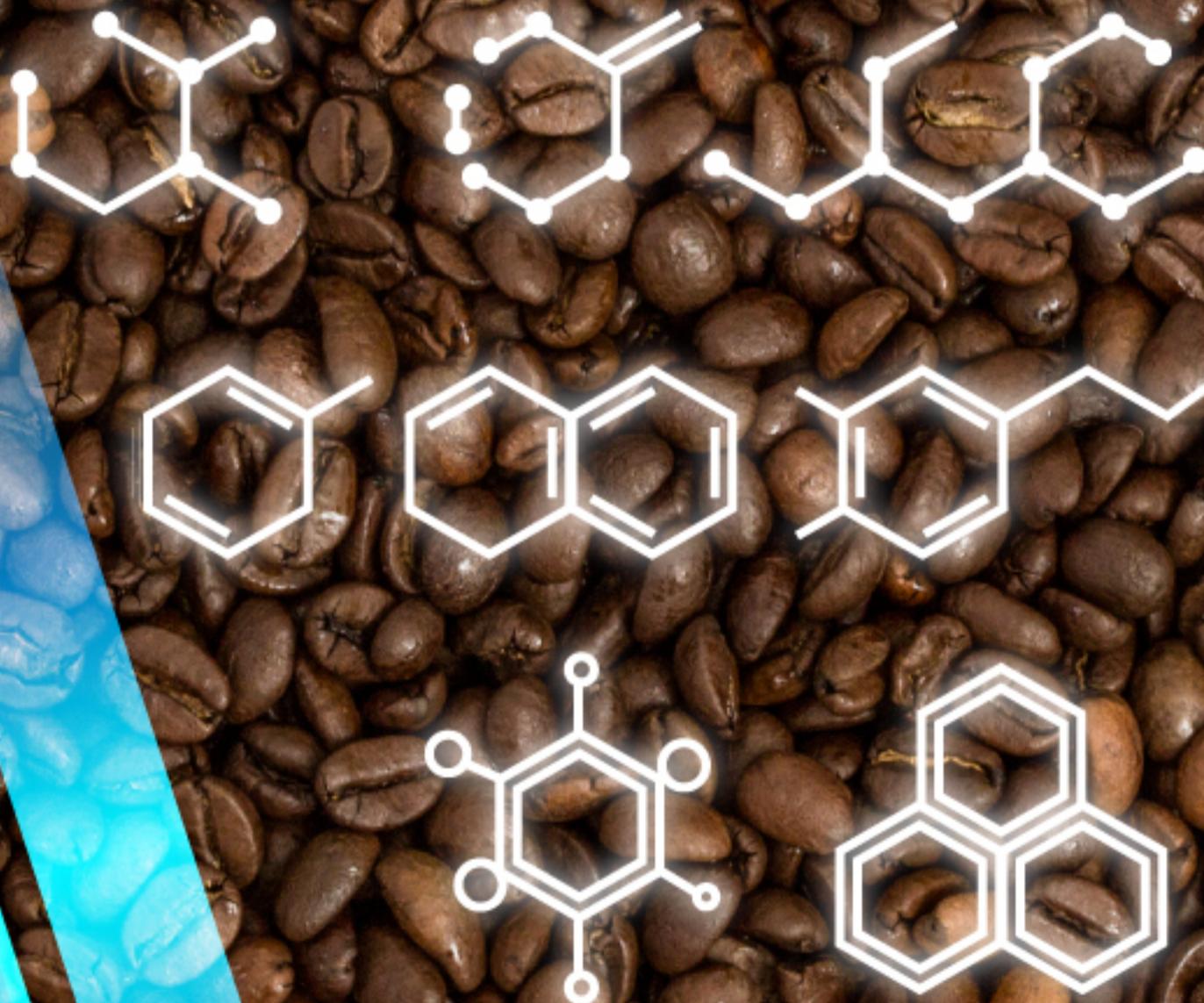


WILMER SALAZAR SANTANA - JUAN FERNÁNDEZ MOLINA

Compuestos volátiles y no volátiles del café arábico y su asociación con la calidad sensorial



UNELLEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
EZEQUIEL ZAMORA

La Universidad que Siembra



Serie: **Investigación**

Publicaciones del Área de Estudios de Postgrado

Wilmer Salazar Santana y Juan Fernández Molina

**COMPUESTOS VOLÁTILES Y NO VOLÁTILES
DEL CAFÉ ARÁBICO Y SU ASOCIACIÓN CON
LA CALIDAD SENSORIAL**



UNELLEZ

San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. Julio 2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES EZEQUIEL ZAMORA**
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
COORDINACIÓN ÁREA ESTUDIOS DE POSTGRADO

TÍTULO: COMPUESTOS VOLÁTILES Y NO VOLÁTILES DEL CAFÉ ARÁBICO Y SU ASOCIACIÓN CON LA CALIDAD SENSORIAL

EDICIÓN: Coordinación de Área de postgrado. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ.

AUTORES: Wilmer Salazar Santana y Juan Fernández Molina swilmer_johan@hotmail.com / jfermol@gmail.com

EDITORES: Dr. Juan Fernández Molina y Dr. Antonio Flores Diaz

SERIE: Investigación N° 11

CONCEPTO Y DISEÑO DE LA EDICIÓN: Juan Fernández Molina

DISEÑO DE CARÁTULA: Anyelit María. Salazar Lara

IMPRESIÓN: Editorial Nuevo Horizonte C.A. Calle 41 entre Avenida Venezuela y Calle 27. Barquisimeto, Venezuela. Telefax: 0251-446 23 24 / 446 23 17. Correo: edt-horizonte@hotmail.com.

DEPOSITO LEGAL: CO2017000011

ISBN: 978-980-248-198-9

TIRAJE: 300 ejemplares

DIRECCIÓN: Coordinación de Área de Postgrado. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ. Urbanización Cantaclaro. Final Avenida Principal. San Carlos, estado Cojedes, Venezuela.

REVISORES:

DR. ANTONIO FLORES DIAZ (UNELLEZ)

DR. JUAN FERNANDEZ MOLINA (UNELLEZ)

DR. GUSTAVO JAIMES G. (UNELLEZ)

ELVIS PORTILLO (LUZ)

ELBA SANGRONIS (USB)

MARIA SOLEDAD TAPIA (UCV)



SERIE INVESTIGACION: Bajo esta serie se presentarán resultados de investigaciones de alta pertinencia científica y/o libros texto de los docentes del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. Los libros deberán estar arbitrados y a su vez aprobados por la Comisión Técnica de Estudios de Postgrado, para su posterior publicación.

En esta Serie se han publicado los siguientes libros:

- Nº. 01: NOCIONES ELEMENTALES DE LA CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ESTADO COJEDES / Franklin Paredes Trejo. Año. 2009.
- Nº. 02: VIDA ÚTIL DE LOS ALIMENTOS – Juan Fernández Molina. Tonny García. Año. 2010
- Nº 03: EL MÉTODO DE LA NUEVA CIENCIA. SUS PRINCIPIOS Y ESTRATEGIAS OPERACIONALES –Gerardo Antonio Molina Mora. Año. 2012.
- Nº 04: 100 CACHOS ANTOLOGÍA DE LA NARRATIVA FANTASTICA ORAL DE COJEDES – Isaías Medina López. Año. 2013.
- Nº 05 : PRINCIPIOS DE ECOLOGÍA APLICADA – Carmen A. Morante Ascanio. Año. 2013
- Nº 06: COMPOSICION ESCRITA DE TEXTOS ACADEMICOS EN LA UNIVERSIDAD. TEORIA Y REFLEXION – Glenys Pérez de Sánchez. Año. 2014.
- Nº 07: APROXIMACIÓN HERMENÉUTICA A UNA SIMBÓLICA DE LO SINIESTRO EN LA LEYENDA FANTÁSTICA DE LA LLANURA VENEZOLANA – Duglas Moreno. Año. 2015.
- Nº 08: LA GESTIÓN DE LAS TIC'S EN LAS PYMES VENEZOLANAS, TEORÍA APROXIMATIVA A SU VINCULACIÓN - Antonio Flores Díaz. Año 2016.
- Nº09. TRANSFORMADORA- GUSTAVO ALONZO JAIME GÁMEZ. AÑO 2017.
- Nº.10. COMPUESTOS VOLÁTILES Y NO VOLÁTILES DEL CAFÉ ARÁBICO Y SU ASOCIACIÓN CON LA CALIDAD SENSORIAL- Wilmer Salazar Santana y Juan Fernández Molina. Año 2017.

EN HOMENAJE AL 42 ANIVERSARIO DE LA UNELLEZ

AUTORIDADES DE LA UNELLEZ

DR. ALBERTO JOSÉ QUINTERO
RECTOR

PROF. OSCAR ERNESTO HURTADO JARA
SECRETARIO

MG. JESÚS MANUEL MONSALVE
VICE-RECTOR DE SERVICIOS

PROFA. ARLENE JOSEFINA VERGARAS
VICE-RECTORA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
BARINAS, ESTADO BARINAS

MSC. ALBERTO HERRERA
VICE-RECTOR DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

DR. WILMER J. SALAZAR
VICE-RECTOR DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
SAN CARLOS, ESTADO COJEDES

PROFA. MARYS ORASMA
VICE-RECTORA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO REGIONAL
SAN FERNANDO DE APURE, ESTADO APURE

PROF. RAÚL GARCIA PALMA
SECRETARIO EJECUTIVO DE CREACIÓN INTELECTUAL

MSC. FRANCI ARTAHONA
SECRETARIA EJECUTIVO DE POSTGRADO

PROF. LINO RODRÍGUEZ
SECRETORIO EJECUTIVO DE EXTENSIÓN

AUTORIDADES DE LA UNELLEZ SAN CARLOS

Dr. WILMER SALAZAR. SANTANA
VICE-RECTOR DE ÁREA

PROF. FRANCISCO RIVAS
JEFE PROGRAMA INGENIERÍA, TECNOLOGIA Y ARQUITECTURA

MSc. JORDY GÁMEZ
JEFE PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR

PROF. ORLANDO SANCHEZ
JEFE PROGRAMA CIENCIAS SOCIALES

PROF. JOTSY PÉREZ
COORDINADOR DE EXTENSIÓN

MSC. RAFAEL CRISTANCHO
JEFE PROGRAMA CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

PROF. LOREDANA GIUST
SECRETARIA DEL CONSEJO ACADÉMICO

PROF. PATRICIA ROJAS
COORDINADOR DE CREACION INTELECTUÁL

DR. GUSTAVO JAIME
COORDINADOR DE POSTGRADO

Lic. JOSÉ GREGORIO SALCEDO
JEFE DEL SUBPROGRAMA CULTURA

MSc. ÍSAIAS MEDINA LÓPEZ
COORDINADOR DEL SERVICIO SOCIAL COMUNITARIO

DEDICATORIA

A nuestros esposas e hijos

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. Características Generales del Cultivo de Café	3
Producción nacional del café	4
Algunos factores que influyen en la calidad del café.	7
Factores biofísicos	7
Altitud y temperatura	7
Precipitación y humedad relativa	7
Suelo y fertilización	8
Manejo agronómico y cosecha	8
Sombra y productividad	8
Cosecha	9
Manejo post cosecha	10
Beneficiado húmedo	10
Despulpado.	10
Desmucilaginado.	10
Lavado.	11
Secado.	11
El beneficiado en seco	11
Procesamiento industrial	12
Tostado	12
Condiciones de almacenamiento	13
Preparación de la bebida	13
Algunos compuestos bioquímicos del café verde	14
Sustancias minerales	14
Componentes del nitrógeno	15
Alcaloides	15

Proteínas y aminoácidos	20
Enzimas	22
Lípidos	22
Compuestos fenólicos	22
Ácidos alifáticos	25
Carbohidratos	26
Calidad sensorial del café	27
Catación	27
Características organolépticas más relevantes	28
Aroma	28
Cuerpo	28
Acidez	29
Sabor	29
Amargo	29
Astringente	29
Preferencia (impresión global)	30
Compuestos volátiles en el café	30
Algunos compuestos volátiles y su potencia aromáticos	35
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS PARA DETERMINAR	44
COMPUESTOS VOLÁTILES Y NO VOLÁTILES EN CAFÉ	
Materia prima	44
Preparación de la muestra	44
Plan de muestreo y análisis estadístico.	44
Métodos	46
Compuesto no volátiles	46
Determinación del contenido de humedad	46
Determinación del contenido de cafeína	46
Determinación del contenido de materia grasa	47
Determinación del contenido de polisacáridos	47
Determinación del contenido de ácidos clorogénicos	47

Determinación del contenido de trigonelina	47
Compuestos volátiles	47
Calidad sensorial	49
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
Descriptores sensoriales del café <i>arábico</i> del municipio Sucre estado Portuguesa que definen su calidad sensorial.	52
Compuestos no volátiles presentes en el café <i>arábico</i> del municipio Sucre estado Portuguesa	55
Relación de los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial con los compuestos no volátiles presentes en el café <i>arábico</i> del municipio Sucre estado Portuguesa	55
Beneficio del café (por vía húmeda, secado al sol y vía seca) y los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa	60
Beneficio del café (por vía húmeda secado al sol y vía seca) y la presencia de compuestos volátiles y no volátiles de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	64
Compuestos volátiles	64
Compuestos no volátiles	64
Efecto de la altitud (menor a 1152 metros, entre 1153-1370 metros y mayor a 1371 metros sobre el nivel del mar) ejercido sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés <i>arábico</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa	68
Efecto de la altitud (menor a 1152 metros, entre 1153-1370 metros y mayor a 1371 metros sobre el nivel del mar) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	72
Compuestos volátiles	72
Compuestos no volátiles	76

Efecto de las variedades (<i>Typica</i> , <i>Catuai Amarillo</i> , y <i>Caturra</i>) sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	77
Efecto de las variedades (<i>Catuai Amarillo</i> , <i>Typica</i> y <i>Caturra</i>) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	81
Compuestos volátiles	81
Compuestos no volátiles	84
Efecto del tostado (claro, medio y fuerte) sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	87
Efecto del tostado (claro, medio y fuerte) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés <i>arábicos</i> del municipio Sucre del estado Portuguesa.	90
Compuestos volátiles	90
Compuestos no volátiles	95
CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES FINALES	99
REFERENCIAS	103

INTRUDUCCIÓN

El café es un producto agrícola con un precio basado en la calidad (Figueiredo y *col.*, 2012), es uno de los cultivos de mayor importancia en la agricultura mundial y en los mercados internacionales, la comercialización de este rubro se ubica en segundo lugar, superado solamente por el petróleo (Salazar, 2012b). El valor de café aumenta significativamente con mejoras en la calidad, que son necesarias para obtener nuevos mercados (Ribeiro y *col.*, 2012). El mayor consumidor de café a nivel mundial son los Estados Unidos, y al igual que otros países consumidores, es un mercado que se encuentra en constante movimiento en búsqueda de café de calidad (Figueiredo y *col.*, 2012).

