100 g de muestra (Franca *et al.* 2004).

2.1.6 Grasa saturada

La grasa saturada es una cadena de ácidos grasos que carecen de dobles enlaces en su estructura. Están presentes en animales terrestres y en aceites vegetales de coco y palma. Poseen una consistencia semisólida a temperatura ambiente. Además, proveen sabor al café (Mataix 2008).

2.1.7 Grasa insaturada

Es una cadena de ácidos grasos que posee dobles enlaces en su estructura. Están presentes en casi todos los alimentos de origen vegetal. Proveen una consistencia viscosa a temperatura ambiente (Mataix 2008).

2.1.8 Grasas trans

Son moléculas de ácidos grasos donde la disposición de los hidrógenos se encuentran en forma trans, pueden originarse de forma natural y también químicamente por hidrogenación de grasas naturales con dobles enlaces cis para obtener un doble enlace trans. Sólido a temperatura ambiente. Proveen la misma energía pero no dan la misma respuesta biológicamente (Mataix 2008).

2.1.9 Sodio

Es un tipo de nutriente que en las plantas funciona como activador de enzimas de ATP y estimula el crecimiento a través del alargamiento celular. Su deficiencia causa problemas de clorósis, necrosis e impide la formación de frutos. Regula la presión osmótica del cuerpo humano, el exceso causa principalmente hipertensión (Flores *et al.* 1995).

2.1.10 Carbohidratos

Los carbohidratos con compuestos orgánicos constituidos por carbono, hidrogeno y oxígeno, clasifica a los compuestos con la formula general de $C_n(H_2O)_n$ (Vaclavik 2002).

Los carbohidratos pueden varían de acuerdo al contenido de lípidos, agua, proteína y minerales. Además de esto, los carbohidratos son precursores del sabor dulce del café. El contenido de carbohidratos de un café de calidad se encuentra alrededor de 68.28g y para cafés de menor calidad en 70 g/100 g de muestra (Franca *et al.* 2004).

2.1.11 Fibra dietética

La fibra dietética se refiere a la pared celular de vegetales que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas del hombre en el intestino delgado. Constituida por polisacáridos no amiláceos, lignina, almidón y proteína resistente. Provee un efecto laxante, y/o disminución de los niveles de colesterol y de glucosa en la sangre (Machado 1997).

2.1.12 Azúcares

Son carbohidratos simples que imparten sabor dulce, terneza y color marrón, Es higroscópico y funciona de varias formas distintas en los sistemas alimentarios, actuando como agente separador, estabilizador, formador de geles, espesante y fermentador (Vaclavik 2002).

2.1.13 Sacarosa

Es un disacárido constituido por los monosacáridos glucosa y fructuosa. Es el azúcar más abundante y precursor del aroma del café, provocando varias substancias (furanos, aldehídos y ácidos carboxilos) que afectan tanto el sabor como el aroma del café (Ky *et al.* 2001).

En un estudio realizado por Farah *et al.* (2005), en muestras de cafés previamente clasificadas de acuerdo a su calidad, se encontró el valor más bajo de sacarosa (4.88%) en muestras de café de media calidad y es aquí donde el sabor ácido empieza a predominar. El contenido más alto fue de 7.85 % encontrado en muestras de baja calidad.

2.1.14 Grados Brix

Los grados Brix miden el cociente total de azúcares disuelta en un líquido. Un °Brix es igual a 1 g de azúcar (sacarosa) por 100 g de líquido. Los °Brix se miden con un sacarímetro o con un refractómetro que mide la gravedad específica de un líquido (Vaclavik 2002).

2.1.15 Proteína

Son moléculas únicas y complejas formadas por aminoácidos diferentes que desempeñan una función específica en la planta a la que pertenecen. Son las más abundantes en las células, suponiendo 50% o más del peso seco. Pequeños cambios físicos y químicos alteran su composición y a la vez las del alimento, principalmente la textura (Vaclavik 2002).

El contenido de proteína citado en la literatura varía de 11 a 16.5 g/100g estudios anteriores demostraron que la proteína está relacionada directamente con el contenido de

cafeína y ambos poseen los valores más altos en cafés de mejor calidad (Franca *et al.* 2004).

2.1.16 Calcio

Es un macronutriente que provee buen crecimiento de foliolos, su deficiencia provoca hojas raquíticas y se observan ondulaciones en los filos. Forma parte de la pared celular e influye en el aprovechamiento de otros nutrientes. Altas cantidades de café en la dieta disminuyen la absorción de calcio debido a la cafeína presente (Flores *et al.* 1995).

Contenidos bajos de calcio, significan problemas de clorosis, necrosis o el impedimento de la formación de frutos en plantaciones de zonas altas mayores a 1000 msnm, por lo que debe controlarse la deficiencia de este elemento, principalmente a través del monitoreo y un plan de fertilización adecuado (Farah *et al.* 2005).

2.1.17 Hierro

Es un micronutriente que interviene en las reacciones de oxido reducción del metabolismo energético y en la fosforilación oxidativa de fotosíntesis en las plantas. Su deficiencia provoca un color verde pálido en las hojas nuevas pero las nervaduras mantienen su color verde normal. El café actúa como inhibidor de la absorción de hierro (Flores *et al.* 1995).

2.1.18 Cafeína

Es un alcaloide derivado de la xantina y es determinante para el sabor del café debido a que es responsable del amargor. La cafeína es responsable del amargor del café, por lo que es considerada como uno de los principales precursores del sabor. Los valores adecuados se encuentran entre un rango de 900 a 1900 mg/100 g y el tostado reduce hasta un 30% el contenido (Franca *et al.* 2004).

Los niveles más altos de cafeína se encuentran en muestras de café de alta calidad (Farah *et al.* 2005).

2.1.19 Trigonelina

Es un compuesto derivado de la piridina y es conocido porque contribuye indirectamente a la formación de aromas deseables durante el tostado de café (Ky *et al.* 2001).

La calidad del café disminuye mientras el contenido de trigonelina decrece, desde 1340 mg a 960 mg/100 g de muestra donde se encontró la calidad más baja (Farah *et al.* 2005). El contenido de trigonelina también es utilizado para diferenciar entre variedades ya que suele ser más bajo en variedades de café robusta versus variedades de café arábiga de baja calidad, además de esto el contenido de trigonelina es determinante en la formación de aromas en el momento de tostado de café (Farah *et al.* 2005).

2.1.20 Ácido clorogénico

Se refieren a compuestos fenólicos que representan un 6-12% de los constituyentes del café y es responsable de la pigmentación, formación del aroma y astringencia. Es conocido por la pigmentación, formación del aroma y astringencia del café (Ky *et al.* 2001).

La degradación térmica del acido clorogénico durante el tostado provoca la presencia de fenoles que causan amargor (Clifford 1975).

Según Farah *et al*. (2005), el contenido de ácido clorogénico está relacionado negativamente con la calidad y establece un contenido aproximado de 5,780 mg y 7,020 g/100g para calidades altas y bajas, respectivamente.

Normalmente los rangos de ácido clorogénico se encuentran entre 5, 500 mg y 7,000 mg/100 gr (IICA 1992).

2.1.21 Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos hidrosolubles. Destacan en el café, por sus propiedades astringentes, dando una sensación de aspereza, sequedad y amargor en la lengua. El contenido de taninos disminuye a medida que el fruto madura ya que se ve opacado por los azúcares generados por la maduración. Es conocido también por sus propiedades antioxidantes, disminuyendo la aparición de enfermedades degenerativas (Vaclavik 2002).

Los taninos juegan un papel importante en la astringencia del café, contribuyendo a su sabor, a la vez repercuten en el color que es una característica importante a la vista del consumidor (IICA 1992).

2.1.22 Antocianinas

Se refieren a pigmentos responsables del color purpura, azul o rojo-azulado de vegetales. Pertenecen al grupo de los compuestos químicos de la familia flavona. Son hidrosolubles, se encentran en la sabia de los alimentos y son liberados en el momento de la cocción (Vaclavik 2002).

Las antocianinas están relacionadas al proceso de maduración del grano y mientras más maduro este mayor contenido de antocianinas tendrá. La madurez del grano provee características deseables en el café (IICA 1992).

2.2 ESTUDIOS PREVIOS

Según Decazy *et al.* (2003), los mejores cafés se encuentra a una altitud mayor a 1000 msnm y demuestran tener mejores características organolépticas que otros de altitud menor. En un estudio realizado en Colombia se determinó que la altura sobre el nivel del mar tiene un efecto significativo sobre los componentes físicos-químicos y cualidades organolépticas del café, los cuales repercuten en la calidad obtenida, además de esto, los resultados coincidieron con las temperaturas más bajas, mayor precipitación y humedad relativa. Las mejores zonas se encontraron en el rango de 1450 a 1650 msnm (Buenaventura 2002).