En Latinoamérica el mayor productor y exportador de café es Brasil, siendo la especie *Robusta* la de mayor relevancia dentro de su producción. En Venezuela la especie de café que más se cultiva es el *arábico*, la cual forma parte del grupo de los cafés suaves en base a especies mejoradas, de gran aroma (Salazar, 2012b). El aroma y sabor del café, son los principales factores que afectan la calidad de la bebida, estos se desarrolla durante la torrefacción a partir de los compuestos presentes originalmente en el café verde, compuestos que dependen de factores genéticos, ambientales, y tecnológicos del cultivo (Ribeiro y *col.*, 2012).

La presente propuesta de investigación tiene como propósito estudiar factores que influyen sobre los compuestos volátiles y no volátiles en el café *arábico* del municipio Sucre del estado Portuguesa y su asociación con la calidad sensorial. Dentro de los factores que se estudiaron se encuentran la altitud de la siembra, las variedades de café, los métodos de beneficio, el tostado del café, la preparación de la bebida y el tiempo y temperatura de almacenamiento del café tostado.

El *primer CAPÍTULO* se refiere a las generalidades del cultivo del café haciendo énfasis en la variedades de mayor cultivo y producción en el mundo, siendo dos las principales cultivadas a nivel mundial, *Coffea arábico* y *Coffea canephora* variedad

Robusta y minoritariamente se encuentra la *C. libérica*. El café *arábico* (*C. arábico* L.), originario de las tierras altas de las selvas del suroeste de Etiopía se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en la India y un poco en Indonesia. En Venezuela, el café es el sustento de unas 92.800 familias en el país, teniendo un papel importante en la vida cotidiana de los venezolanos, quienes consumimos más del 60% de su producción. También se estudia la composición química de los compuestos volátiles y no volátiles presentes en el café verde y tostado. En el *CAPÍTULO dos* se aborda la metodología para determinar los compuestos volátiles y no volátiles en el café y los diferentes tipos de muestreo. En el *CAPÍTULO 3*, se presentan los resultados y discusión de los descriptores sensoriales del café *arábico* del municipio Sucre, estado Portuguesa que definen su calidad sensorial. Los descriptores sensoriales evaluados se obtuvieron a través un panel de evaluación sensorial entrenado, se emplearon treinta y cinco (35) muestras en el estudio. Finalmente, en el *CAPÍTULO cuatro* se hace un esbozo de las consideraciones finales producto de las experiencias practicadas a las diferentes variedades de café cultivadas en Fincas del municipio Sucre, Biscucuy, estado Portuguesa.

El propósito de este libro es contribuir a enriquecer la literatura en esta importante área del saber para facilitar el estudio de los factores que influyen en la composición química y bioquímica del café que afectan su calidad sensorial.

Loa autores agradecemos a la Coordinación de Postgrado de la UNELLEZ-San Carlos, estado Cojedes por facilitar el financiamiento que hizo posible la publicación de eta obra.

CAPÍTULO 1

Características Generales del Cultivo Del Café

El género *Coffea* pertenece a la familia de las *Rubiaceae*, de la que se conocen aproximadamente unas 70 especies, siendo dos las principales cultivadas a nivel mundial, *Coffea arábico* y *Coffea canephora* variedad Robusta y minoritariamente se encuentran la *C. libérica* y *C. excelsa* que se cultivan solamente en el Oeste de África y Asia (Jurgen, 2010).

La taxonomía de las especies está basada en la descripción morfológica del lugar muestreado por diferentes herbarios, por ello la clasificación del café ha sido sometida a varias modificaciones y la actual no es la versión final ya que los especialistas están conscientes de la existencia de más especies nativas que probablemente se encuentren en África y otros lugares y que requieren estudios de sus genotipos que incluyen los estudios celulares y química molecular (Jurgen, 2010).

De las 70 especies del genero *Coffea* solo dos especies tienen importancia económica que son *Coffea arábico* (64% de la producción mundial) y *Coffea canephora* var. Robusta (35% de la producción mundial), las cuales presentan características particulares y de estas se han obtenido diferentes variedades (Jurgen, 2010).

El café *arábico* (*C. arábico* L.), originario de las tierras altas de las selvas del suroeste de Etiopía se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en la India y un poco en Indonesia. La especie *C. arábico* está dividida en diferentes variedades, siendo dos sus variedades botánicas identificadas, *Typica* y *Bourbon* (Jurgen, 2010).

A partir de las variedades *Typica* y *Bourbon* se han obtenido mutaciones y cruces espontáneos con características deseables, así como se han desarrollado cultivares con el fin de obtener mayor rendimiento, adaptadas a ciertas condiciones de clima y suelo, y resistente a plagas y enfermedades (Jurgen, 2010). Entre los que se pueden encontrar en Venezuela están los *Catuai amarillo*, *Catuai rojo*, *Caturra*, *F6*, *INIA6*.

El *Coffea Canephora*, es originario de los bosques de África Central y se cultiva en África Central y Occidental, en todo el Sudeste de Asia y Brasil. Origina diferentes variedades silvestres entre las cuales se conocen la Robusta, que es la variedad más común, se adapta a tierras bajas, cálidas y húmedas (Jurgen, 2010).

De las especies *C. arábico* y *C. robusta*, se han desarrollado híbridos con el fin de obtener un café con buenas características de crecimiento y floración, rendimiento, tamaño y forma del grano, calidad de la taza, contenido de cafeína, resistencia a enfermedades y al clima, entre ellos se han obtenidos el *Timor*, *Catimor*, *Ruiru 11*, *Icatu* y *Arabusta* (Jurgen, 2010).

Producción Nacional de Café

El café es el sustento de unas 92.800 familias en el país, teniendo un papel importante en la vida cotidiana de los venezolanos, quienes consumimos más del 60% de su producción. Esta cifra contrasta con las de Brasil y Colombia, cuyas poblaciones consumen el 30% y 13% de su producción, respectivamente (Gonzaine, 2010).

La ubicación geográfica que ha tenido la producción cafetalera en Venezuela, se desarrolló primero en la zona central y oriental, luego en la región centro occidental, pero desde fines del siglo XIX y hasta la década de los 80 del siglo pasado la caficultura tuvo un gran auge en los estados Mérida y Táchira. Según cifras oficiales suministradas por el MPPAT, revelan que sólo cinco estados concentran el 82% de la

producción cafetalera venezolana: Lara (24%), Trujillo (20%), Portuguesa (15%), Táchira (12%) y Mérida (11%), tal como se aprecia en la Figura 1. (Gonzaine, 2010).



Figura 1. Zonas Cafetaleras de Venezuela.

Fuente: Gonzaine, 2010

Cuadro 1.1. Producción de café verde en Venezuela (TM).

Año	Producción
2000	78.440
2001	91.877
2002	84.470
2003	64.265
2004	71.503
2005	64.484
2006	74.332
2007	73.642
2008	72.000
2009	63.193
2010	73.687
2011	75.510
2012	72.844
2013	77.215

Fuente: Dirección de Estadísticas, MPPAT (2014)

En el cuadro 1, se puede observar la producción de café verde en Venezuela entre el año 2000 y 2013, según los datos del MPPAT (2014). En el mismo se aprecia que en los últimos catorce años (14) el país ha producido un promedio de 74104 TM por años, la mayor producción se obtuvo en el año 2001 (91877 TM) y la menor en 2009 con 63193 TM. Ahora bien, considerando los datos del INE sobre el consumo aparente de alimento del 2014 y la proyección de la población realizada por este

instituto en el 2013, el consumo aparente de café molido de Venezuela para el año 2013 fue de 9,69 gr/día por persona y la población proyectada por el instituto para ese año es de 29.786.263, lo que permite calcular que el consumo de café molido en Venezuela en el año 2013 fue de unas 105.350 TM, sin embargo la producción nacional fue de apenas 77.215 TM, lo que impulso al gobierno a realizar la compra de café a otros países.

Algunos Factores que Influyen en la Calidad del Café

Factores biofísicos

Altitud y temperatura

La altitud modifica las características físicas del grano, el café de altura es de un color verde gris azulado, de menor tamaño pero más denso y con una ranura irregular y cerrada, mientras tanto el café de poca altura es verde pálido, con ranura abierta, regular y es menos denso (Santoyo y *col.*, 1996). El café cultivado a mayor altitud suele desarrollar más atributos positivos, tales como acidez y aroma, definiendo así un mejor sabor y calidad de bebida (Vaast y *col.*, 2005)

Gran parte de la influencia benéfica de la altitud en la determinación de la calidad del café es atribuida a los cambios en temperatura y humedad que se producen al ascender cada 100 m que se asciendan verticalmente y se disminuyen entre 0.5 -0.6 °C (Wintgens 2004). Una disminución en la temperatura ocasiona que la madurez de los frutos sea más lenta, logrando con ello un grano con mayor acidez, cuerpo y aroma (Santoyo y *col.*, 1996). A su vez propicia un mejor llenado de grano y consecuente producción de granos de mayor peso y con mejor calidad de bebida (Wintgens, 2004, Vaast y *col.*, 2005). El rango de temperatura óptima para *C. arábica* está entre 18-22 °C. Por encima de los 25 °C la tasa fotosintética es reducida y las hojas son dañadas por la continua exposición a altas temperaturas (> 30 °C) (Banegas, 2009).

Precipitación y humedad relativa

El cafeto necesita precipitaciones bien distribuidas en el año entre 1400 – 2000 mm. Sin embargo, el exceso de lluvia ocasiona un efecto negativo sobre la calidad del café (Avelino y *col.*, 2005, Decazy y *col.*, 2003). La humedad atmosférica ha marcado influencia en el comportamiento de la planta del café particularmente en el caso de Robusta. Para Robusta el mejor porcentaje de humedad varía entre 70-75% y en los *arábicos* es alrededor del 60%. Si los niveles persisten sobre 85% se verá afectada la calidad (Descroix y Snoeck, 2004).

Suelo y fertilización

La textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo son aspectos que están directamente relacionados con el rendimiento del café producido; sin embargo, restricciones en estos aspectos también pueden afectar la calidad del café. Deficiencias de algunos elementos como el boro, hierro y fósforo influyen negativamente en la calidad de la taza (incrementan considerablemente el porcentaje de granos vanos, producción de granos de coloración defectuosa), un exceso de nitrógeno también provoca disminuciones pequeñas pero significativas en la calidad de la bebida (Santoyo y *col.*, 1996).

Los niveles de calcio y potasio en la semilla afectan la calidad del café, produciendo una bebida amarga (Regalado, 2006). En el caso particular de la textura, se ha encontrado que suelos arcillosos provocan significativamente más defectos en los granos que los suelos con mejor textura (Vaast y *col.*, 2003).

Manejo Agronómico y Cosecha

Sombra y productividad

La sombra es un factor fundamental en la producción de café, pues determina en el grano una calidad que no se obtiene en el grano desarrollado a pleno sol, a la vez la

sombra regula la floración y maduración del fruto (Figuroa y *col.*, 1998).

Una de las razones fundamentales para el cultivo del café bajo sombra es propiciar el microclima óptimo, que provea la cantidad y calidad de luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis, así como las condiciones adecuadas de temperatura y humedad del ambiente. La influencia de los árboles de sombra sobre el café depende mucho de las condiciones de suelo y clima en cada sitio además de las características de la especie y su manejo (Siles y Vaast, 2002).

Muschler (2001) determinó que existe una mejora substancial de la calidad del café bajo sombra, cuando las plantas de café se encontraban bajo estrés. Los principales beneficios de la sombra son: mayor peso de la cereza, mayor tamaño, mayores tazas de acidez y cuerpo. Lo mencionado es debido a que bajo condiciones de sombra el café madura más lentamente por la menor temperatura producida por el sombrero (Santoyo y *col.*, 1996, Vaast y *col.*, 2005).

Sin embargo, cuando se cultiva café (*Caturra o Catuai*) bajo sombra a alturas mayores de 1800 msnm, se obtiene una menor calidad de café, demostrándose así posibles interacciones entre sombra y variedad, sombra y altura (Avelino y *col.*, 2002).

Cosecha

La cosecha es un factor clave que determina la calidad del café ya que durante la maduración del grano ocurren transformaciones muy importantes entre las que se pueden mencionar: a) degradación de la clorofila y síntesis de pigmentos (carotenoides, antocianinas), b) disminución de la astringencia por reducción de compuestos fenólicos, c) aumento de los compuestos responsables del aroma (Banegas, 2009).

Esto significa que solo los frutos que alcanzan la plena madurez llegan a su punto óptimo de calidad y que todo los procesos subsecuentes solo contribuyen a

conservarla (Santoyo y *col.*, 1996). Las cerezas muy maduras de color rojo vino (sobre maduras) producen una bebida afrutada e incluso con sabor a levadura o vinoso. Las cerezas negras secadas en el cafeto producen una bebida con sabor a madera (Wintgens, 1992).

De acuerdo a Puerta (2000) las mezclas de frutos maduros con contenidos mayores a 2,5 % de frutos verdes producen un deterioro de la calidad de bebida y rendimiento del café. Las cerezas inmaduras (verdes o pintonas) producen un grano descolorido y una bebida con sabor y olor a fermento.