Según Vaast *et al.* (2004), existen diferencias entre la composición bioquímica del café entre regiones, debido a la altitud. La técnica NIRS (Espectrofotometría de infrarrojo cercano) permite diferenciar el café de acuerdo al lugar donde proviene, y podría ser utilizada para certificar el origen geográfico del café.

Según Farah *et al*. (2005), estudios realizados en cafés provenientes de Brasil por medio de HPLC, demostraron una correlación alta significativa entre la calidad y el contenido de sacarosa, cafeína, trigonelina y ácido clorogénico. El mismo estudio determinó que el contenido de trigonelina decrece a medida que empeora la calidad del café; el contenido más bajo se observó en variedades Robusta en comparación con la variedad Arábiga. Baja acidez relacionada al contenido de acido clorogénico se reportó en las muestras de mejor calidad (5.78 g/100g), puesto que acidez es una característica deseable para el sabor pero no necesariamente debe aumentar a medida que lo hace la calidad de café. El contenido de trigonelina demostró decrecer al mismo tiempo que la calidad de café, desde 1.34 a 0.96 g/100g. La cafeína incrementó con la calidad de las muestras de café, la más alta se situó en 1.23 g/100g.

Los análisis químicos que son realizados en laboratorio, comúnmente tienen el inconveniente del tiempo, costos y la utilización de compuestos tóxicos peligrosos. La técnica NIRS permite estimar los componentes con más exactitud, ahorro de tiempo, evita destruir la muestra, disminuye el riesgo de accidentes con químicos y no es necesario personal capacitado para el análisis de rutina (Sandoval 2005).

Según Trugo y Macrae (1985), la técnica de cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) demuestra mejor resolución en los resultados de ácido clorogénico evaluados para determinar la calidad de una muestra de café, por lo que puede ser usada para determinar otros componentes necesarios para caracterizar muestras café y obtener resultados minuciosos.

En Costa Rica, un estudio reportó que no existe correlación entre las características sensoriales del café y los contenidos de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico a diferentes altitudes (Avelino *et al.* 2005).

Cuadro 1. Estándares de calidad y cafés con potencial comercial en Centroamérica.

Origen	Altitud (msnm)	Cafeína (%)	Trigonelina (%)	Grasa total (%)	Sacarosa (%)	Ácido clorogénico (%)
Estándar Centro América	>1000	0.9-1.32	0.96-1.34	9 - 16	6.2-7.85	5.8-7.2
Heredia, Costa Rica	1200	1.27	1.04	14.44	7.20	7.49
Cuilapa, Guatemala	1100-1400	1.40	0.95	15.47	6.95	7.71
Honduras	600-1200	1.30	0.95	14.10	7.70	7.40

Fuente: Avelino *et al.* (2005), adoptado por el autor.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Universidad Zamorano, localizada a 35 Km. de Tegucigalpa, a una altitud de 814 msnm, en el departamento de Francisco Morazán, con una precipitación promedio anual de 1,100 mm, y una temperatura promedio anual de 24 ºC.

3.2 MATERIALES

1. Estándar de cafeína (Sigma Aldrich C1778-VL).
2. Estándar de trigonelina hidroclorada (Sigma Aldrich T5509-1G).
3. Estándar de ácido clorogénico, mínimo 95% titulación (Sigma Aldrich C3878-250OMG).
4. Solución Carrez (Pearson 1,976)
   Solución I + Solución II
   - Solución 1: 21.9 mg de acetato de zinc cristalizado marca Mallinckrodt, 3ml de ácido acético glacial (Acetic Acid Glacial Certified ACS Plus > 96%, marca fischer) y 100ml de agua destilada.
   - Solución II: 10.6g. hexacyanoferrato de potasio, 100ml de agua destilada.
5. Metanol (MeOH), 99.93% de pureza. Grado HPLC (Sigma Aldrich).
6. Fosfato de sodio monobásico, 99.0% de pureza. (Sigma Aldrich).
7. Solución buffer pH 4.01 (Fisher Scientific).
8. Solución buffer pH 7 (Fisher Scientific).
9. Solución buffer pH 10.01 (Fisher Scientific).
10. Alfa amilasa termoestable (Sigma Aldrich A3306-10ML).
11. Proteasa (Sigma Aldrich P3910-500MG)
12. Amiloglucosidasa (Sigma Aldrich A9913-10ML).
13. Celite™ (Sigma Aldrich C8656-50G).
14. Etanol. 99.99% de pureza (MERCK).
15. Acetona certificada, 99% de pureza (Fisher Scientific).
16. Ácido clorhídrico, 37.8% de pureza (Fisher Scientific).
17. Ácido sulfúrico, 93% de pureza (J.T. Baker).
18. Carbonato de sodio, 99% de pureza (Sigma Aldrich)
19. Hidróxido de sodio, reactivo ACS (J.T. Baker).
20. Verde de bromocresol (J.T. Baker C946-25g).
21. Sulfato de cobre, 100% de pureza (J.T. Baker 1843-05-2.5Kg).
22. Sulfato de potasio, 99% de pureza (Sigma Aldrich).

23. Rojo de metilo (J.T. Baker 2696-00-30g).
24. Éter etílico, 99% de pureza (Sigma Aldrich).
25. Filtros Millex®-HV13, Durapore® PVDF, 13 mm (0.45 μm) (Sigma Aldrich).
26. Viales de 4 ml. Supelco.
27. Puntas volumétricas de 20 y 1000 μL. (Fisherbrand).
28. Papel filtro Whatman No. 1.
29. Filtro de membrana de 0.2mm.
30. Jeringa 10 μl, graduación 0.1 μl
31. Cristalería de laboratorio y papel aluminio.

3.3 EQUIPO

1. Balanza analítica OHAUS Adventurer No. AR2140.
2. Estación química para HPLC Agilent 1100.
3. Detector de arreglo de diodos Agilent 1100.
4. Centrífuga IEC Model K Serie 71652557
5. Microdesgasificador al vacío Agilent 1100.
6. Bomba cuaternaria Agilent 1100.
7. Válvula de inyección Rheodyne 7725i.
8. Molino Thomas-Whiley Modelo 4
9. Tamiz de No. 60. W.S. Tyler, Incorporated
10. Tamiz de No. 40. W.S. Tyler, Incorporated
11. Columna ZORBAX ODS Agilent (4.6 x 250mm x 5).
12. Precolumna Zorbax SB-C18 (4.6 x 12.5 mm) 4 μm.
13. Columna DB–23 Agilent 1100 (60 m x 0.25 mm x 0.25 μm).
14. NIRS (Espectroscopía de infrarrojo cercano) (FOSS NIR Systems 5000, versatile Food and Beverage Analyzer, SY-3650-II.
15. Spectronic 20 Modelo 333172 Serie 3313076014 (Milton Roy Company).
16. Cromatografía de Gases (GC) Serie 6890 con Inyector Serie 7683B (Agilent).
17. Generador de hidrogeno. Modelo 75-32 B452 Serie 5182-3483 (Agilent).
18. Refractómetro óptico 0-32% Brix. Catalogo No. 13-946-21 (Fisher Scientific).
19. Refractómetro digital 0-93% Brix. PAL-3 (Atago).
20. Detector de ionización. Series 6890 (Agilent).
21. Sonicador FS14 (Fisher Scientific).
22. Agitador Vortex, Modelo 231(Fisher Scientific).
23. Horno de aire forzado a 105°C (Fisher Scientific).
24. Horno de convección a 60 ^{o}C. Medelo 630 Serie 7821733 (Napco).
25. Bomba de vacío. Modelo SA55NXGTE-4870 Serie K97 (Fisher Scientific)
26. Incinerador a 525 ^{o}C. Modelo FA1730 Serie 08508869 (SybronThermolyne).
27. Extractor de éter goldfish. Catalogo 35001-00 Serie 216222 (Labconco).
28. Digestor Kjeldahl. Catálogo 603000, serie 02198364 (Labconco).
29. Destilador Macro Kjeldahl (Labconco).
30. Desecador (PYREX).
31. Equipo de oficina

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Recibo de muestras

Se recibieron 15 muestras de café pergamino (sin endospermo) en el mes de febrero de 2009, cada una perteneció a 15 fincas diferentes. Las muestras se identificaron y registraron en el archivo de ingresos del LAAZ. El mismo día se procedió al almacenamiento de la mitad de las muestras, en calidad de respaldo en un ambiente controlado (freezer) a -20°C para evitar el deterioro de las mismas y la otra mitad se destinó a los análisis pertinentes.