Manejo post cosecha

La calidad intrínseca del café no puede mejorarse durante el beneficiado (aunque si se pueden eliminar defectos); lo que se hace es preservarla ya que la misma se obtiene del cafeto; pero si no se realiza un adecuado proceso de beneficiado puede dañar completamente la calidad del grano (Fischersworing y Robkamp, 2001).

Según los mismos autores el tipo de beneficiado es el factor que en mayor grado determina la calidad de la bebida, dentro del tipo de beneficiado de café se diferencian dos métodos: el beneficiado húmedo y el beneficiado seco

Beneficiado húmedo

Fischersworing y Robkamp (2001), expresan que mediante el beneficiado por la vía húmeda se obtiene un café de mayor calidad en comparación con el procesamiento por la vía seca. De acuerdo a Pineda y *col.* (2001), el beneficiado húmedo comprende 5 operaciones; recolección, despulpado, desmucilaginado, lavado y secado, las cuales se describen a continuación:

Despulpado. Consiste en remover el epicarpio y parte del mesocarpio (pulpa del fruto), con el fin de propiciar una aceleración del proceso de descomposición del mucílago y evitar el manchado del café pergamino por dispersión de los pigmentos antocianicos presentes en el epicarpio del fruto, se debe realizar cuando el café está

maduro y debe hacerse durante las primeras 8 horas posterior a la cosecha (Wintgens, 1992).

Desmucilaginado. Consiste en eliminar el resto del mucílago que quedo adherido al pergamino. El propósito de la eliminación del mucilago es para facilitar el secado del grano, sin que se deteriore la calidad por efectos de fermentos o sobre fermentos. La separación del mucilago puede realizarse de tres: fermentación natural, química y desmucilaginado mecánico (Pineda y *col.*, 2001). La relación entre la fermentación y el aroma del café es complejo, por lo que el aroma está influenciado por el proceso de fermentación (Lee y *col.*, 2015).

Lavado. Tiene el propósito de eliminar todas las sustancias residuales del mucílago que todavía se encuentran adheridos al pergamino del café. En caso de que el café quede mal lavado pueden presentarse fermentaciones secundarias, lo que ocasionará que el café pergamino quede manchado y adquiera un mal olor (Fischersworing y Robkamp, 2001). Se debe evitar almacenar el pergamino húmedo o retardar el paso al proceso de secado. Este tipo de retraso produce efectos negativos sobre la calidad de la bebida: sabor a tierra y fermento, cuerpo sucio, amargo intenso y poca acidez de la bebida (Puerta, 1999).

Secado. Se diferencian básicamente dos tipos de secado: el natural o al sol y el secado artificial; sin embargo, la mejor calidad se obtiene con el secado natural (Fischersworing y Roskamp, 2001). De acuerdo a (Wintgens, 1992) existen consecuencias severas al realizar un proceso inadecuado de secado tales como: un grano blanqueado o descolorido, un secado insuficiente genera un grano flojo de color gris oscuro y de consistencia blanda, este defecto permite el desarrollo ulterior de microorganismos que afectan la calidad.

El beneficiado en seco

En este proceso se seca la cereza entera inmediatamente después de la recolección

hasta que el grano alcance el contenido de humedad deseada (menos del 13%). La calidad de este café se ve afectada por diferentes prácticas tales como; la recolección no selectiva, la mezcla de café sobre maduro, el manejo inapropiado del secado del café extendiéndolo directamente sobre la tierra y amontonándolo en capas tan gruesas que se fermenta y se enmohece (Fischersworing y Robkamp, 2001).

Procesamiento Industrial

Tostado

El aroma y sabor deseado de la bebida del café se desarrollan durante el tostado, un proceso muy dependiente de la temperatura en el que los granos de café sufren una serie de reacciones que conducen a varios cambios en la composición química (Clarke, 1987).

Durante el tostado ocurren muchos cambios físicos y químicos complejos además del cambio obvio en color de verde al marrón. En la primera etapa del tostado, se pierde el agua libre; en la segunda ocurren reacciones químicas complejas, la deshidratación, la fragmentación, la recombinación, y la polimerización (Cross, 2009). Varios de estos cambios se asocian a la reacción de Maillard y conducen a la formación de compuestos de bajo peso molecular, tales como bióxido de carbono y agua libre, compuestos aromáticos y del sabor. Los mecanismos de la formación de los constituyentes volátiles presentes en el aroma del café son extremadamente complejos y hay claramente un grado amplio de interacción entre todas las rutas implicadas (Cross, 2009).

La mayor parte de los volátiles del café se derivan de compuestos no volátiles (materia grasa, cafeína, trigonelina, entre otros) presentes en el grano crudo, los cuales reaccionan durante el tostado. La mayoría de los compuestos aromáticos son generados por un tostado mediano del café, mientras que algunos compuestos aromáticos se degradan a temperaturas altas (Bonnländer y Eggers, 2005).

La composición del café tostado variará con las condiciones de procesamiento, siendo caracterizados por el grado de tueste, que se refleja en el color externo de los granos (que varía de marrón claro a oscuro), el sabor desarrollado, la cantidad de pérdida de materia seca que se produce y cambios específicos en la composición química (Clarke, 1987).

Bhumiratana y *col.* (2011), comentan que un tostado medio tiende a producir un perfil sensorial bastante aceptable para la bebida del café, mientras que el tostado oscuro se caracteriza por proporcionarle a la bebida un descriptor sensorial a quemado, ácido, picante y aromas a tostado.

Condiciones de almacenamiento

Durante el almacenamiento, el café tostado puede sufrir importantes cambios químicos y físicos, responsables del "Envejecimiento" del café, que afecta a la calidad y aceptabilidad (Nicoli y *col.*, 2005). Las principales causas de envejecimiento del café son atribuibles a las pérdidas de compuestos volátiles y reacciones de oxidación, siendo este último responsable de la formación de mal sabor (Anese y *col.*, 2006).

La temperatura, concentración de oxígeno y la humedad relativa / actividad de agua son los principales factores que afectan la vida útil del café tostado. La tasa de reacciones de degradación de café, puede aumentar significativamente después de que el empaque ha sido abierto por el consumidor. Es muy común que durante el uso en la casa, el café casi nunca se consume inmediatamente después de la abrir el empaque, más a menudo, su uso dura unos pocos días o semanas (Anese y *col.*, 2006).

El deterioro de las bebidas de café durante el almacenamiento, por lo general está acompañado por el desarrollo de acidez, detectable mediante un descenso de pH, incluso a temperaturas de refrigeración (Nicoli y *col.*, 1991).

El pH se ha utilizado por algunos autores para establecer el tiempo de conservación de bebidas de café durante el almacenamiento (Dalla y *col.*, 1986), aunque otros estudios han demostrado que este factor no es suficiente para predecir la vida útil del café almacenado durante un período de tiempo (Pérez-Martínez y *col.*, 2008a).

Preparación de la bebida

Una bebida debe contener del café tostado y molido, lo mejor de su sabor y aroma, por lo tanto una buena preparación debe lograr extraer las mejores características del café (Rincón, 2008).

En los métodos o técnica de preparación se deben tener en cuenta los siguientes factores: la relación agua-café, el tiempo de contacto, la temperatura del agua, la molienda, el lecho del café, el tipo de preparación del equipo, la calidad de sus materiales y los hábitos de preparación. Cada una de estas variables influyen en la calidad final de la bebida (Rincón, 2008).

Algunos Compuestos Bioquímicos del Café Verde

La composición química del grano de café depende de la especie y la variedad cultivada, también de factores como la ubicación del cultivo, la altitud, la fertilidad del suelo, las condiciones atmosférica, el grado de maduración y la condición de almacenamiento (Bolívar, 2009).

El café es considerado como uno de los productos de consumo más complejo desde el punto de vista de su química. No solamente por la gran cantidad de compuestos químicos contenidos en el grano de café verde, también porque estos compuestos reaccionan e interactúan en todas las etapas del procesamiento para la obtención de una gran diversidad y complejidad de estructuras (Clarke y McRae, 1985). En el cuadro 2, se muestran algunos compuestos bioquímicos del café *arábico* y *canephora* en los granos verdes y tostados, donde se observa que los rangos totales de

compuestos en el café verde (café *arábico*) son mayores que en el tostado, la misma tendencia se observa en el café *canephora* en sus formas verde y tostado.

Cuadro 1.2. Algunos compuestos bioquímicos en el café *arábico* y *canephora* en granos verdes y tostados

Compuesto	Café <i>arábico</i>		Café <i>canephora</i>	
	Verde (%)	Tostado (%)	Verde (%)	Tostado (%)
Minerales	3 – 4,2	3,5 – 4,5	4 – 4,5	4,6 – 5,0
Cafeína	0,9 – 1,2	1,00	1,6 – 2,4	2,00
Trigonelina	1 – 1,2	0,5 - 1	0,6 – 0,75	0,3 – 0,6
Lípidos	12 – 18	14,5 – 20,0	9,0 – 13,0	11,6 – 16,0
Total ácido clorogénico	5,5 – 8,0	1,2 – 2,3	7,0 – 10,0	3,9 – 4,6
Ácidos alifáticos	1,5 – 2,0	1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Oligosacáridos	6,0 – 8,0	0- 3,5	5,0 – 7,0	0 – 3,5
Total polisacáridos	50,0 – 55,0	24,0 – 39,0	37,0 – 47,0	21,4 – 33,7
Aminoácidos	2,00	0,00	2,00	0,00
Proteína	11,0 – 13,0	13 - 15	11,0 – 13,0	13,0 – 13,5
Ácido húmico	-	16 - 17	-	16,0 – 17,0

Fuente: Clifford (1985).

Dentro de los principales compuestos se pueden encontrar:

Sustancias minerales

Los minerales constituyen las cenizas del café y están compuestas principalmente por óxidos de potasio, sodio, calcio, magnesio, fósforo, azufre, además de diversos

oligoelementos como el hierro, aluminio, cobre, yodo, flúor, boro, vanadio, manganeso, entre otros (Gopalakshna, 1972; citado por Bolívar, 2009). Normalmente el contenido de cenizas en estudios de café se sitúan en un rango de 4-5 g/100 g de muestra (Machado, 1997). En el cuadro 3, se puede apreciar los componentes minerales mayores y menores típicos en el grano de café *arábico*.

Las sustancias minerales son de vital importancia en el crecimiento y desarrollo de las plantas y la semillas, son parte de la estructura química de los carbohidratos, proteínas y lípidos (Bolívar, 2009). Desde mucho tiempo se conoce la importancia de varios minerales para el desarrollo de la planta de café, así como para las deficiencias en el crecimiento, también para el sabor del café tostado y en las propiedades físicas del grano (Clarke y McRae, 1985).

Cuadro 1.3. Contenido mineral típico de grano verde de café *arábico*.

Componentes mayores (mg %)		Componentes menores (µg %)	
K	1350 - 1712	Cr	74 - 1327
Mg	142 - 176	V	70 - 100
Ca	7,6 - 20	Ba	<100 - 615
Na	2,3 - 17	Ni	11 - 388
Fe	2,1 - 10,5	Co	10 - 93
Mn	1,1 - 9,8	Pb	18 - 77
Rb	0,6 - 4,2	Mo	11 - 27
Zn	0,5 - 3,2	Ti	4 - 20
Cu	0,5 - 2,3	Cd	3
Sr	0,4 - 1,3		

Fuente: Clifford (1975).

Compuestos nitrogenados

Dentro de estos se encuentran los alcaloides, enzimas, aminoácidos y proteínas.

Alcaloides: El principal alcaloide del grano del café es la cafeína (1, 3,7-trimetilxantina), pero también se encuentran pequeñas cantidades de teobromina (3,7-dimetilxantina) y trazas de teofilina (1,3-dimetilxantina) (Poisson, 1977).

La cafeína es un alcaloide derivado de la xantina y es determinante para el sabor del café debido a que es responsable del amargor, por lo que es considerada como uno de los principales precursores del sabor, también se le atribuyen la mayoría de las actividades estimulantes de la bebida del café (Vaast y *col.*, 2005; Shankaranarayana y Abraham, 1986; Farah y *col.*, 2006). Sin embargo, Avelino y *col.* (2005) no encontraron ninguna relación entre la cafeína con el amargo y las características organolépticas de la taza en muestras estudiadas.

Otro alcaloide que se puede encontrar es la trigonelina, la cual es una metil betina de la purina, este compuesto es de particular interés debido a que está relacionado con la niacina, la cual posee potencial como vitamina (Clifford, 1975). Es un compuesto derivado de la piridina y es conocido porque contribuye indirectamente a la formación de aromas deseables durante el tostado del café (Ky y *col.*, 2001).

La calidad del café disminuye mientras el contenido de trigonelina decrece, desde 1340 mg a 960 mg/100 g, es decir, existe una relación directa entre la disminución de la trigonelina y la disminución de la calidad del café (Farah y *col.*, 2006).

El contenido de trigonelina también es utilizado para diferenciar entre variedades ya que suele ser más bajo en variedades de café *robusta* comparado a variedades de café *arábico* 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 y *col.*, 2006). Investigaciones han reportado una asociación de altos contenidos de trigonelina con menor calidad del café, producto del aumento del sabor amargo en la bebida de café (Illy y Viani, 1995; Shankaranarayana y Abraham, 1986). Posiblemente se debe a que durante el tostado del grano, este sufre una progresiva degradación, dando lugar a la formación de ácido nicotínico (Clifford, 1985; Taguchi y *col.*, 1985; Vaast y *col.*, 2005).

Las estructuras químicas de la cafeína, teobromina, teofilina y trigonelina, se pueden apreciar en las Figuras 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5, respectivamente.