3.4.2 Diseño experimental

Las muestras analizadas provenían de 15 fincas distribuidas en cuatro regiones del país: una muestra de Comayagua, seis de El Paraíso, tres de La Paz y cinco de Ocotepeque (Cuadro 2). Se realizaron dos repeticiones por análisis y se obtuvieron 30 unidades experimentales. Los análisis realizados en cada muestra fueron: composición proximal, perfil de azúcares y ácidos grasos, trigonelina, ácido clorogénico, cafeína, antocianinas y taninos totales.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), cada finca representó un tratamiento, diferenciado por región, altura y variedad. Se evaluó el efecto de la altitud sobre la calidad del café al relacionar estadísticamente el contenido de los análisis químicos de cada finca con la altitud correspondiente. Debido a la cercanía entre algunas fincas, se diferenciaron 11 altitudes para el análisis: 950 1,050 1,100 1,125 1,150 1,200 1,300 1,370 1,450 y 1,540 msnm.

Cuadro 2. Información general de las fincas de café.

Departamento	Municipio	Aldea/caserío	Variedad	Altitud (msnm)
Comayagua	La Libertad	Las Aradas	Mezcla	1,150
Ocotepeque	San Marcos	El Refugio	Mezcla	900
Ocotepeque	San Marcos	El Espinol	Paca	950
Ocotepeque	Las Lomas	Las Lomas	Paca	1,050
Ocotepeque	San Marcos	Platanares	Paca	1,100
Ocotepeque	San Marcos	EL Granzal	Mezcla	1,300
El Paraíso	Danlí	San Antonio Chaparral	Mezcla	1,125
El Paraíso	Danlí	Agua Fría	Mezcla	1,300
El Paraíso	El Paraíso	Las Manos	Paca	1,200
El Paraíso	El Paraíso	Las Selvas	Paca	1,100
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	Típica	1,370
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	Típica	1,370
La Paz	Marcala	Marcala	Mezcla	1,300
La Paz	Yarula	Huertas	Mezcla	1,450
La Paz	Santiago de Puringla	Santiago de Puringla	Mezcla	1,540

msnm: metros sobre el nivel del mar.

3.4.3 Procedimiento de análisis de laboratorio

El análisis de humedad aparente o humedad de campo se realizó en un horno a 60°C, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad agua presente, de esta forma evitó la interferencia del mismo en el resto de análisis. Posterior al pre secado se removió la testa que recubría al grano de café, se realizó la molienda del grano y por último se pasó por un tamiz de 600 µm. Una vez preparadas y homogenizadas todas las muestras, se prosiguió con el resto de análisis de acuerdo a los métodos de referencia citado en el Cuadro 3.

Los resultados fueron reportados en base seca, sin embargo algunos componentes fueron analizados en base húmeda y posteriormente transformados a base seca porque se consideran susceptibles al deterioro por acción de altas temperaturas al momento de secarlos en el horno. Los análisis que tomaron este rumbo fueron los de cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, taninos totales y antocianinas totales. Todos los resultados fueron reportados basados en 100 gramos de café y transformados a base seca.

Cuadro 3. Compuestos químicos analizados y métodos de referencia para el análisis de las muestras de café.

Compuesto	Unidades	Límite de detección	Método de referencia
Humeadad	g/100g	0.01	AOAC 964.22
Cenizas	g/100g*	0.01	AOAC 925.51
Calorías totales	calorías/ 100 g*	0.1	21CRF101.9
Calorías de grasa	calorías/ 100 g*	0.1	21CRF101.10
Grasa total	g/100g*	0.01	AOAC 920.85
Grasa saturada	g/100g*	0.01	AOAC 996.06
Grasa insaturada	g/100g*	0.01	AOAC 996.06
Geasas trans	g/100g*	0.01	AOAC 996.06
Sodio	mg/ 100 g*	0.1	AOAC 968.08
Carbohidratos totales	g/100g*	0.01	21CRF101.9
Fibra dietética	g/100g*	0.01	AOAC 985.29
Azúcares totales	g/100g*	0.01	AOAC 925.52
Sacarosa	g/100g*	0.01	AOAC 925.52
Brix	g/100g*	0.01	Refractometría
Proteina	g/100g*	0.01	AOAC 960.52
Calcio	g/100g*	0.001	AOAC 968.08
Hiero	mg/ 100 g*	0.01	AOAC 968.08
Cafeína	mg/ 100 g*	0.01	Cassal *et al.* (1998)
Trigonelina	mg/ 100 g*	0.01	Cassal *et al*. (1998)
Ácido clorogénico	mg/ 100 g*	0.01	Ky *et al.* (1997)
Taninos	mg/ 100 g*	0.01	Price *et al.* (1978)
Antocianinas	mg/ 100 g*	0.01	Long-Ze Lin *et al.* (2007)

Fuente: FDA, adaptado por el autor.
*Valores reportados en base seca.

3.4.4 Análisis de las muestras por NIRS

Se tomó una muestra de cada finca, la cual se secó a través de un horno 60°C por 48 horas para eliminar humedad existente en los granos.

Posterior al secado, las muestras fueron molidas y homogenizadas por un tamiz de 10, 40 y 60 µm. Las muestras previamente identificadas fueron introducidas al NIRS (Espectrofotometría de infra rojo cercano), de esta forma se logró obtener el espectro de absorción de cada muestra a una longitud entre 1,100 y 2,500 nm. Con las longitudes de onda reflejadas por cada finca se obtuvo una curva de espectros para iniciar una curva de calibración de calidad de café (Anexo 1).

3.4.5 Análisis sensorial

Se realizó un análisis de evaluación sensorial para todas las fincas de cada departamento la cual fue ejecutada por catadores expertos del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE 2009).

Después de seleccionar las muestras de cada departamento destinadas para el análisis sensorial, se procedió a la molienda de los granos y posteriormente se procedió a preparar la infusión, agregando 10 g de muestra proveniente de la molienda y 150 ml de agua hirviendo, para iniciar el proceso de catación. Se dejaron reposar las muestras por un tiempo aproximado de 10 minutos para que todas las sustancias contenidas en el café se diluyeran en el agua hirviendo. Luego se revolvió (romper la taza) la infusión con el objetivo de liberar los aromas y atributos del café, es ahí donde se realizó el análisis olfativo; posteriormente se tomó un sorbo de la infusión para realizar el análisis gustativo.

Los catadores evaluaron 5 atributos para distinguir la calidad de las muestras: aroma, cuerpo, acidez, sabor y apariencia general en una escala de 1 a 10, siendo 1 para una cualidad pobre y 10 para una cualidad excepcional. La aceptación general se evaluó sumando el puntaje de las 5 características mencionadas, donde se obtiene un máximo de 50 puntos y sumados a un 50% que se le asigna a cada muestra por el hecho de ser café suma 100%.

3.4.6 Análisis estadísticos

Se utilizó el programa Sistemas de Análisis Estadístico (SAS ®, por sus siglas en inglés). Se evaluaron los resultados con un nivel de significancia de 95% ($P<0.05$). Se realizó un análisis de varianza aplicando un DCA (diseño completamente al azar) que determinó el efecto de la altitud sobre los componentes analizados. La relación que presentó cada componente frente a la altitud se observó, con un análisis de correlación y posteriormente un análisis de regresión que demostró el comportamiento de los compuestos que presentaron correlación estadísticamente significativa. La caracterización de las fincas, se realizó mediante análisis ortogonales para evaluar el efecto de los departamentos y municipios sobre el contenido de los compuestos más importantes según la literatura. El

potencial de calidad y comercial de las muestras se evaluó mediante una separación de medias Tukey entre las mismas y los estándares de calidad establecidos. La disposición del análisis sensorial para predecir calidad de café se evaluó realizando un análisis de correlación entre el puntaje de la aceptación general y el contenido de los compuestos evaluados, seleccionando los compuestos con correlación significativa. Posteriormente, se obtuvo el modelo de regresión con el R^2 ajustado más alto y con el menor número de variables en el modelo, donde se incluyeron tanto los compuestos con correlación significativa y los importantes citados en la literatura.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LOS COMPONENTES QUÍMICOS USADOS COMO VARIABLES DE ANÁLISIS

La altitud influyó significativamente sobre la mayoría de los componentes químicos evaluados, excepto calorías totales, sodio, carbohidratos totales, fibra dietética y azúcares totales. No se detectaron grasas trans en el estudio. Se eliminó el efecto de la humedad debido a que no depende de la altitud sino del manejo de post cosecha (Anexo 2).

3.4 CORRELACIÓN ENTRE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS ANALIZADOS Y ALTITUDES DE FINCAS CAFETALERAS.