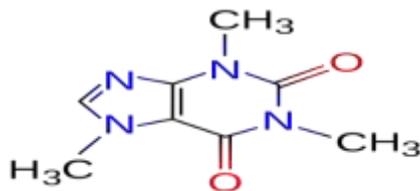


Figura 1.2. Estructura química de la cafeína

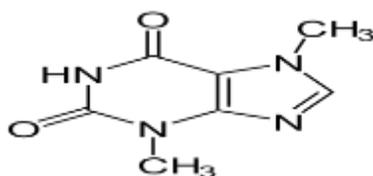


Figura 1.3. Estructura química de la teobromina

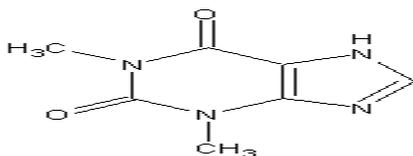


Figura 1.4. Estructura química de la teofilina

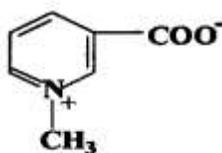


Figura 1.5. Estructura química de la trigonelina.

Fuente: Clarke, R.J. (1990), citado por Basto y Alves (1999).

En el Café *arábico* se han reportado una serie de valores porcentuales como los encontrados por Ky y col. (2001), quienes reportaron que en el café *arábico* de Etiopía y Costa de Marfil el contenido de cafeína y trigonelina es de 1,2 % y 1,19 %, respectivamente.

respectivamente, mientras que para café *canephora* de 1,01 % para la trigonelina y 2,54 % de cafeína.

Estos contenido de alcaloides han sido bastante estudiados para cafés de Costa Rica donde Vaast y *col.* (2005) encontraron valores de 1,48 % de cafeína y 0,99 % de trigonelina, Avelino y *col.* (2005) reportaron porcentajes de 1,2 y 0,72 para la cafeína y trigonelina. Bertrand y *col.* (2006) encontraron valores más bajos entre 0,75 y 0,89 % de trigonelina y 1,1 y 1,26 % para la cafeína.

En otros países centroamericanos se han reportados valores para la cafeína entre 1,32 y 1,87 % de cafeína y 1,09 y 2,03 % de trigonelina, en los café de Honduras (Rojas, 2009). Bertrand y *col.* (2006) en café de El Salvador y Honduras reportaron que estos valores podían encontrarse entre 0,88 y 0,97 % para la trigonelina y 1,1 y 1,2 % para la cafeína.

En la República Dominicana Escarramán y *col.* (2007) encontraron que entre 1,2 y 1,4 % se puede ubicar la cafeína y la trigonelina alrededor de 1%. Estos valores se asemejan a los reportados por Vaast y *col.* (2005) para los cafés de Nicaragua, que determinaron un porcentaje de cafeína de 1,31 y 0,92 % para la trigonelina.

En Suramérica podemos encontrar referencia de estos valores, como los reportados por Franca y *col.* (2005) en cafés *arábicos* de Brasil donde reportaron un 1,07 % de cafeína y 0,64 % de trigonelina, Sin embargo, Da Eira (2005) reportó que estos valores podrían encontrarse entre 0,98 y 1,1 % para la trigonelina y unos 2,12 y 2,89 % para la cafeína, en café *caphora* y para los C. *Libérica* entre 0,96 y 1,03 % de cafeína y 0,35 y 0,53 % de trigonelina.

Salazar y *col.* (2012a) reportan valores de 0,8 % y 0,9 % para la trigonelina y la cafeína, respectivamente, en muestras de café *arábico* Venezolano, sin embargo, de otra investigación con muestras del mismo país, estos valores fueron más elevados, 1,04 y 1,33 por ciento, en trigonelina y cafeína, respectivamente (Salazar y *col.*, 2012b).

Proteínas y aminoácidos

Las proteínas 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 en el café verde consiste en una fracción soluble en agua (albumina), la cual constituye aproximadamente la mitad del contenido total de proteína y una fracción insoluble (globulinas 11S) (Acuña y *col.*, 1999).

El contenido de proteína varía de 11 a 16,5 g/100g, aunque estudios 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 y *col.*, 2005).

En el cuadro 1.4 se muestra el contenido de aminoácidos libres en el grano de café verde *arábico* y *canephora*, donde se observa que los cafés *arábicos* contienen menor contenido total de aminoácidos que los *canephora*, sin embargo, el contenido de los aminoácidos esenciales valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina, lisina, histidina y arginina es mayor en el café *arábico* que en los *canephora*.

Cuadro 1.4. Contenido de aminoácidos libres en el grano de café verde

Aminoácido	Contenido en %, en base seca.	
	Café arábico	Café canephora
Total	0,37 - 2,4	0,66 – 2,88
Glicina	>0,03	0,02 – 0,03
Alanina	0,05 – 0,24	0,09 – 0,11
Valina	>0,08	0,02 – 0,03
Isoleucina	>0,04	0,01 – 0,02
Leucina	>0,03	0,02 – 0,03
Fenilalanina	0,01 – 0,08	0,03 – 0,04
Tirosina	>0,04	0,01 – 0,02
Ácido aspártico	0,05 – 0,33	0,07 – 0,09
Asparigina	0,05 – 0,3	0,08 – 0,09
Ácido glutámico	0,11 – 0,49	0,07 – 0,09
Treonina	>0,006	> 0,01
Serina	0,03 – 0,19	0,04 – 0,05
Prolina	0,03 – 0,14	0,04 – 0,05
Ácido aminobutirico	0,03 – 0,33	0,10 – 0,11
Lisina	>0,07	0,01 – 0,02
Histidina	>0,04	> 0,006
3-metilhistidina	>0,005	>0, 006
Triptófano	0,01 – 0,002	0,04 – 0,05
Arginina	>0,04	0,02 – 0,03
Cisteína, Metionina	Trazas	Trazas

Fuente: Clifford (1985).

Enzimas

Una enzima es una proteína que actúa como catalizador biológico, llevando a cabo reacciones bioquímicas a muy altas velocidades, no se consumen durante la reacción y en general presentan un elevado grado de especificidad (Fennema, 2000).

Varias de las enzimas presente en el grano de café verde son la β -glucósidas, proteasa y lipasas; tales enzimas pueden estar activas durante el procesamiento postcosecha y almacenamiento de los granos, produciendo cambios, como la producción de varias agliconas, aminoácidos libres y ácidos grasos libres, que pueden influir sobre la calidad de la bebida (Bolívar, 2009).

También se pueden encontrar polifenol oxidasa, malato deshidrogenasa, α -galactosidasa, β -glusidasa y catalasa. Así mismo hay un número de enzimas hidrolíticas y oxidativas, asociadas con el mucilago de la cereza de café alrededor del pergamino como pectinerasa, galacturonasa, α -galactosidasa, peroxidasa y polifenol oxidasa (Clifford, 1985).

Lípidos

Los lípidos son grupos de compuestos constituidos por carbono, hidrogeno y oxigeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fosforo y nitrógeno (Fennema, 2000). En el grano de café verde los lípidos están compuestos de aceites presentes en el endospermo y una pequeña cantidad de cera localizados en las capas externas del grano (Clarke y McRae, 1958).

La fracción de lípidos saponificables la constituyen los ácidos grasos encontrados en el grano de café verde, tales como los ácidos linoleico, palmítico, oleico, linoleico, arquidico y trazas de ácido mirístico, bohémico, margárico y decadienoico (Carisono y Garibaldi, 1964). Dos dipertenos, el cafestol y el kahweol hacen parte de esta fracción insaponificable, encontrándose el kahweol en el café *arábico*, siempre que se mantenga en buenas condiciones de almacenamiento (Clifford, 1975). También se

pueden encontrar esteroides (principalmente sitosterol, campesterol y estigmasterol), serotonina e hidrocarburos alifáticos de cadena larga, incluyendo nonacosano y pigmentos (Bolívar, 2009).

Los lípidos son uno de los principales precursores de sabor en café (Avelino y *col.*, 2005) y según la literatura el rango de grasa total se ubica entre 9 -16 g/100 g (Franca y *col.*, 2005).

En cafés *arábico* de Costa Rica el contenido de grasa se ha reportado alrededor de 13,1 % (Vaast y *col.*, 2005), sin embargo, Avelino y *col.* (2005) reportaron valores de 14,39 %, cercanos a los comentados por Bertrand (2006) el cual reporto un rango en el porcentaje de grasa entre 14 y 15,7 %.

Un rango de grasa entre 13,4 y 15,1 % se ha reportado para los *arábicos* Dominicanos (Escarramán y *col.*, 2007); pero para los *arábico* Nicaragüenses se han reportado menores contenido, alrededor de 11,9 % (Vaast y *col.*, 2005), al igual que de Honduras cuyo contenido de grasa se encuentra entre un rango de 5,05 y 7,57 % (Rojas, 2009).

En Brasil se ha reportado que el contenido de grasa en *C. canephora* se encuentra entre 8,83 y 24,1 % y para el *C. libérica* entre 8,58 y 13,75 %. Bertrand y *col.* (2003) en el estudio de introducción de un gen de *C. Caphora* a *C. arábico* de Brasil y Colombia, reportaron que el contenido de grasa de los café resultante de este cruce estaba entre 13,87 y 14,83 %. Para muestras de café verde de Venezuela, se han reportado valores de 12,72 % (Salazar y *col.*, 2012a) y 11,71 % (Salazar y *col.*, 2012b).

Compuestos Fenólicos

El principal grupo de compuestos fenólicos encontrados en el grano de café verde son los ácidos clorogénicos. Estos ácidos, son mono o diesteres de ácido cinámico y ácido quínico. Los principales ácidos clorogénicos de los granos de café verde son los

ácidos cafeoilquinicos, los ácidos dicafeoilquinico y los ácidos feruloilquinicos (Clifford, 1985). Los ácidos clorogénicos 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 (Ky y col., 2001).

Los ácidos clorogénicos (AC, 5CQA) son una familia de esteres formados por ciertos ácidos trasdinámicos y el ácido quínico (Bertrand y col., 2003; Clifford, 2000; Rogers y col., 1999). Dentro de los AC más comunes se encuentran algunos monoesteres de ácido cafeoilquinico – ácidos cafeoilquinicos (CQA y FQA), diesteres (diCQA), triesteres (triCQA), entre otros (Bertrand y col., 2003; Clifford, 1999).

La bebida de café es una de las principales fuentes de AC de consumo diario. Su contenido varía en función de la especie entre el 6 – 8 % en base de la materia seca. Se estima que una taza de 200 ml de café *arábico* podría aportar unos 70 – 200 mg de AC y 70 – 300 mg de AC para *robusta* (Clifford, 1999).

Según Dentan (1985), los AC se encuentran en la superficie del grano de café con la cera cuticular en el citoplasma adyacente a la pared celular del endospermo parénquimático. Se ha asociado a los AC con el sabor amargo y astringente de la bebida de café (Vaast y col., 2003; Shankaranarayana y Abraham, 1986; Clifford, 1985). La explicación más aceptada ante esta afirmación, es que durante el tostado del grano los AC sufren una hidrólisis (Clifford, 2000) que libera residuos de ácido quínico (Clifford, 1999) y compuestos fenólicos, responsables del incremento del sabor amargo en la bebida (Bertrand y col., 2003).

La degradación térmica del ácido clorogénico durante el tostado provoca la presencia de fenoles que causan amargor (Clifford, 1975). Según Farah y col. (2006), comentaron que el contenido de ácido clorogénico está relacionado negativamente con la calidad, donde un contenido aproximado de 5,780 g/100g es asociado a altas calidades y 7,020 g/100g para calidades altas bajas. Normalmente los rangos de ácido clorogénico se encuentran entre 5, 500 mg y 7,000 mg/100 gr (IICA, 1992).

El contenido de ácido clorogénico de los café *arábicos* se reporta cercano a un 8%, sin embargo, Ky y col. (2001), reportaron que el contenido de este compuesto se encuentra alrededor de 3,9 % en el café *arábico* de Etiopía y Costa de Marfil y 9,96 % en los *C. canephora* de Costa de Marfil, Guinea, Congo, Camerún y África Central.

En países centroamericanos se han reportado valores de ácido clorogénico de café *arábico* entre 7,6 y 8,2 % en Costa Rica (Bertrand, 2006), 2,55 y 3,92 % en Honduras (Rojas, 2009), 8,5 y 8,8 % en República Dominicana (Escarramán y col., 2007) y en Nicaragua cercano a los 8,93 % (Vaast y col. 2005).

En Suramérica Franca y col. (2005) reportaron que en Brasil se encuentran cafés *arábico* con porcentajes de ácido clorogénico cercano a los 2,39 %, pero para los mismos cafés Bertrand (2003) encontró valores entre 7,06 y 8,34 %. Da Eira (2005) reportó que este compuesto en café *canephora* y *libérica* se halla entre 4,68 y 5,5 % para el primero y 3,04 y 3,43 % para el segundo. En los *arábicos* Venezolanos se han reportados valores de 7,78 % (Salazar, 2012a).

En el grano de café, también se pueden encontrar taninos, que son compuestos fenólicos hidrosolubles. Destacan por sus propiedades astringentes, dando una sensación de aspereza, sequedad y amargor en la lengua (IICA, 1992; Vaclavik, 2002); su contenido 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).

Ácidos alifáticos

En los granos de café se pueden encontrar ácidos carboxílicos alifáticos y algunos ácidos alicíclicos y heterocíclico (Clarke y McRae, 1985). Así también, se pueden encontrar ácidos no volátiles como el cítrico, oxálico, málico y tartárico (Clifford, 1985).

Carbohidratos

Los carbohidratos son compuestos orgánicos constituidos por carbono, hidrogeno y oxígeno, se clasifican con la formula general $C_n (H_2O)_n$ (Vaclavik, 2002), en el café verde representan el mayor valor porcentual de su composición (Meenakshi y Rao, 2007).

Los carbohidratos varían de acuerdo al contenido de lípidos, agua, proteína y minerales. Estos compuestos son los precursores del sabor dulce del café y su contenido en un café de calidad se encuentra alrededor de 68,28 g / 100 g y para cafés de menor calidad en 70 g/100 g de muestra (Franca y *col.*, 2005). En el cuadro 1.5, se puede apreciar el contenido aproximado de la fracción de carbohidratos en los granos de café verde y tostado.

Cuadro 1.5. Contenido aproximado de la fracción de carbohidratos en granos de café verde y tostado.

Café	% Carbohidratos en base seca.
Verde	45-60
Tostado	40-50

Fuente: Bradbury (2001).

Dentro de la fracción de polisacáridos, los galactomananos son los principales constituyentes, con una concentración de alrededor del 50 % del total de la fracción, seguido por los arabinogalactanos con una concentración del 30 %, la celulosa con un 15 % y la pectina con un 5 % (Redgwell y *col.*, 2003).

Los azúcares son carbohidratos simples que imparten sabor dulce y color marrón, son higroscópico y funcionan de varias formas distintas en los sistemas alimentarios, actuando como agente separador, estabilizador, de geles, espesante y fermentador (Vaclavik, 2002).

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

Farah y *col.* (2006), en muestras de cafés previamente clasificadas de acuerdo a su calidad, encontraron 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, mientras que el contenido más alto fue de 7,85 % encontrado en muestras de cafés de baja calidad. En los cafés venezolanos se reportan valores de sacarosa 7,1 %, glucosa 0,08 % y fructosa 0,05 % (Salazar y *col.*, 2012a).

Calidad Sensorial del Café

Catación

Es la prueba organoléptica o sensorial aceptada internacionalmente para la comercialización del café. Esta prueba de evaluación es realizada por un especialista llamado Catador. Éste posee amplios conocimientos, experiencia y habilidades naturales para poder percibir cada uno de los atributos y defectos que pueda tener el café (Lingle, 1999; Barrios y *col.*, 1998).

Todos los aspectos evaluados en la catación son subjetivos, ya que la actividad es meramente empírica, puesto que cada individuo puede formarse una opinión diferente sobre la calidad y la aceptación de una infusión o licor en particular (Geel y *col.*, 2005; Barrios y *col.*, 1998; CCI, 1992).

Los atributos y defectos pueden dividirse tanto para el aspecto físico del grano como también para la bebida, y están basados en las exigencias del consumidor. Al final, la presencia y gravedad de los defectos físicos y de taza dan el concepto global de la calidad (Vaast y *col.*, 2003, Cleves y Astúa, 1998, Shankaranarayana y Abraham, 1986).

De esta manera, la catación determina el verdadero valor y utilidad del café en el mercado (CCI, 1992).

Características organolépticas más relevantes

Los sentidos del olfato y del gusto son importantes en el proceso de definición de la calidad de un café en particular (Franca y *col.*, 2005). En este proceso, se hace alusión a un olor o sabor particular de la vida diaria. Estos olores y/o sabores pueden indicar aspectos positivos o negativos (defectos) del café evaluado (Clifford, 1985).

Dentro de las características organolépticas más importantes se encuentran: aroma, cuerpo, acidez, amargo, astringencia, sabor y apreciación global (Bertrand y *col.*, 2012; Geel y *col.*, 2005; Barrios y *col.*, 1998; CCI, 1992; Brownbridge y Gebreigzabhair, 1968).

Aroma

El aroma del café es el primer atributo que disfruta el consumidor cuando se le sirve una taza de café y es determinado por los componentes olfativos que se encargan de definir el olor y/o aroma y desarrollado por una serie de compuestos muy volátiles producidos durante el proceso de tostado (Franca y *col.*, 2005; Shankaranarayana y Abraham, 1986).

Cuerpo

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

Acidez

La acidez es la característica más apreciada en la comercialización del café, y por consiguiente con mejor valor comercial (Cleves y Astúa, 1998; Clifford, 1985). Está debe detectarse en la punta o los lados de la lengua. Es una sensación que limpia el paladar (Starbucks, 2005).

Puede clasificarse a los de mayor grado como acidez aguda y penetrante, los intermedios como ligeros, hasta escasa o falta absoluta de acidez (Menchú, 1967). La acidez se ha asociado a la acción de ácidos orgánicos y se considera que el ácido fosfórico puede ser uno de los responsables de la acidez (Clifford, 1985).

Sabor

La determinación del sabor en el proceso de catación, es el producto de la exposición de las cientos de terminales nerviosas en la lengua a diferentes sensaciones simultáneas: dulces, ácidas, saldas y amargas. Esto permite generar una sensación particular vinculada a un sabor preconcebido en el subconsciente (Lingle, 1999).

Existen otros términos del sabor, tales como el suave, maduro, dulce, blando, madera, farmacéutico, terroso, maní, áspero, fenólico, fermentado, quemado, cocido, salino, amantequillado, acaramelado, entre otros (Starbucks, 2005; ABECAFE, 1998).

Amargo

Es la sensación producida por sustancias amargas propias del café, que al extraerse con agua caliente pasan a la bebida. Se percibe sobre todo en la parte de atrás de la lengua. Un amargo desagradable puede deberse a la sobreextracción del café. A mayor grado de tostado se siente mayor el amargor (NTC, 2000; NTC, 1990).

Astringente

Sensación táctil no deseable en café suave, producido por sustancias polifenólicas como taninos que causan constricción, fruncimiento y resequedad en la mucosa de la cavidad bucal; se puede presentar en el café por la presencia de granos inmaduros y/o por condiciones en la pre y postcosecha (NTC, 2000; NTC, 1990).

Preferencia (impresión global)

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

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

Compuestos Volátiles en el Café

La naturaleza química del aroma y sabor del café ha sido un desafío al químico durante mucho tiempo, además han sido identificadas por muchos autores (Gautschi y *col.*, 1967).

La primera investigación sobre el aroma del café tostado fue realizada en 1926, por los ganadores del premio Nobel, Reichstein y Staudinger, quienes tuvieron éxito en identificar los primeros compuestos aromáticos. Éstos incluyen grupos importantes de compuestos de las alquiperazinas, α -dicetonas, furfuralmercaptano y guayacoles.

Sus esfuerzos en la investigación no pudieron ser demasiado acentuados, debido a que fue realizado mucho antes del descubrimiento de la cromatografía de gases y espectrometría de masa. Sólo utilizaron las técnicas clásicas de identificación (cristalización de derivados y destilación).

En la década de los años 20 solo se conocían 13 volátiles, pero para los años 50 el número se incrementó a 60 compuestos y para finales de la década del 70 el número de constituyentes aumentó dramáticamente a más de 600 (Tressl, 1989; Parliment y Stahl, 1995; Bonnländer y Eggers, 2005).

Uno de los primeros estudios sobre el incremento de la concentración de compuestos volátiles en la etapa de tostado fue realizado en 1960 por el investigador John W. Rhoades, quien analizó siete variedades de café procedente de América (*Santos, Central América, Peruano, Maracaibo, Cubano, Medellín Armenia, Colombia, Bucaramanga*).

El investigador identificó y cuantificó 19 compuestos volátiles; 16 de los cuales fueron detectados en los granos de café verde, en una o más de las siete variedades analizadas, así como que el sulfuro de hidrógeno, formato de metilo y propionil acetilo alcanzaron concentraciones máximas dentro de la temperatura normal de tostado (350 °F – 430 °F).

Bondarovich y *col.* (1967), reportaron datos espectrales de espectroscopia infrarroja (IR, por sus siglas en inglés) y espectrometría de masa (MS) además de datos cromatográficos (GC) de un gran número de constituyentes del complejo del aroma del café tostado. Estos autores indicaron la posible contribución de pirazinas y dihidroxipirazinas en el sabor del café tostados.

Feldman y *col.* (1969), realizaron estudios sobre la composición química de los granos de café verde, los cambios en composición al pasar al tostado y los sabores no volátiles que se producen durante el procesamiento. Se utilizaron muestras de grano verde y tostado de café Haití (*arábico*), café Colombia (*arábico*) y café Angola (*Robusta*).

Los investigadores, antes mencionados, reportaron que durante el tostado (425 °F o 220 °C) fueron destruidos aminoácidos como: cisteína, lisina, arginina y serina en las tres muestras. En cuanto a la composición de ácidos volátiles, el café *robusta*

presentó mayores concentraciones de ácido fórmico y menores concentraciones de ácido acético que los *arábicos*.

Otra investigación realizada en 1971, con la mayor parte de los colaboradores de Bondarovich y *col.* (1967), identificaron 13 compuestos adicionales del complejo del aroma del café tostado previamente no identificados. Entre éstos se identificaron varios derivados de pirazinas con importantes propiedades organolépticas (Friedel y *col.*, 1971).

La poca información sobre la presencia de oxazoles y tiazoles en café tostado, motivó en 1974 a Vitzthum y Werkhoff aislar compuestos orgánicos básicos de la fracción volátil del aroma del café (Colombia excelso). Identificaron 20 oxazoles y 23 tiazoles, utilizando GC/MS. Estos compuestos identificados fueron asociados con el sabor del café, pero no lograron atribuir a ningún compuesto en particular el aroma típico del café tostado.

Baltes y Bochmann (1987), identificaron 350 compuestos volátiles producidos durante el calentamiento de un sistema modelo formado por serina, treonina y sacarosa. Entre éstos, se caracterizaron 100 furanos monocíclicos, 13 furanonas y 8 furanos bicíclicos.

Los espectros de masas de estos compuestos fueron comparados con los del café tostado (café *arábico* de Brasil) preparado bajo las mismas condiciones. Unos 160 compuestos fueron identificados luego del tostado de los granos verdes, 53 de los cuales hasta ese momento, no habían sido considerados como constituyentes del aroma del café.

Tressel (1989), caracterizó más de 700 constituyentes en los extractos del aroma del café tostado. Entre los cuales los compuestos heterocíclicos representaban el 80-85% de la fracción volátil en cantidades de 700 – 900 ppm en cafés *arábicos* de tostado medio.

Vitzthum y *col.* (1990), identificaron un compuesto clave en el aroma del café *Robusta*, un derivado terpénico bicíclico: 2-metilsoborneol (MIB). Este compuesto constituye el elemento responsable del olor a tierra y moho, en estos tipos de cafés. Para su identificación emplearon la cromatografía de gases con detección por olfateo y la espectrometría de masas (GC/O-MS).

Usando una técnica extractiva simultánea de destilación/extracción, Holscher y *col.* (1992), aislaron y luego identificaron por técnicas cromatográficas tres compuestos del sabor en café *arábico* tostado. Éstos contenían odorantes azufrados (3-metil-2-buten-1-tiol, 3-mercapto-3-metilbutanol y 3-mercapto-3-metilbutilformato).

Los resultados por medio de la técnica del modelo de reacciones, indicaron que el precursor de estos constituyentes volátiles fue el 3-metil-2-buten-1-ol llamado también prenil alcohol, compuesto encontrado en café tostado en el año 1967 por Bondarovich y *col.*

Bicchi y *col.* (2002), mediante el uso del método combinado “Headspace, Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography” (HS-SPME-GC), identificaron 36 compuestos volátiles en una mezcla 50/50 de café *arábico* y café *robusta*.

Czerny y Mayer (1999), investigaron que durante el tostado, el olor del grano verde en una muestra de café *arábico* procedente de Colombia, producía un aroma agradable. Los resultados de su estudio mostraron que los odorantes claves, en el caso de un tostado medio en el café *arábico* eran el 2-furfuriltiol, 4-vinilguaiacol, varias alquilpirazinas, furanonas, acetaldehído, y propanol.

En contraste, otros compuestos azufrados como el 3-metil-2-buten-1-tiol y el 3-mercapto-3-metilbutilformato tenían una limitada influencia en el aroma de este café.

Mayer y *col.* (1999), cuantificaron 28 odorantes potentes en cafés *arábicos* de diferentes procedencias y grados de tostado. Las concentraciones de los compuestos: 2,3-butanodiona; 2,3 pentanodiona, 3-isobutil-2-metoxipirazina; 4-hidroxi-2,5-

dimetil-3(2H) furanona, 4-vinil- y 4-etilguaiacol; 2-furfuriltiol, 3-mercapto-3-metilbutilformato y 3-metil-2-buten-1-tiol cambiaron en los cafés obtenidos de las diferentes procedencias (Colombia, El Salvador, Kenia y Brasil).

También reportaron que los diferentes grados de tostado (suave, mediano, fuerte) influyeron en las concentraciones de los compuestos aromáticos: propanol, 2(5) – etil – 4 – hidroxil – 5(2) - metil-3(2H) furanona, guayacol, 4-etilguayacol, 2-furfuriltiol, 3-metil-2-buten-1-tiol y metanotiol.

En el 2000, Czerny y Grosch, evaluaron mediante el análisis de dilución del extracto del aroma (AEDA, por sus siglas en inglés) los potentes odorantes presentes en grano verde y sus cambios durante el tostado en una muestra de café *arábico var. Típica*, procedente de Colombia.

Los autores encontraron que el compuesto 3-isobutil-2-metoxipirazina era el responsable del olor desagradable en los granos de café verde. Este compuesto no presentó cambio en su concentración después del tostado, en comparación con otros compuestos que aumentaron luego de esta etapa. Asimismo, por primera vez fue identificado el 2-metoxi-3,5dimetilpirazina, como un compuesto activo del aroma del café crudo y del tostado.

Mayer y *col.* (2000), cuantificaron 25 compuestos odorantes en muestras de café *arábico* procedente de Colombia, a un tostado medio, además de la cuantificación en su correspondiente bebida.

Sanz y *col.* (2001), identificaron 122 compuestos volátiles presentes en el café *arábico* tostado, entre los que se incluyen 26 furanos, 20 cetonas, 20 pirazinas, 9 alcoholes, 9 aldehídos, 8 esterés, 6 pirroles, 6 tiofenos, 4 compuestos azufrados, 3 compuestos bencénicos, 2 compuestos fenólicos, 2 piridinas, 2 tiazoles, 1 oxazol, 1 lactona, 1 alcano, 1 alqueno y 1 ácido, mediante el uso de la técnica de extracción del espacio de cabeza o “Headspace” estático acoplado GC/MS.

Otro estudio fue realizado por Sanz y *col.* (2002), donde identificaron 146 compuestos volátiles presentes en mezclas de cafés *arábicos* (A) y *robustas* (R) a diferentes proporciones, así como sus diferencias sensoriales.

Estos autores encontraron una gran cantidad de compuestos azufrados en la mezcla A20:R80, mientras que los furanos, aldehídos (derivados de la reacción de Strecker), α -dicarbonilos y pirazinas fueron más abundantes en la mezcla A80:R20.