Los resultados reflejaron que 6 compuestos guardaron una correlación estadística significativa respecto a altitud. En orden decreciente, grasa insaturada, antocianinas, grasa total, calorías de grasa y cafeína demostraron una relación positiva baja y el contenido de calcio demostró una relación negativa baja respecto a altitud (Anexo 3).

Estudios realizados por Farah *et al.* (2005) y Avelino *et al.* (2005), determinaron que el contenido de cafeína y grasa mantienen una relación positiva al ser comparados con la altitud de producción. El presente estudio demostró que efectivamente el contenido de grasas y cafeína poseen una relación positiva respecto a altitud.

4.3 COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS AFECTADOS POR LA ALTITUD

El análisis de regresión demostró el comportamiento de los compuestos con correlación significativa encontrados anteriormente (Anexo 4). La grasa insaturada obtuvo el coeficiente de correlación más alto entre los componentes analizados (Pearson=0.52).

Según Avelino *et al.* (2005), el contenido de grasa total (grasa saturada e insaturada) en el grano de café es uno de los principales precursores del sabor. El presente estudio demostró que el contenido de grasa insaturada aumentó a medida que incrementó la altitud y podría ser utilizada como indicador de calidad de café (Figura 1).

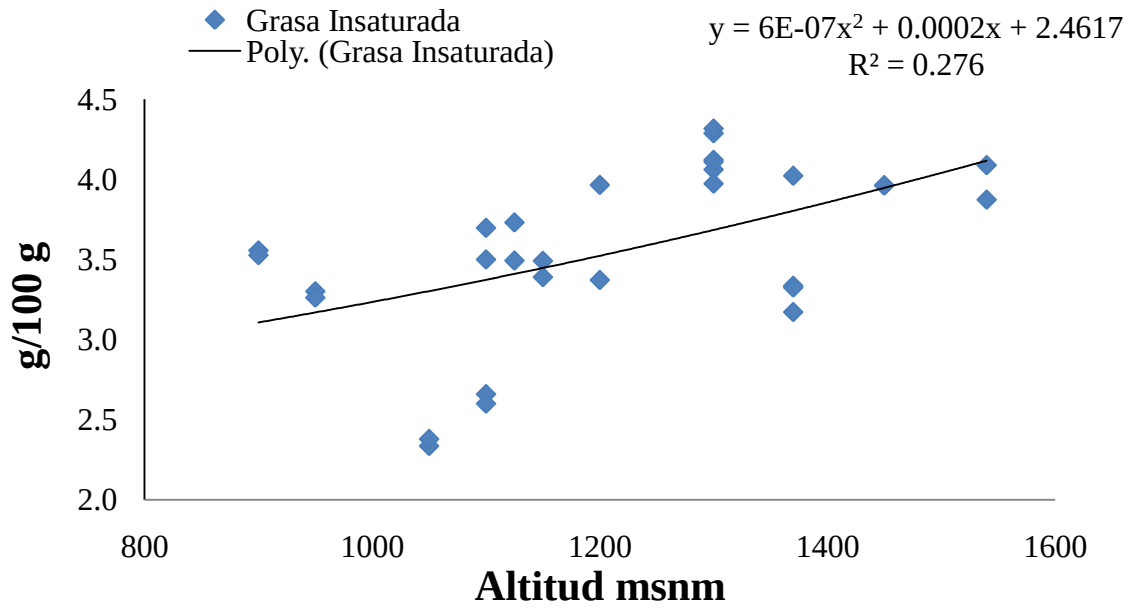


Figura 1. Efecto de la altitud sobre el contenido de grasa insaturada del grano de café.

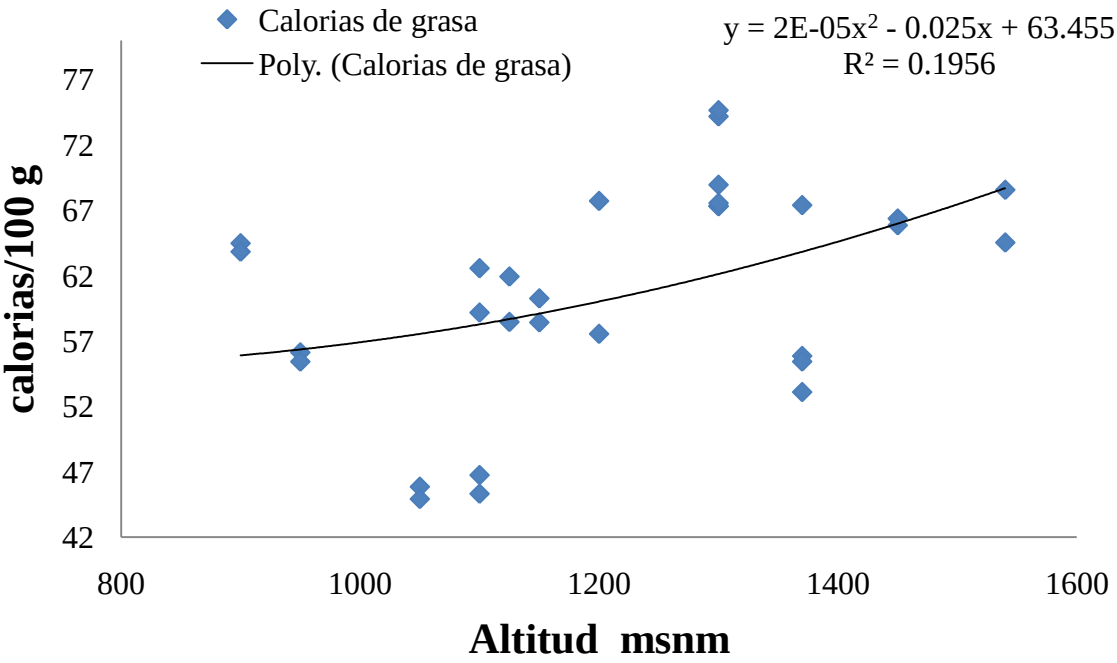


Figura 2. Efecto de la altitud sobre el contenido de calorías de grasa del grano de café.

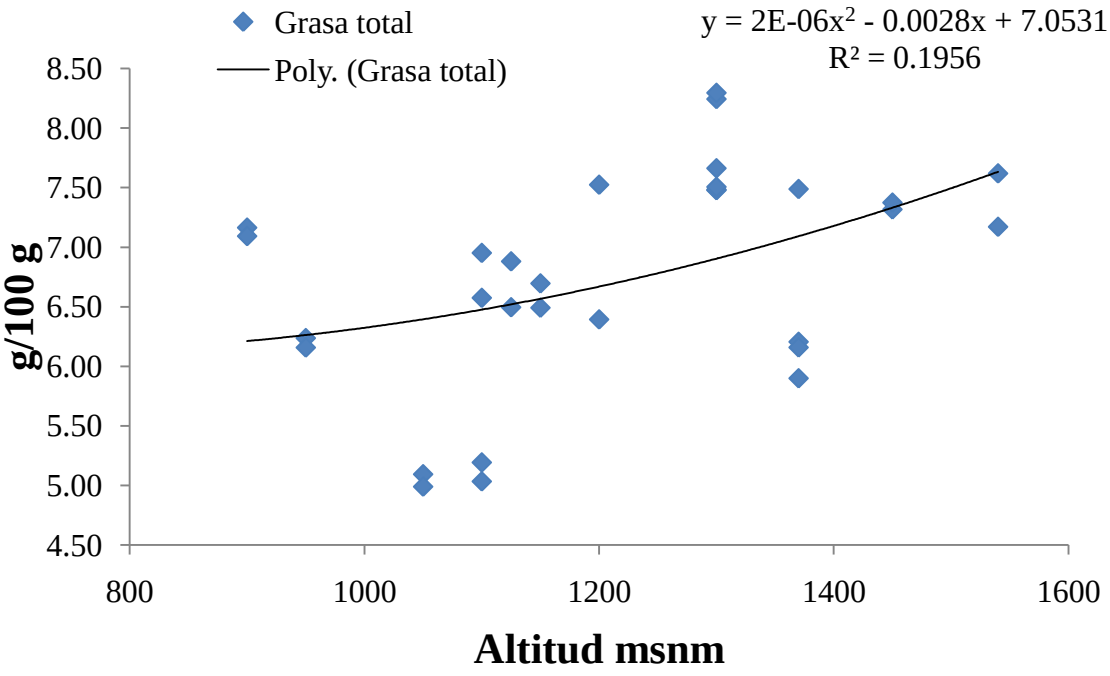


Figura 3. Efecto de la altitud sobre el contenido de grasa total del grano de café.

Las Figuras 1, 2, y 3, demostraron que la grasa insaturada, calorías de grasa y grasa total, aumentaron a medida que incrementó la altitud.

Esto se comprobó por los coeficientes de correlación similares (Anexo 3) aunque las grasas insaturadas demostraron un R^2 mayor (0.276).

La Figura 4 indicó que el contenido de calcio disminuyó a medida que aumentó la altitud, esto fue debido a que el coeficiente de correlación para calcio fue negativo (Pearson= -0.45).

Según el presente estudio el contenido de calcio demostró ser afectado negativamente por la altitud, aunque hasta la fecha no existen muchos estudios que respalden dichos resultados como lo hay respecto a otros compuestos químicos del café.

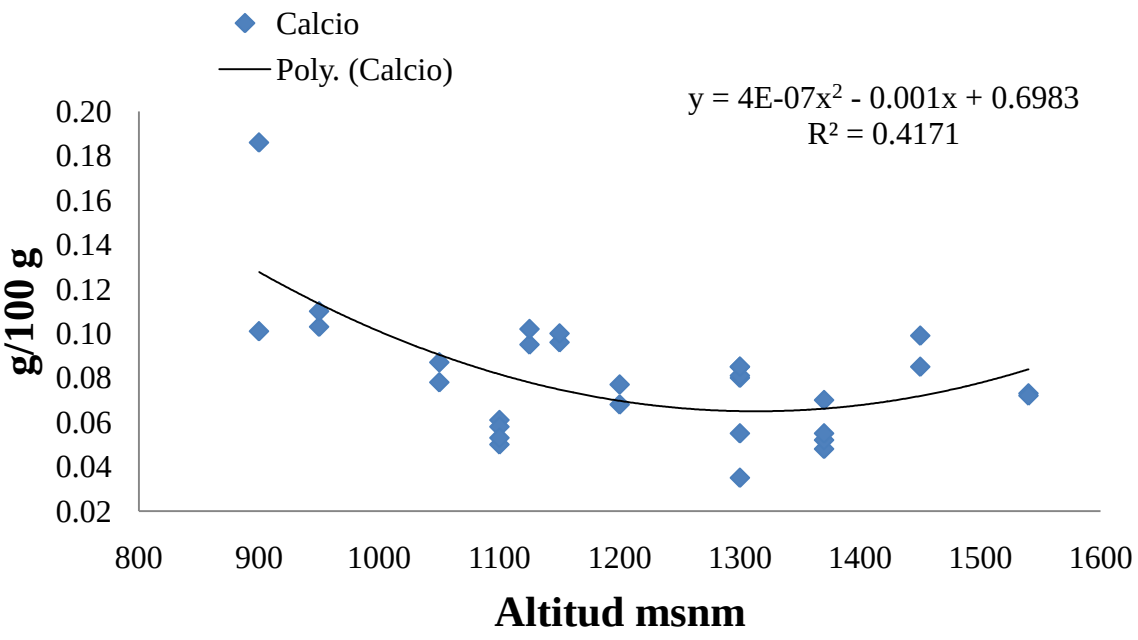


Figura 4. Efecto de la altitud sobre el contenido de calcio del grano de café.

Según Flores *et al.* (1995), el contenido de calcio tiende disminuir a medida que aumenta la altitud, en este punto se vuelve determinante su control, puesto que el calcio es esencial para el crecimiento de foliolos y previene el crecimiento de hojas raquíticas.

La Figura 5 demostró el comportamiento de la correlación positiva baja de las antocianinas frente a la altitud. Las fincas con contenido de antocianinas cercanos a cero presentaron un contenido bajo el límite de detección (0.001 mg/100g).

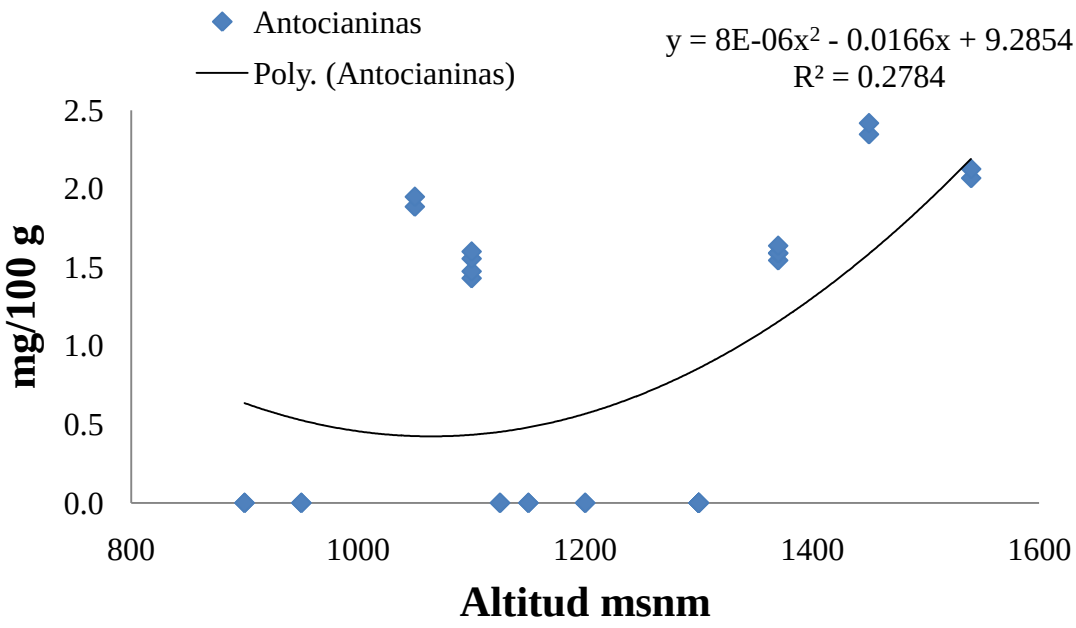


Figura 5. Efecto de la altitud sobre el contenido de antocianinas del grano de café

La Figura 6 demostró el comportamiento de la correlación positiva baja que se observó al comparar cafeína y altitud. Significa que el contenido de cafeína en el café aumentó a medida que aumentó la altitud de producción.

La cafeína es uno de los componentes relevantes en la determinación de calidad de café, estimulan el aroma y sabor (Avelino *et al.* 2005).

En el presente estudio se encontró una relación similiar aunque baja comparada a otros estudios antories.

Según Farah *et al.* (2005), los niveles más altos de cafeína se encuentran en muestras de café de alta calidad y se relaciona positivamente con la altitud, temperatura y otros aspectos climáticos importantes.

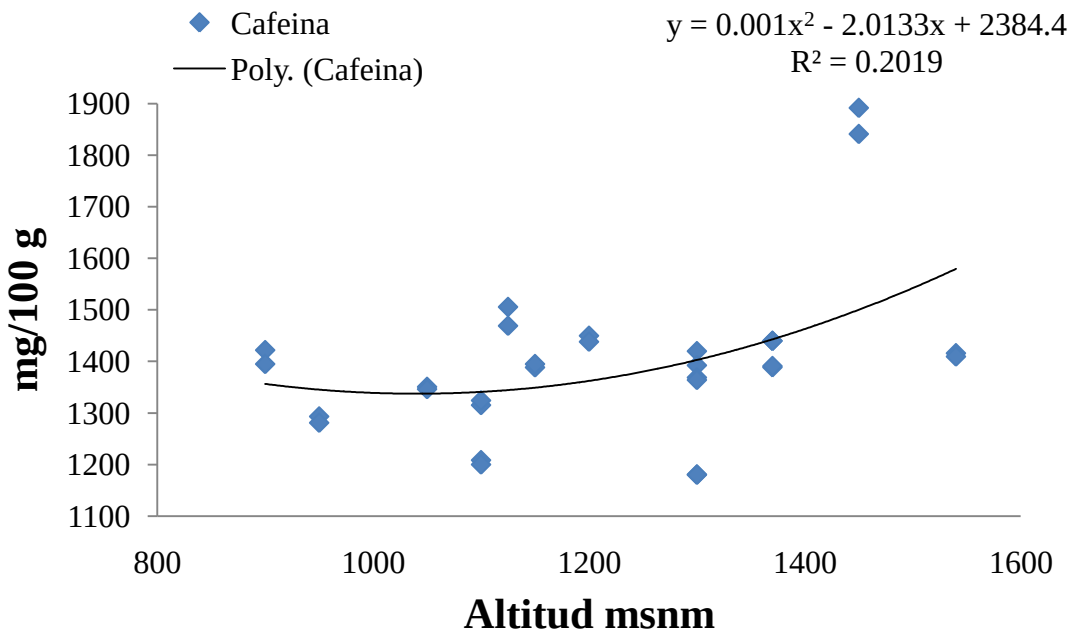


Figura 6. Efecto de la altitud sobre el contenido de cafeína del grano de café.
Fuente: El autor.