Schenker y *col.* (2002), caracterizaron por cromatografía de gases, espectrometría de masas y olfatometría los componentes del aroma de una muestra de café *arábico* procedente de Colombia, usando seis diferentes procesos de tostados a temperaturas semejantes. Durante el tostado, bajo los procesos isotermales de alta temperatura y tiempo corto y baja temperatura y tiempo largo de tostado, se lograron caracterizar 42 compuestos.

Risticovic y *col.* (2008), utilizaron la misma técnica con muestras de café *arábico* de Brasil y Colombia, pero con un tostado medio, logrando encontrar unos 102 compuestos volátiles.

Franca y *col.* (2009), reportaron que en sus investigaciones lograron identificar en café tostado 21 compuestos que aún no habían sido reportados por otros autores hasta la fecha.

Algunos Compuestos Volátiles y su Potencia Aromáticos

En la cuadro 1.6 se muestra un resumen de algunos precursores, las reacciones y algunos compuestos volátiles que se desarrollan durante el proceso de tostado.

En la misma se puede apreciar que la trigonelina sufre un proceso de degradación térmica y da origen a pirroles y piridinas, sin embargo, a través de la misma reacción los carbohidratos en combinación con azúcares desarrollan furanos y ácidos carboxílicos, estos últimos se pueden desarrollar también a partir de los esterés; las proteínas en combinación con los aminoácidos originan los oxazoles.

Los carbohidratos y las proteínas a través de las reacciones de Maillard tienden a desarrollar piridinas, pirroles, pirazinas y tiazoles. Las cetonas son originadas a partir de los carbohidratos a través de una reacción de pirolisis, y esta reacción también forman piridinas, pirroles, pirazinas y aldehídos, tomando como precursor las

proteínas, así mismo se pueden observar otras reacciones, precursores y compuestos volátiles.

Cuadro 1.6. Precursores, Reacciones, Familia de Compuestos e Impresión del Aroma

Precursor	Reacción	Familia de Compuestos	Impresión del Aroma
Cafeína	Degradación térmica	Aminas	Pescado
Trigonelina	Degradación térmica	Pirroles	Cereal, aceite, medicina
		Piridinas	Amargo, tostado, caramelo, manteca
Ácido Clorogénico	Degradación térmica	Fenoles	Medicina, clavo (especie)
		Cetonas	Manteca, fruta, caramelo
		Aldehídos	Malta, papa cocida, manteca, miel, frutas, flores
Lípidos	Degradación Oxidativa	Alcohol	Florado
	Degradación térmica	Láctanos	Frutados
Esteres	Degradación térmica	Ácidos carboxílicos	Olor a vinagre
	Degradación directa (Cisteína, cistina y metionina)	Compuestos sulfurados	Café tostado, cebolla, caramelo, vegetales verdes, nuez, cereal.
Aminoácidos	Degradación Oxidativa	Aldehídos	Malta, papa cocida, manteca, miel, frutas, flores
	Interacción con azúcares reductores	Compuestos sulfurados	Café tostado, cebolla, caramelo, vegetales verdes, nuez, cereal.

Fuente: Adaptado por el Autor de: Ribeiro y col., (2009); Illy y Viani (1995); Dark y Nursten (1985).

(Cont. Cuadro 1.6)

Precursor	Reacción	Familia de Compuestos	Impresión del Aroma
Aminoácidos + Proteínas	Pirolisis / Degradación de Strecker	Piridinas	Amargo, tostado, caramelo, manteca
		Pirroles	Cereal, aceite, medicina
		Pirazinas	Maíz dulce, amargo, maní tostado, tierra, guisantes verdes.
		Aldehídos	Malta, papa cocida, manteca, miel, frutas, flores
Proteínas	Degradación térmica	Oxazoles	Avellana
		Piridinas	Amargo, tostado, caramelo, manteca
		Pirroles	Cereal, aceite, medicina
		Pirazinas	Maíz dulce, amargo, maní tostado, tierra, guisantes verdes
Proteínas + Azúcar	Maillard	Tiazoles	Cebolla, caramelo, vegetales verdes, nuez, cereal
			Carne asada, caramelo, almendra dulce, algunas notas amargas
Azúcar + Carbohidratos	Degradación térmica	Furanos	Olor a vinagre
		Ácidos Carboxílicos	Manteca, fruta, caramelo
Carbohidratos	Pirolisis	Cetonas	Manteca, fruta, caramelo
Carotenoides	Degradación térmica	Cetonas Alcohol	Florado

Fuente: Adaptado por el Autor de: Ribeiro y col., (2009); Illy y Viani (1995); Dark y Nursten (1985).

Un listado de 63 compuestos volátiles y su asociación con la calidad sensorial, se puede apreciar en el cuadro 1.7. Se han reportado compuestos como el oxazol 2, 4,5-trimetil-1,3-oxazol, el cual tiene asociación con el caldo de pollo, carne humedad, verde, madera y frutos secos. El pirrol 1, 2,5-Trimethylpyrrole tiende a tener un aroma dulce y ligeramente quemada. La pirazina 2,3-Dimetil-pirazina se asocia a aromas terroso, ahumado, desagradable, Nutty de cacao, verde, mohoso, asado y tostado fuerte.

Cuadro 1.7. Algunos compuestos volátiles y su asociación con la calidad sensorial.

Nº	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.	
1	2,3-Pentanodiona	Dulce, mantequilla, Leche *	Productos lácteos de mantequilla, fermentada, crema, dulce **
2	3-Metil-etil-butanoato		Fuerte sabor a fruta, manzana.**
3	3-Metil-1-butanol formiato	Sabor a fruta *	Ciruela dulce, afrutado, manzana**
4	Hexanal	Frijol Grassy en bruto*	Graso, hierba verde***
5	(E)-2-metil-2-butenal	Desagradable, picante *	Carnoso, almendra **
6	2,3-Heptanedione	Químico *	Queso, picante, dulce, mantequilla **
7	3-Heptanona		Sabor a fruta, verde, dulce, graso**
8	2,5-dimetil-tiofeno		Nutty, sulfuroso de alta resistencia ***
9	5-Hexen-2-ona	Té seco, pétalos de flores seca *	Olor débil, etérea, con una ligera nota floral***

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001.

Cuadro 1.7. (cont.)

N°	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.	
10	2,4,5-Trimetil-1,3-oxazol	Caldo de pollo, carne *	Humedad, verde, madera, frutos secos.**
11	4-Penten-1-il acetato		Sabor a fruta, verde, plástico, vegetal (maleza), la carne cocido**
12	2,3-Dimetil-tiofeno	Química terroso, picante, de plástico *	
13	3-Metil-1-butanol		Aceite de fusel, whisky, picante ***
14	Pirazina		Fuerte, espinacas, cocido, rancio cacahuets***
15	2 - (Metoximetil)-furano	Quemado, química picante *	Café tostado medio **
16	1,2,5-Trimethylpyrrole		Aroma dulce, ligeramente quemada.***
17	2-Metil-5-propenylfuran	Afrutado, dulce *	
18	Octanal		Naranja, miel, aldehído**
19	1-Hidroxi-2-propanona	Hongos *	Dulce y picante, dulce de leche, etérea**
20	(Z)-3-Hepten-2-ona		Hierba Verde, picante, queso, madera **

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001.

Cuadro 1.7. (cont.)

N°	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.
21	2-Hexanol	Herbácea, coliflor picante **
22	2,4-Dimetil-tiazol	Salada, sulfurosa, quemado, Caucho *
23	(Z)-2-Penten-1-ol	Verde, frutado, etérea **
24	3-Hidroxi-2-pentanona	Terroso, envejecido *
25	2,3-Dimetil-pirazina	Nutty, de cacao, como, verde, mohoso, café con tostado alto**
26	Trisulfuro de dimetilo	Cebolla, sulfuroso, carnoso **
27	2-Etil-5-metil-pirazina	Caucho, humo, química, cebolla grasiento *
28	2 - (n-propil)-Pirazina	Caldoso, sulfuroso, humo, Frijol *
29	(Z)-2-Octenal	Frijol Verde *
30	5-Metil-2 (3H)-furanona	Terrosa, patata cruda, nuez, moho *
31	Tetrahydro-2-furanometanol	Dulce de leche, café, nuez***

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001

Cuadro 1.7. (cont.)

N°	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.
32	5-Etil-4-metil-tiazol	Quemado, metálico aliáceas,**
33	Etenil-pirazina	Verde, nuez quemada ***
34	Cis-linalol óxido	Terroso, floral, amaderado dulce**
35	El ácido acético	Fuerte vinagre picante ***
36	1-Octen-3-ol	Salados, carne caldoso * Tierra herbácea, verde, vegetal, caldoso ***
37	2,3-Dimetil-5-ethylpyrazine	Papa, tostado, terroso ***
38	2-Furancarboxaldehyde	Guisantes cocidos, productos químicos, Ahumado * Woody dulce, a pan, nuez, caramelo, quemado***
39	Furfurílico sulfuro de metilo	Quemado, cocido sulfuroso, col, cebolla * Picante, cebolla, ajo, rábano, mostaza, fuerte a azufre***
40	2-Etenil-6-metil-pirazina	Fresco como una avellana **
41	3,5-Dietil-2-metil-pirazina	Terroso, de nuez, de goma, Desagradable * Nutty, vegetal carnosos***
42	Pirrol	Acido, química * Cloroformo***
43	Benzaldehído	Almendra amarga, dulce, aceite, nuez cereza***

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001

Cuadro 1.7. (cont.)

N°	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.	
44	3-Mercapto-3-metilbutil formiato	Verde, chile, herbácea, pimiento, tostado *	Hierbas, tostado, fruta***
45	Dihidro-2-metil-3 (2H) - tiofenona		Picante, aliáceas, café, gasolina ***
46	2-Metoxi-3-(2-metilpropil) - pirazina		Pimiento verde, guisante verde ***
47	1 - (2-furil)-2-Propanona		Rábano, fuerte olor a picante**
48	2,3-Dimetil-2-ciclopenten-1-uno	Picante, terroso *	Moho, sucio, débil***
49	(Z)-2-Nonenal		Grasa, cerosa, pepino **
50	2-Etil-6-vinylpyrazine		Mantequilla, papa al horno**
51	Metil 2-furoato	Metal, agrio, Tamarindo *	Sabor a fruta, hongos, tabaco, dulces, fruta ácida***
52	5-Metil-2-furanmethanethiol		Cebolla quemada, metálico, sulfuroso*
53	1-Etil-1H-pirrol-2-Carboxaldehído	Té seco *	Quemado, tostado **
54	2-Furfurylfuran		Tierra**
55	1-Metil-1H-pirrol-2-Carboxaldehído		Química, galletas, palomitas de maíz **
56	2-Metil-benzaldehído	Arveja fresca *	Sabor a fruta, cereza**
57	5-Metil-6,7-dihidro-(5H) - ciclopentapirazina		Terroso, maní, granulado, maíz, carnoso***

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001

Cuadro 1.7. (cont.)

N°	Compuestos Volátiles	Calidad Sensorial.
58	2-Acetil-5-metilfurano	Fuerte aroma a nuez, cacao, como el pan tostado***
59	Benzoato de metilo	Sabor a fruta, fenólicos, cereza, alcanforado***
60	Ácido Butanoico	Manteca vieja, basura, Desagradable * Mantequilla, ácido, amargo, queso***
61	3-Mercapto-3-metil-1-butanol	Carnoso, caldoso de pollo * Asado, vegetales, picante, dulce, carne**
62	2-furanometanol	Quemada, desagradable, Sudoroso * Grasa, azúcar quemado, cocido, dulce de leche ***
63	3-metil-butanoico	Queso, penetrante ***

Fuente: *Chin, 2011.; **Flament, 2002.; ***Fenaroli, 2001

CAPÍTULO 2

Materiales y Métodos para determinación de Compuestos Volátiles y No Volátiles en Café

Materia prima

La materia prima para la realización del presente trabajo fue café *arábico* pergamino donado por caficultores de la cooperativa grano de oro del municipio Sucre del Estado Portuguesa, Venezuela.

Preparación de la muestra

El café pergamino fue trasladado hasta las instalaciones del laboratorio de calidad del café del Centro de Investigaciones Agrícolas para el Desarrollo (CIRAD), Montpellier Francia, donde se le realizó un despergaminado para la obtención de café verde.

Plan de muestreo y análisis estadístico.

Se tomaron treinta y cinco (35) muestras de café, de distintos productores de la cooperativa grano de oro del municipio Sucre del Estado Portuguesa, lo que permitió realizar la caracterización del café de la zona. Luego se tomaron doce (12) muestras por cada tipo de beneficio, se trabajó con café *arábico* cultivado en altitudes menores a 1152 msnm, entre 1152 y 1370 msnm y mayores a 1307 msnm., los cuales tuvieron un procesamiento postcosecha por vía húmeda y secados al sol. Para cada una de las altitudes se tomaron diez (10) muestras.

Las muestras utilizadas fueron café *arábico* de las variedades, *Catuai amarillo*, *Caturra* y *Typica*, los cuales tuvieron un procesamiento postcosecha de vía húmeda

secados al sol y cultivados a una altitud de 1200 msnm. Se tomaron tres (3) muestras de cada variedad.

Se utilizaron 300 gramos de café verde por muestra para las cuatro primeras fases de la experimentación, la cual se dividió en dos lotes; un primer lote representado en unos de 100 gramos de café verde y el segundo lote de 200 gramos de café verde aplicando una intensidad de tostado medio para obtener el café tostado.

El café verde se molió con la ayuda de nitrógeno líquido (para evitar el calentamiento de las muestra y evitar la degradación de los compuestos a ser analizados) para la obtención del café verde molido, a partir del cual se realizaron las determinaciones de los compuestos no volátiles (contenido de humedad, materia grasa, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos (C3Q, C5Q, C4Q, F5Q, DIC34Q, DIC45Q Y DIC35Q) y azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa)) y los compuestos volátiles presentes en el café verde. El café tostado fue dividido en dos sub-lotes destinados a la realización de las evaluaciones sensoriales.