4.4 CARACTERIZACION DE LAS FINCAS ANALIZADAS

4.4.1 Efecto de la región sobre los componentes químicos

Según Decazy *et al.* (2003), en estudios realizados en Honduras y Costa Rica, el municipio de Marcala en el departamento de la Paz, posee mejores características de calidad en comparación a las demás regiones del país. Para el estudio se comparó el departamento de La Paz vs todo los demás departamentos.

Por medio de análisis ortogonales, se determinó el efecto de la región a la que pertenecen las fincas evaluadas sobre el contenido de los 5 componentes más importantes en la determinación de sabor y calidad de café, los cuales son: grasa, sacarosa, cafeína, trigonelina y ácido clorogénico (Avelino *et al.* 2005).

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de cafeína y grasas totales para El Paraíso, en Comayagua se observó diferencias en el contendido de grasas totales aunque El Paraíso obtuvo un el promedio más alto (Anexo 5).

Los tres componentes restantes resultaron ser estadísticamente iguales a La Paz.

Posteriormente, al observar un efecto significativo de los departamentos sobre los compuestos, se realizó un análisis ortogonal entre los municipios, tomando a Marcala como referencia para ser comparada con los mismos. Este análisis reflejó que existen diferencias en el contenido de cafeína y trigonelina entre todos los municipios

comparados con Marcala, el contenido más alto para ambos componentes se observó en Yarula en el departamento de La Paz (Anexo 6).

Todos los municipios analizados demostraron ser iguales a Marcala en cuanto al contenido de grasa total, sacarosa y ácido clorogénico.

No se encontró algún municipio con un perfil químico parecido a Marcala en los 5 componentes, pero se observó que existe efecto de las regiones sobre los componentes.

4.7.2 Evaluación de la calidad de las fincas por medio de estándares conocidos

Se realizó una comparación entre el contenido de los compuestos de cada municipio con estándares de calidad establecidos en Centro América y a la vez se comparó con la composición química de cafés comerciales de Guatemala, Costa Rica y Honduras en general.

En cada municipio, se determinó el promedio y desviación estándar para los 5 componentes determinantes en calidad de café (Anexo 7).

Por medio de una comparación visual se detectaron los promedios de los componentes de cada municipio dentro del estándar de calidad (Anexo 8). Se determinó que para cafeína, únicamente el municipio de San Marcos está dentro del rango; la mayoría de los municipios obtuvo un contenido de trigonelina en el rango de aceptación, excepto Yarula y Danlí que se encontraron arriba del rango. Todos los municipios reflejaron un contenido bajo de grasa total y ácido clorogénico, sacarosa se situó por encima del rango

Para evaluar estas diferencias estadísticamente, se realizó una separación de medias Tukey entre el contenido de cada compuesto de los municipios y los estándares establecidos (Anexo 9).

La separación de medias demostró que el contenido de cafeína se encuentra arriba del rango únicamente el municipio de Yarula. Todas las fincas son iguales al estándar de trigonelina; El contenido de grasa total en Las Lomas demostró estar debajo del rango establecido. La finca Santiago de Puringla demostró un contenido de sacarosa arriba del rango. Ninguna finca demostró similitud en cuanto al estándar de ácido clorogénico, todas se situaron debajo del rango.

Se demostró que las fincas de Yarula, Las Lomas y Santiago de Puringla no están dentro del rango estándar de calidad para cafeína, grasa total y sacarosa, respectivamente.

Para evaluar la calidad comercial de las fincas que no demostraron estar en el rango estándar, se comparó el promedio de dichos compuestos con otros cafés de calidad comercial en Honduras y Costa rica a través de una separación de medias Tukey (Anexo 9).

Se determinó que Yarula y Santiago de Puringla que habían demostrado tener uno de los 5 componentes fuera del rango, si demostraron tener potencial comercial, ya que se encontró similitud al comparar el contenido de dichos componentes con el café de Cuilapa en Guatemala para Yarula y en Honduras para Santiago de Puringla. Las Lomas no presentó similitud a ninguno de los cafés comerciales en el contenido de grasas totales debido a que 5.05 % está demasiado bajo en comparación a los estándares evaluados en este estudio. Estadísticamente no se encontró ninguna finca con características de acido clorogénico similares al estándares ni en los cafés con potencial comercial, todos los municipios están debajo del rango establecido.

Las comparaciones anteriores permiten observar que todos los municipios excepto Las Lomas, cumplen con al menos 4 estándares de calidad y/o estándares comerciales Centroamericanos por lo que se clasifican como cafés de calidad.

4.4.2 Evaluación de los resultados del análisis sensorial en la denominación de calidad de café.

Se realizó un análisis de correlación para determinar la relación entre el contenido de los componentes químicos y el resultado de aceptación general del análisis sensorial.

En el Anexo 10 se observa la correlación significativa de los componentes evaluados y a la vez la correlación de los 5 componentes importantes citados por Avelino *et al.* (2005). Se determinó que el contenido de sodio, calcio y antocianinas aumentan a medida que incrementa la calidad del café (aceptación general), mientras que trigonelina disminuye.

El Anexo 11 muestra el análisis de regresión para todos los componentes correlacionados anteriormente, se observó que grasa total, sodio y trigonelina pueden ser utilizados para predecir calidad de acuerdo a la Pr > |t| observada en el análisis de regresión (Pr <0.05).

Tomando en consideración los componentes con correlaciones significativas e importantes según la literatura se obtuvo un modelo con un R^2 ajustado de 0.581. El mejor modelo se encontró a un R^2 ajustado de 0.623, utilizando únicamente 4 variables de las anteriores (Cuadro 4). Para aumentar el R^2 ajustado obtenido, se podría incrementar el número de repeticiones utilizadas en el diseño experimental y a la vez eliminar datos fuera de tipo.

Cuadro 4. Modelos de regresión para predecir calidad a través de componentes significativos e importantes según la literatura.

R^2 Ajustado	R^2	Variables en el modelo
0.581	0.696	Sodio, Grasa total, Sacarosa, Calcio, Cafeína, Trigonelina, Acido Clorogénico, Antocianinas
0.622	0.674	Sodio, Grasa total, Sacarosa, Trigonelina

Se observó que 3 de los 5 componentes importantes para predecir calidad citados por Avelino *et al.* (2005) fueron importantes para predecir calidad: grasa total, sacarosa y trigonelina. El sodio demostró ser importante en el presente estudio aunque no existe literatura que documente que haya demostrado ser una variable importante en la denominación de cafés de calidad.

La ecuación obtenida del modelo con el coeficiente de determinación ajustado (R^2) más alto de 0.623 fue:

$Y= 0.14499\beta_1+2.45308\ \beta_{2+}0.34658\ \beta_3-0.00702\ \beta_4$

Y= Calificación para Aceptación general en la evaluación sensorial
β_1= Contenido de sodio en g/100g de materia seca.
β_2= Contenido de grasa total en g/100g de materia seca.
β_3= Contenido de sacarosa en g/100g de materia seca.
β_4= Contenido de trigonelina en g/100g de materia seca.

4.4.3 Determinación de la calidad de las fincas de acuerdo a la evaluación sensorial de aceptación general.

Según el análisis sensorial de aceptación general, todas las fincas reportaron una calificación general entre 80 y 89.5 y de acuerdo a los rangos de aceptación establecidos por IHCAFE (2009) en la denominación de cafés de calidad (Anexo 12) todas las fincas poseen un café clasificado como: café bueno a excelente (Cuadro 5).

Mientras aumenta la calificación de aceptación general en el análisis de sensorial, aumenta la calidad del café en la finca.

Cuadro 5. Resultados de aceptación general del análisis de evaluación sensorial para las fincas en análisis.

Departamento	Municipio	Aldea	Aceptación general
Comayagua	La Libertad	Las Aradas	80
La Paz	Yarula	Huertas	82
La Paz	Marcala	Marcala	86
La Paz	Santiago de Puringla	Santiago de Puringla	89.5
Ocotepeque	Aldea Las Lomas	Las Lomas	82
Ocotepeque	San Marcos	El Espinol	82
Ocotepeque	San Marcos	Platanares	88.5
Ocotepeque	San Marcos	EL Granzal	86.5
Ocotepeque	San Marcos	El Refugio	83
El Paraíso	Danlí	San Antonio Chaparral	80
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	88
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	85
El Paraíso	El Paraíso	Las Manos	82
El Paraíso	El Paraíso	Las Selvas	84
El Paraíso	Agua Fría	Agua Fría	82

5. CONCLUSIONES

- La altitud tuvo un efecto significativo sobre el contenido de grasa insaturada, calorías de grasa, grasa total, antocianinas y cafeína, el efecto observado demostró que mientras incrementaba la región altitudinal aumentaba también el contenido de todos estos compuestos a diferencia del calcio que disminuyó.

- El sodio, grasa total, sacarosa y trigonelina pueden ser usados para determinar calidad de café mediante un modelo de regresión.

- El análisis sensorial de aceptación general demostró que todos los cafés de las fincas en análisis son catalogados como: Cafés de buena a excelente calidad

- La finca con el café de mejores características sensoriales y químicas se encontró en el municipio de Santiago de Puringla en el departamento de La Paz a 1540 msnm, que a la vez fue la finca con mayor altitud en el presente estudio.

6. RECOMENDACIONES

- Organizar previamente un diseño experimental que permita aprovechar los datos y recursos disponibles en el estudio, considerando aumentar el número de repeticiones por finca y evaluar el efecto de variables como: variedad cultivada, clima y manejo pos-cosecha que influyen en la denominación de cafés de calidad.

- Aumentar el número de fincas a muestrear y el número de repeticiones entre las mismas para disminuir el error encontrado al realizar los análisis de correlación y regresión y de esta forma concluir en resultados significativos.

- Evaluar el efecto de la variedad y el tratamiento pos cosecha para determinar la influencia sobre la calidad del café.

7. BIBLIOGRAFÍA

Avelino, J; Barboza, B; Araya, J; Fonseca, C; Davrieux, F; Guyot, B; Cilas, C. 2005. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. Journal of the Science of Food and Agriculture no. 85: 1869-1876.

Banco Central de Honduras. 2009. Honduras (en línea). Consultado el 5 agosto de 2009. Disponible en: http://www.bch.hn/

Buenaventura, C; Castaño, J. 2002. Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestra de café procedente del ecotopo 206B en Colombia. 2002. Cenicafé. 53 (2) 119-131.

Clifford, M. 1975. The composition of green and roasted coffee beans. Proc. Biochem 10, (3) 22-23, (5) 13-16.

Decazy, F; Avelino, J; Guyot, B; Perriot, J; Pineda, C; Cilas, C. 2003. Quality of different Honduran Coffees in relation to several environments. Journal of Foof Science. (68) 2361.

Farah, A; Monteiro, M; Calado, V; Franca, A; Trugo, L. 2005. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. Food Chemistry, 98, 373-380.

Flores, F; Tosta, R; Furts, M; Pineda, R; Perdomo, C. 1995. Como reciclar pulpa de café. 2da. Edición. Fundación Banhcafé, Tegucigalpa, Honduras.

Franca, A; Mendonc, A; Oliveira, S. 2004. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, 38,709–715.

IHCAFE. 2009. Honduras (en línea). Consultado el 23 octubre de 2009. Disponible en: http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/administrador/aa_archivos/documentos/generalidades_cafe.pdf

IICA. 1992. Factores que influencian la calidad del café. Instituto Interamericano para la Agricultura. México. 42 p.

Ky, C; Louarn, J; Dussert, S; Guyot, B; Hamon, S; Noirot, M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diverisity in wild Coffea arabica L. C. canephora P. accessions. Food Chemistry (75) 223–230.

Machado, O. 1997. Elementos de evaluación y factores de calidad. Valor nutricional de los alimentos. Medellín, Colombia. 235 p.

Mataix, J. 2008. Nutrición y alimentación. Nutrientes y alimentos. Barcelona, España. 1981 p.

MCA. 2009. Honduras. Cuenta del Desafío del Milenio (en línea). Consultado el 8 de noviembre de 2009. Disponible en: http://www.mcahonduras.hn/ng

Sandoval, L. 2005. Desarrollo y validación de curvas NIRS para determinar la composición de pastos tropicales. Honduras. 43 p.

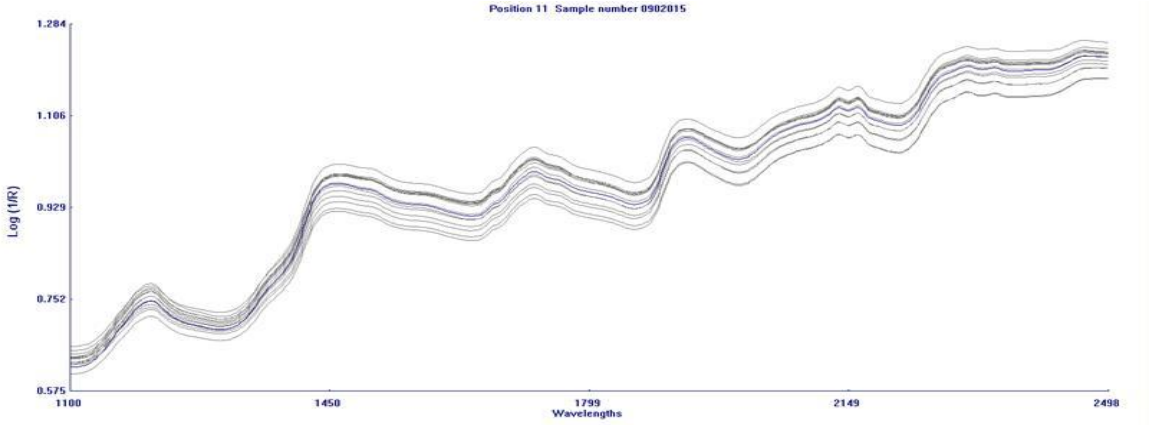
Trugo, L; Macrae, R. 1985. A Study of the effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. London Road, Great Britain. 109-2263.

Vaast, P; Bertrand, B; Perriot J; Guyot, B; Gérnard, M. 2004. Mapping coffee quality in Nicaragua. Proceedings of ASIC conference. Bangalore, India.

Vaclavik, V. 2002. Fundamentos de la ciencia de los alimentos. Editorial kluwer academic/Plenum Publishers. Dallas, Texas, EEUU. 475 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Espectro de las 15 muestras analizadas por NIRS.



Anexo 2. Análisis de varianza para determinar el efecto de la altitud sobre los componentes químicos evaluados.

Componente	DF	F- valor	Pr > F
Cenizas	10	4.90	0.0015
Calorías totales	10	1.15	0.3816
Calorías de grasa	10	5.70	0.0006
Grasa total	10	5.69	0.0006
Grasa saturada	10	4.20	0.0035
Grasa insaturada	10	7.35	0.0001
Sodio	10	1.27	0.3128
Carbohidratos totales	10	0.30	0.9715
Fibra dietética	10	2.18	0.0692
Azúcares totales	10	2.75	0.0777
Sacarosa	10	3.48	0.0094
Brix	10	2.75	0.0277
Proteína	10	2.34	0.0535
Calcio	10	4.86	0.0015
Hiero	10	3.31	0.0120
Cafeína	10	14.90	<0.0001
Trigonelina	10	5.11	0.0011
Acido clorogénico	10	5.07	0.0012
Taninos	10	17.39	<.0001
Antocianinas	10	1754.60	<0.0001

Anexo 3. Coeficientes de correlación significativos de los compuestos afectados por la altitud.

Compuesto	Pr> |r|	Coeficientes de Correlación
Grasa insaturada	0.0030	0.52299
Calcio	0.0115	-0.45509
Antocianinas	0.0139	0.44437
Grasa total	0.0161	0.43588
Calorías de grasa	0.0162	0.43545
Cafeína	0.0313	0.39386

Anexo 4. Coeficientes de regresión de los compuestos con correlación significativa.

Componente	R^2	%CV	Valor T	Pr > |t|
Grasa Insaturada	0.2476	13.082	3.25	0.003
Calcio	0.1788	31.613	-2.7	0.0115
Antocianinas	0.1688	101.97	2.62	0.0139
Grasa total	0.1611	12.231	2.56	0.0161
Calorías de grasa	0.1607	12.244	2.56	0.0162
Cafeína	0.1249	10.255	2.27	0.0313

CV: Coeficiente de variación.

Anexo 5. Contrastes ortogonales entre los departamentos y los cinco compuestos químicos más importantes.