Con café *arábico* cosechado a una altitud de 1200 msnm con un proceso de postcosecha por vía húmeda y secado al sol, se tomaron muestras de 1000 gramos, éste se despergaminó, para obtener el café verde y posteriormente se dividió en cuatro lotes, tres de 300 gramos cada uno y un cuarto lote de 100 gramos.

Un lote de 100 gramos de café verde se molió con la ayuda de nitrógeno líquido para la obtención del café verde molido, a partir del cual se realizaron las determinaciones de los compuestos no volátiles (contenido de humedad, materia grasa, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos (C3Q, C5Q, C4Q, F5Q, DIC34Q, DIC45Q Y DIC35Q) y azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa)) y los compuestos volátiles presentes en el café verde.

Lotes de 300 gramos de café verde, fueron sometidos a tres intensidades de tostado, un lote con tostado suave, un segundo lote con tostado medio y un tercer lote con tostado fuerte. Posteriormente cada lote se molió para obtener el café molido.

Cada lote se dividió en dos sub-lotes, uno de 100 gramos para ser destinado a la determinación de los compuestos no volátiles (contenido de humedad, materia grasa, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos (C3Q, C5Q, C4Q, F5Q, DIC34Q, DIC45Q Y DIC35Q) y azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa)) y los compuestos volátiles presentes en el café tostado, los restantes 200 gramos de café tostado fueron destinados a la realización de las evaluaciones sensoriales.

Los datos de los compuestos volátiles, no volátiles y sensoriales fueron analizados mediante métodos estadísticos inferenciales: Prueba de Shapiro-Wilk (previa conformación de la normalidad de los datos aplicando la prueba de) y t-student y análisis de varianza. De encontrarse diferencia significativa en el análisis de varianza, se aplicará una prueba de Tukey, para encontrar la o las muestras diferentes (Montgomery, 1991). Así mismo se realizaron análisis en componente principal y análisis de correlación. En los resultados de los compuestos volátiles se realizó una tabla de evolución y/estabilidad del compuesto o familias de compuestos presente en el café verde y en el tostado y para el análisis de los datos sensoriales se aplicó un análisis descriptivo cuantitativo.

Métodos

Compuesto no volátiles:

Determinación del contenido de humedad: se determinó por el método descrito en la norma ISO 1446.

Determinación del contenido de cafeína: La cuantificación de la cafeína se realizó por el método de la ISO 10095:1992. La cafeína se extrajo del hipocotilo del café con agua a 90 ° C como mínimo y mediante la adición de óxido de magnesio. La cafeína se separó y se identificó mediante HPLC y se cuantificó mediante un detector ultravioleta ($\lambda = 278$ nm para la cafeína). Los resultados se expresaron en g 100 g⁻¹ de materia seca (MS).

Determinación del contenido de materia grasa: se utilizó la metodología para la determinación de materia grasa en el café del CIRAD, Ref: CIR/CP:005, Versión 01, (2006). Las grasas se extrajeron del café verde con éter de petróleo 40/60 a 130 ° C usando el "Soxtec."

Determinación del contenido de polisacáridos: estos fueron determinados a través de la metodología desarrollada por el CIRAD, Ref: CIR/CP: 003, Versión 01, (2005), referente a la determinación de polisacáridos en los granos de café. Los polisacáridos se extrajeron del café con agua a 90 ° C como mínimo. Estos se separaron y se identificaron mediante HPLC y se cuantificaron mediante un detector electroquímico con un electrodo de oro. Se cuantificaron la glucosa, fructosa y sacarosa.

Determinación del contenido de ácidos clorogénicos: La cuantificación de los ácidos clorogénico se realizó siguiendo la metodología propuesta por Ky y *col.* (1997). Los ácidos clorogénicos fueron extraídos del hipocotilos del café por alcohol metílico / agua en 70% p / p, solución acidificada. Las soluciones se separaron e identificaron por HPLC y se cuantificaron por UV detector ($\lambda = 327$ nm para los ácidos clorogénicos). Los resultados se expresaron en g 100 g-1 materia seca (MS).

Determinación del contenido de trigonelina: se utilizó la metodología para la determinación de trigonelina en café propuesta por el CIRAD, Ref: CIR/CP:005, Versión 01, (2003). La trigonelina se extrajo del café con agua a 90 ° C como mínimo con la ayuda de la adición de óxido de magnesio, para facilitar su extracción. La trigonelina se separó e identificó por HPLC y se cuantificó mediante detector ultravioleta.

Compuestos Volátiles: La extracción de los compuestos volátiles en el café verde y café tostado se realizó por Headspace-SPME (Bertrand y *col.*, 2012).

La muestra de café se molió y se dejó reposar a temperatura ambiente por 90 minutos antes de tomar la muestra. Se tomaron 2 gramos de café molido y se colocaron en un recipiente de vidrio de 2 ml, el cual se selló herméticamente,

quedando 1/3 del frasco como espacio de cabeza. Posteriormente los frascos fueron colocados en un horno regulador de temperatura a 50 ° C por un tiempo de 15 minutos, para obtener la temperatura de equilibrio.

Los compuestos volátiles se extrajeron mediante la colocación de una fibra de SPME, en contacto con el espacio de cabeza durante 45 minutos a temperatura de equilibrio. Para la desorción de los compuestos, la fibra se colocó en el cromatógrafo de gases (GC) y se calentó hasta 250 ° C durante 4 minutos.

Se utilizó la fibra SPME A CAR/PDMS (Carboxen / Polidimetilsiloxano, 75 µm), la cual se usó por su afinidad con todas las clases de compuestos volátiles y ha sido previamente documentada en investigaciones anteriores sobre extracción de compuestos volátiles en café (Akiyama y *col.*, 2003; Bicchi, y *col.*, 2002; Roberts y *col.*, 2000).

Los extractos de café SPME se analizaron en un aparato GC- Espectroscopia de Masa (GC-MS) (HP-6890A GC conectado a un MS HP-5973N) equipado con una columna capilar DB-WAX (60 m x 0,32 mm, con 0,25 µm (J & W Scientific)).

La inyección del gas se realizó en splitless por 4 min a 250 ° C en el acople de SPME Supelco específico de 0,75 mm i.d. Se utilizó como gas portador el helio, a una tasa de flujo de 1,5 ml / min. Los rangos de temperatura en el horno se programaron desde 50 a 200 ° C en 3 ° C / min, seguido por un aumento desde 170 hasta 250 ° C en 8 ° C / min.

El método de ionización de impacto electrónico utilizó una energía de ionización de 70 eV. El rango para el escaneado de masas fue de 40 a 300 amu a una velocidad de barrido de 5,36 exploraciones / segundos. La temperatura de la línea de transferencia fue de 260 ° C.

Los compuestos volátiles del espacio de cabeza fueron identificados por comparación de sus índices de retención relativos y sus espectros de masas con los de la base de datos (Wiley datos espectrales de masa).

Calidad Sensorial

La bebida de café se elaboró con 50 gramos de café tostado en 1 litro de agua a 90 ° C durante 5 min. La calidad de la taza de las muestras de café se evaluarán dos veces por 12 expertos catadores del CIRAD, utilizando 10 descriptores sensoriales: Intensidad del olor, calidad aromática, cuerpo, amargo, astringente, agrio, frutado, áspero, verde y calidad global. La puntuación se realizó en una escala estructurada de 0 a 10, donde una puntuación de 0 corresponde a la ausencia total del descriptor en el café.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descriptorios sensoriales del café *arábico* del municipio Sucre, estado Portuguesa que definen su calidad sensorial

Los descriptorios sensoriales evaluados se obtuvieron a través un panel de evaluación sensorial entrenado, se emplearon treinta y cinco (35) muestras en el estudio.

El promedio de los resultados obtenidos de los descriptorios sensoriales del café *arábico* del municipio sucre, estado portuguesa se muestran en el cuadro 2.1. En el mismo se puede apreciar que los descriptorios más resaltantes fueron la intensidad del olor (5,133), cuerpo (4,610), calidad global (4,607) y amargo (4,343); así mismo se observa que el descriptor astringente y frutado tuvieron una valoración por el panel sensorial de 2,293 y 1,264, respectivamente.

Los resultados encontrados coinciden con los de Bertrand y *col.* (2012); Geel y *col.*, (2005) ; Barrios y *col.*, (1998) ; CCI, (1992); Brownbridge y Gebreigzabhair, (1968), los cuales reportaron que entre las características organolépticas más importantes se encuentran: aroma, cuerpo, acidez, amargo, astringencia, sabor y apreciación global.

Investigaciones realizadas por Salazar y *col.* (2013), encontraron que en los cafés de la parroquia Biscucuy del estado Portuguesa, los descriptorios sensoriales más importantes fueron el cuerpo, la acidez y la calidad global. Para muestras de la misma localidad, Aguilar y *col.* (2012), reportaron que se definen por un equilibrio entre a acidez y el amargo, percibiendo una nota de frutado en las muestras analizadas.

El perfil sensorial de las muestras analizadas del café *arábico* del municipio sucre, estado portuguesa se aprecia en la Figura 3.1. En la misma se puede observar que los descriptores agrio y verde son los menos importantes de las notas sensoriales estudiadas, así como la relevancia de los descriptores cuerpo, intensidad del olor y calidad global.

Cuadro 3.1. Descriptores sensoriales del café *arábico* del municipio sucre estado Portuguesa

Descriptor	Puntaje
Intensidad del olor	5,133
Cuerpo	4,610
Amargo	4,343
Astringencia	2,293
Agrio	0,464
Frutado	1,264
Áspero	0,886
Verde	0,869
Calidad global	4,607

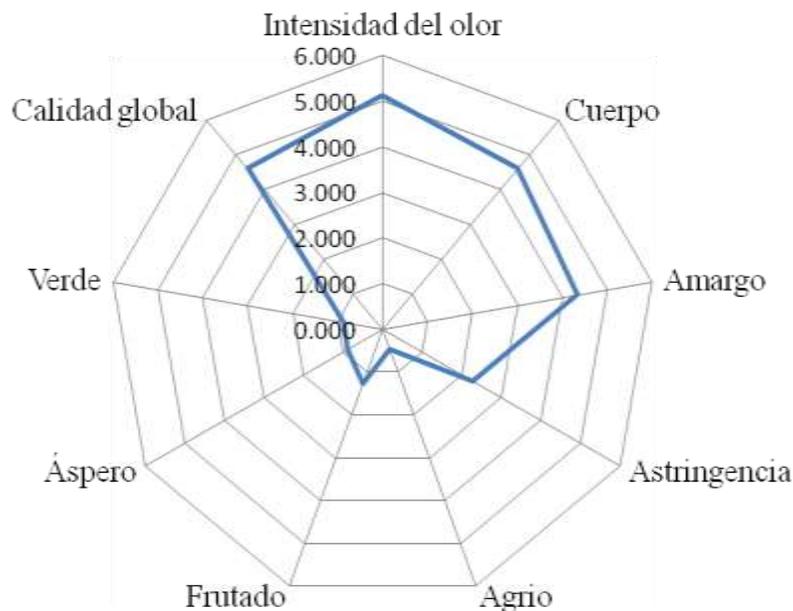


Figura 3.1. Perfil sensorial del café *arábico* del municipio sucre estado portuguesa

Compuestos no volátiles presentes en el café *arábico* del municipio Sucre, estado Portuguesa, Venezuela

El cuadro 3.2, se muestra el promedio de los resultados obtenidos de la cuantificación de los compuestos no volátiles presentes en el café *arábico* del municipio sucre, estado portuguesa, para las treinta y cinco (35) muestras estudiadas (Anexo B). Los mismos revelaron los siguientes porcentajes: 14,60 % de grasa, 1,143 % de cafeína, 0,276 % de glucosa, 0,080 de fructosa, 9,186 de sacarosa, 9,084 de ácido clorogénico y 1,009 de trigonelina.

Los resultados de cafeína y trigonelina son semejantes a los reportados por Ky y *col.* (2001), quienes encontraron valores de cafeína y trigonelina de 1,2 % y 1,19% para muestras de café *arábico* de Etiopía. Para cafés de Costa Rica, Vaast y *col.* (2005), reportaron valores de 1,48 % de cafeína y 0,99 % de trigonelina, Avelino y *col.* (2005), reportaron porcentajes de 1,2 y 0,72 para la cafeína y trigonelina, respectivamente. Bertrand y *col.* (2006), reportaron valores más bajos entre 0,75 y 0,89 % de trigonelina y 1,1 y 1,26 % para la cafeína.

En otros países centroamericanos se han reportados valores entre 1,32 y 1,87 % de cafeína y 1,09 y 2,03 % de trigonelina, en café de Honduras (Rojas, 2009). Bertrand y *col.* (2006), en café de El Salvador y Honduras reportaron que estos valores podrían encontrarse entre 0,88 y 0,97 % para la trigonelina y 1,1 y 1,2 % para la cafeína. Para República Dominicana Escarramán y *col.* (2007), encontraron valores entre 1,2 y 1,4 %, reportaron valores para la cafeína y la trigonelina alrededor de 1%. Estos valores se asemejan a los reportados por Vaast y *col.* (2005) para cafés de Nicaragua, encontrando un porcentaje de cafeína de 1,31 y 0,92 % para la trigonelina.

En Suramérica podemos encontrar referencia de estos valores, como los reportados por Franca y *col.* (2005) en cafés *arábicos* del Brasil, donde reportaron un

1,07 % de cafeína y 0,64 % de trigonelina. Salazar y *col.* (2012a), reportan valores de 0,8 % y 0,9 % para la trigonelina y la cafeína, respectivamente, en muestras de café *arábico* Venezolano. Sin embargo, en otra investigación con muestras de café del mismo país, estos valores fueron más elevados, 1,04 y 1,33 porcientos, en trigonelina y cafeína, respectivamente (Salazar y *col.*, 2012b).

Así mismo, se puede mencionar que los valores de materia grasas encontrados en el estudio, coinciden con los reportados para los cafés *arábicos* de Costa Rica, donde el contenido de grasa fue alrededor de 13,1 % (Vaast y *col.* (2005), Avelino y *col.*, (2005), reportaron valores de 14,39 %, cercanos a los comentados por Bertrand (2006), el cual reportó valores de grasa entre 14 y 15,7 %.