	Cafeína		Trigonelina		Grasas		Sacarosa		Ácido clorogénico	
Contraste	Valor F	Pr > F	F-Valor	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F	Valor F	Pr > F
La Paz vs Ocotepeque	0.44	0.5131	0.06	0.8152	0.4	0.5337	0.21	0.6476	1.75	0.1971
La Paz vs Comayagua	0.96	0.3365	0.2	0.6609	4.37	0.0466	0.05	0.8291	1.88	0.1818
La Paz vs El Paraíso	12.29	0.0017	1.51	0.2307	8.66	0.0068	0.58	0.4528	0.01	0.9149
La Paz vs todos	4.56	0.0423	0.25	0.6221	5.11	0.0324	0.01	0.9209	0.15	0.7038

Anexo 6. Contrastes ortogonales entre municipios comparados con Marcala y los cinco compuestos químicos más importantes

	Cafeína		Trigonelina		Grasas		Sacarosa		Ácido clorogénico	
Contraste	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F
San Marcos	50.27	0.0001	5.6	0.0282	0.04	0.8408	0.32	0.5754	2.82	0.1088
Las Lomas	36.24	0.0001	32.95	0.0001	1.86	0.1878	2.98	0.0998	2.25	0.149
La Libertad	30.29	0.0001	23.29	0.0001	0.96	0.3394	0.06	0.8112	3.69	0.069
Danlí	23.68	0.0001	27.38	0.0001	0.26	0.6163	0.06	0.8112	0.04	0.8457
El Paraíso	39.87	0.0001	24.89	0.0002	3.22	0.41	1.19	0.38	0.55	0.5731
Yarula	64.97	0.0001	32.17	0.0001	2.02	0.1705	0.31	0.5838	0.78	0.3891
Santiago Puringla	27.18	0.0001	30.19	0.0001	0	0.9486	8.65	0.0814	1.49	0.2368

Anexo 7. Promedio y desviación estándar de los cinco componentes más importantes en cada municipio.

Origen	Altitud (msnm)	Cafeína (% ms)	*D.E	Trigonelina (% ms)	D.E.	Grasa total (% ms)	D.E.	Sacarosa (% ms)	D.E	Acido clorogénico (% ms)	D.E.
Marcala	1,300	1.41	0.02	1.24	0.02	7.57	0.13	8.88	0.64	3.58	0.06
Yarula	1,450	1.87	0.04	2.03	0.57	7.35	0.04	8.50	0.21	3.14	0.79
Santiago Puringla	1,540	1.42	0.01	1.09	0.05	7.40	0.32	10.93	0.59	3.64	0.08
San Marcos	900-1,300	1.32	0.08	1.26	0.12	6.48	0.99	8.86	1.17	3.42	0.11
Las Lomas	1,050	1.35	0.00	1.25	0.09	5.05	0.08	9.80	0.51	3.43	0.02
La Libertad	1,150	1.39	0.00	1.20	0.00	6.60	0.15	8.70	0.40	3.92	0.21
Danlí	1,125-1,300	1.34	0.18	1.68	0.21	7.48	0.93	8.91	0.75	2.55	0.91
El Paraíso	1,100-1370	1.39	0.02	1.12	0.05	6.72	0.59	9.10	0.45	3.35	0.05

DE: Desviación estándar entre las medias de cada municipio.
msnm: metros sobre el nivel del mar
ms: materia seca

Anexo 8. Comparación visual entre el contenido de los compuestos químicos y el estándar rango de calidad centroamericano.

Origen	Altitud (msnm)	Cafeína %	Trigonelina %	Grasa Total %	Sacarosa %	Ácido clorogénico %
Marcala	1,300	Arriba	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo
Yarula	1,450	Arriba	Arriba	Bajo	Arriba	Bajo
Santiago Puringla	1,540	Arriba	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo
San Marcos	900-1,300	Dentro	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo
Las Lomas	1,050	Arriba	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo
La Libertad	1,150	Arriba	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo
Danlí	1,125-1,300	Arriba	Arriba	Bajo	Arriba	Bajo
El Paraíso	1,100-1370	Arriba	Dentro	Bajo	Arriba	Bajo

msnm: metros sobre el nivel del mar.

Anexo 9. Separación de medias Tukey entre el estándar de Centroamérica, muestras con potencial comercial y las muestras en análisis.

Origen	Altitud (msnm)	Cafeína (% ms)	Medias Tukey	Trigonelina (% ms)	Medias Tukey	Grasa total (% ms)	Medias Tukey	Sacarosa (% ms)	Medias Tukey	Acido clorogénico (% ms)	Medias Tukey
Estándar General											
Centro América	>1000	0.9-1.32	B	0.96-1.34	BA	9 a 16	BA	6.2-7.85	B	5.8-7.2	A
Calidad comercial											
Heredia, Costa Rica	1,200	1.27	B	1.04	BA	14.44	A	7.20	B	7.49	A
Cuilapa, Guatemala	1,100-1,400	1.40	BA	0.95	B	15.47	A	6.95	B	7.71	A
Honduras	600-1200	1.30	B	0.95	BA	14.10	A	7.70	BA	7.40	A
Municipios en análisis											
Marcala	1,300	1.41	BA	1.24	BA	7.57	BC	8.88	BA	3.58	B
Yarula	1,450	1.87	A	2.03	A	7.35	BC	8.50	BA	3.14	B
Santiago Puringla	1,540	1.42	BA	1.09	BA	7.40	BC	10.93	A	3.64	B
San Marcos	900-1,300	1.32	B	1.26	BA	6.48	BC	8.86	BA	3.42	B
Las Lomas	1,050	1.35	B	1.25	BA	5.05	C	9.80	BA	3.43	B
La Libertad	1,150	1.39	B	1.20	BA	6.60	BC	8.70	BA	3.92	B
Danlí	1,125-1,300	1.34	B	1.68	BA	7.48	BC	8.91	BA	2.55	B
El Paraíso	1,100-1370	1.39	B	1.12	BA	6.72	BC	9.10	BA	3.35	B

Medias Tukey: Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre municipios.

Anexo 10. Coeficientes de correlación significativos al relacionar los compuestos evaluados y el resultado de evaluación sensorial.

Compuesto	Prob > |r|	Coeficiente de Correlación Pearson
Grasa total	0.6033	-0.0988
Sodio	0.0102	0.462
Sacarosa	0.0853	0.3194
Calcio	0.0125	-0.4506
Cafeína	0.2791	-0.2042
Trigonelina	0.0219	-0.4169
Ácido clorogénico	0.0515	0.3589
Antocianinas	0.0253	0.4079

Anexo 11. Coeficientes de regresión significativos al relacionar los compuestos evaluados y el resultado de evaluación sensorial.

Compuesto	Estimador del parámetro	Valor t	Pr > |t|
Intercepto	74.1416	8.01	<0.0001
Grasa total	2.45308	3.5	0.0021
Sodio	0.14499	3.95	0.0007
Sacarosa	0.34658	0.69	0.4981
Calcio	10.0782	0.34	0.7409
Cafeína	-0.0026	-0.54	0.5963
Trigonelina	-0.007	-3.46	0.0023
Ácido clorogénico	-0.0005	-0.6	0.5546
Antocianinas	1.01206	1.06	0.2995

Anexo 12. Rangos de calificación de catación utilizados para determinar calidad de café.

Aceptación general	Denominación de calidad
95-100	Café realmente excepcional
90-94	Café prominente
80-89	Café bueno a excelente
70-79	Café medio a bueno
70	Café muy malo, pobre

Fuente: IHCAFE 2009.

Anexo 13. Clasificación de las fincas de acuerdo al estándar de aceptación general en el análisis de evaluación sensorial.

Departamento	Municipio	Aldea	Aceptación general	Clasificación
Comayagua	La Libertad	Las Aradas	80	Café bueno a excelente
La Paz	Yarula	Huertas	82	Café bueno a excelente
La Paz	Marcala	Marcala	86	Café bueno a excelente
La Paz	Santiago de Puringla	Santiago de Puringla	89.5	Café bueno a excelente
Ocotepeque	Aldea Las Lomas	Las Lomas	82	Café bueno a excelente
Ocotepeque	San Marcos	El Espinol	82	Café bueno a excelente
Ocotepeque	San Marcos	Platanares	88.5	Café bueno a excelente
Ocotepeque	San Marcos	EL Granzal	86.5	Café bueno a excelente
Ocotepeque	San Marcos	El Refugio	83	Café bueno a excelente
El Paraíso	Danlí	San Antonio Chaparral	80	Café bueno a excelente
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	88	Café bueno a excelente
El Paraíso	El Paraíso	El Pacon	85	Café bueno a excelente
El Paraíso	El Paraíso	Las Manos	82	Café bueno a excelente
El Paraíso	El Paraíso	Las Selvas	84	Café bueno a excelente
El Paraíso	Agua Fría	Agua Fría	82	Café bueno a excelente

Fuente: IHCAFE, adaptado por el autor.