Un rango de grasa entre 13,4 y 15,1 % se encontró para los café *arábicos* Dominicanos (Escarramán y *col.*, 2007); pero para los *arábicos* Nicaragüenses se reportaron menores contenidos, alrededor de 11,9 % (Vaast y *col.*, 2005), al igual que los de Honduras cuyo contenido de grasa oscila en un rango de 5,05 y 7,57 % (Rojas, 2009). Para muestras de café verde de Venezuela, se han reportados valores de 12,72 % (Salazar y *col.*, 2012a) y 11,71 % (Salazar y *col.*, 2012b).

El contenido de ácido clorogénico de los cafés *arábicos* estudiados, es más elevado que el reportado por Ky y *col.* (2001) para el café *arábico* de Etiopía y Costa de Marfil, en el cual encontraron un 3,9 %, así como el reportado por Rojas (2009) en Honduras de 2,55 y 3,92 % y los documentados por Franca y *col.* (2005) en Brasil, cercano a 2,39 %. Sin embargo, los resultados encontrados en esta investigación, coinciden con los reportados por Bertrand (2006) en cafés *arábicos* de Costa Rica (entre 7,6 y 8,2 %), Escarramán y *col.* (2007) en café *arábicos* de Dominicana (entre 8,5 y 8,8 %), Vaast y *col.* (2005), en Nicaragua (cercano a los 8,93 %), Bertrand (2003) en Brasil (entre 7,06 y 8,34 %) y Salazar (2013) en los *arábicos* Venezolanos (7,78 %).

El contenido de sacarosa, glucosa y fructosa, encontrados en esta investigación están cercanos a los reportados por Salazar y *col.* (2012a) en cafés venezolanos, en los

cuales los autores reportaron valores de sacarosa de 7,1 %, glucosa 0,08 % y fructosa 0,05 %.

Cuadro 3.2. Compuestos no volátiles presentes en el café *arábico* del municipio sucre estado Portuguesa.

Compuesto No Volátil	Porcentaje (%) en base de materia seca
Grasa	14,600
Cafeína	1,143
Glucosa	0,276
Fructosa	0,080
Sacarosa	9,186
Ácido clorogénico	9,084
Trigonelina	1,009

Relación de los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial con los compuestos no volátiles presentes en el café *arábico* del municipio Sucre, estado Portuguesa

La matriz de correlación entre los compuestos bioquímicos y los descriptores sensoriales se muestran en el cuadro 3.2, así como la correlación interna de los descriptores sensoriales y de los compuestos bioquímicos.

Entre los descriptores sensoriales se puede apreciar una correlación positiva (significativa) entre el amargo y el cuerpo ($r= 0,58$), la astringencia con el cuerpo ($r= 0,82$), el frutado con la calidad global ($r= 0,43$), así como áspero con cuerpo ($r= 0,72$), la intensidad del olor con: cuerpo ($r= 0,36$); astringencia ($r= 0,48$); áspero ($r= 0,41$) y con el verde ($r= 0,38$). El cuerpo con el verde ($r= 0,36$), el amargo con: astringente ($r= 0,48$) y áspero ($r= 0,68$). Así como el astringente con: áspero ($r= 0,72$) y verde ($r= 0,56$).

También se puede mencionar que existe una tendencia (significativa) a que la calidad global tiende a disminuir con el amargo ($r= -0,49$), agrio ($r= -0,35$) y el áspero

($r = -0,46$). El cuerpo con el agrio ($r = -0,35$), el frutado con: amargo ($r = -0,47$) y áspero ($r = -0,37$).

Al observar las correlaciones internas de los compuesto bioquímicos, se puede apreciar una correlación positiva (significativa) entre la trigonelina con el ácido clorogénico ($r = 0,45$) y la sacarosa ($r = 0,50$), así como la glucosa con la fructosa ($r = 0,65$) y sacarosa ($r = 0,61$), y la fructosa con sacarosa ($r = 0,61$).

Ahora bien, entre los descriptores sensoriales y los compuesto bioquímicos se aprecia que la intensidad del olor está asociada con la glucosa ($r = 0,47$) y sacarosa ($r = 0,44$), la sacarosa con: cuerpo ($r = 0,64$); astringencia ($r = 0,79$); áspero ($r = 0,46$) y verde ($r = 0,53$). El cuerpo con la trigonelina ($r = 0,40$) y fructosa ($r = 0,33$). La astringencia con la trigonelina ($r = 0,53$) y el verde con la trigonelina ($r = 0,47$). El ácido clorogénico tiende a estar correlacionado negativamente con el frutado ($r = -0,42$). Todas las demás correlaciones son significativas.

Estas correlaciones permiten comentar la importancia que tienen los azúcares, y en especial la sacarosa, sobre los descriptores sensoriales intensidad del olor, verde, cuerpo, astringencia y áspero, además de apreciar como la glucosa fue el compuesto bioquímico más importante para la intensidad del olor de la taza de café, así como la trigonelina para los descriptores sensoriales cuerpo, astringente y verde. También se puede observar la disminución de un descriptor sensorial (frutado) por parte de un compuesto no volátil (ácido clorogénico).

Avelino y *col.* (2005), reportaron que no encontraron ninguna relación entre la cafeína con el amargo de la tazas de café, así como muy baja relación con los demás descriptores sensoriales estudiados para muestras de café de Costa Rica.

Algunos autores (Vaast y *col.*, 2003; Shankaranarayana y Abraham, 1986; Clifford, 1985), han reportado que los ácidos clorogénicos están asociados con el sabor amargo y astringente de la bebida de café, sin embargo, en el presente trabajo se encontró una relación muy baja entre este compuesto no volátil y los descriptores sensoriales

citados (ácidos clorogénicos y amargo ($r=0,04$); ácidos clorogénicos y astringente ($r=0,16$)). En un estudio realizado por Farah y col. (2006), reportaron que la calidad de la bebida del café presentó una correlación positiva con los niveles de los precursores del aroma como la trigonelina y el ácido clorogénico.

Lara (2005), reportó que la materia grasa presenta una correlación marcadamente con la producción de una bebida de calidad y esta influenció positivamente las características deseables de la bebida: aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia. Esta relación entre materia grasa y mejor calidad organoléptica ha sido encontrada en diferentes estudios (Franca y col 2005; Vaast y col. 2005; Decazy y col. 2003; Maeztu y col., 2001). Para Lara (2005) los ácidos clorogénicos están asociados a la producción de una bebida con mayor amargo y cuerpo, esta asociación entre amargo y ácidos clorogénicos ha sido documentada también por Vaast y col. (2005), Illy y Viani (1995).

El amargo se debe a que durante el proceso de tostado, los ácidos clorogénicos sufren un proceso de hidrólisis que libera residuos de ácidos quínicos y compuestos fenólicos. Dichos compuestos son precursores del amargo y astringencia de la bebida (Bertrand y col, 2003; Clifford, 2000).

Así mismo, Lara (2005), expresó que existe una fuerte relación entre la cafeína y amargo de la bebida. Relaciones similares son encontradas en datos publicados por Decazy y col. (2003). Illy y Viani (1995) mencionan que la cafeína se encuentra correlacionada con los ácidos clorogénicos al formar parte de un complejo de compuestos bioquímicos de mayor complejidad.

También, Lara (2005) comentó que la trigonelina se correlacionó negativamente con las variables organolépticas aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia. La sacarosa, se correlacionó negativamente con todos los compuestos bioquímicos analizados (cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, materia grasa y azúcares).

Cuadro 3.2. Análisis de Correlación de los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial con los compuestos no volátiles, presentes en el café *arábico* del municipio sucre, estado Portuguesa.

Variables	Intensidad del olor	Cuerpo	Amargo	Astringente	Agrio	Frutado	Áspero	Verde	Calidad global	Grasa	Cafeína	Trigonelina	Ácido clorogénico	Glucosa	Fructosa	Sacarosa
Intensidad del olor	1,00															
Cuerpo	0,36	1,00														
Amargo	0,06	0,58	1,00													
Astringente	0,48	0,82	0,48	1,00												
Agrio	-0,07	-0,35	-0,06	-0,29	1,00											
Frutado	0,19	-0,31	-0,47	-0,13	0,28	1,00										
Áspero	0,41	0,72	0,68	0,72	-0,26	-0,37	1,00									
Verde	0,38	0,36	0,05	0,56	-0,14	-0,04	0,25	1,00								
Calidad global	-0,02	-0,21	-0,49	-0,21	-0,35	0,43	-0,46	0,08	1,00							
Grasa	0,03	0,13	0,22	0,00	0,30	0,09	-0,01	-0,18	0,00	1,00						
Cafeína	-0,10	0,17	-0,24	-0,07	-0,17	0,06	-0,12	0,12	0,30	-0,18	1,00					
Trigonelina	0,07	0,40	0,10	0,53	-0,36	-0,32	0,30	0,47	0,07	-0,11	0,03	1,00				
Ácido clorogénico	-0,21	0,25	0,04	0,16	-0,21	-0,42	0,20	0,16	-0,06	0,01	0,17	0,45	1,00			
Glucosa	0,47	0,26	-0,07	0,33	0,02	0,15	0,12	0,30	0,16	0,01	0,11	0,05	-0,27	1,00		
Fructosa	0,19	0,33	0,17	0,30	-0,07	-0,13	0,15	0,12	0,11	0,16	0,10	0,03	-0,05	0,65	1,00	
Sacarosa	0,44	0,64	0,28	0,79	-0,18	-0,12	0,46	0,53	-0,02	-0,13	0,10	0,50	0,08	0,61	0,61	1,00

Los valores en rojo son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

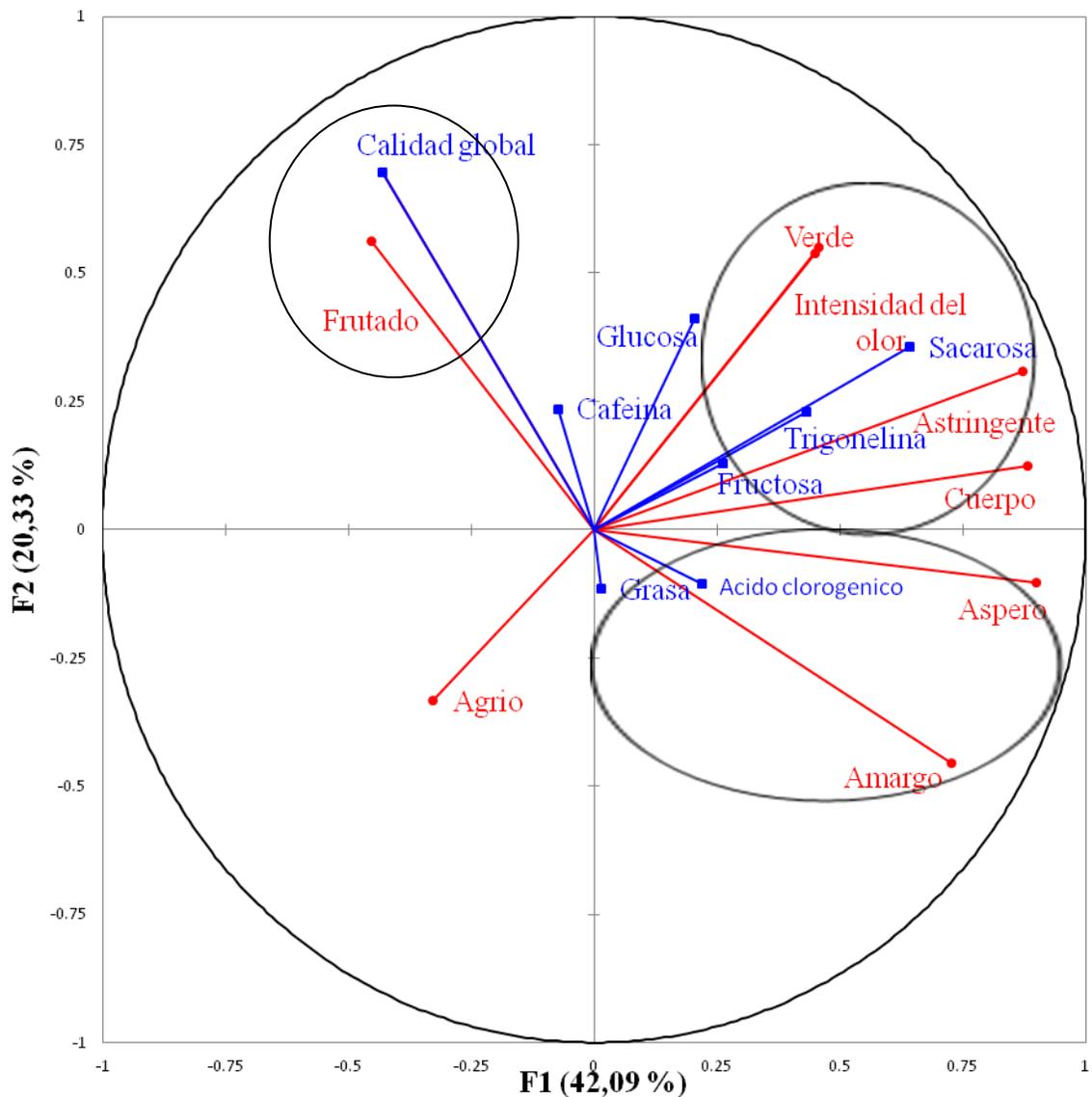


Figura 3.2. Análisis de componente principal (ACP) de los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial con los compuestos no volátiles, presentes en el café *arábico* del municipio sucre, estado Portuguesa.

El ACP de los compuestos bioquímicos y el análisis sensorial (Figura 3.2), muestran que la trigonelina y la sacarosa tienden a estar asociados a la intensidad del olor y la astringencia, así mismo se aprecia que el ácido clorogénico está asociado a lo áspero y amargo de la taza de café y que el descriptor sensorial frutado está asociado con la calidad global. El porcentaje de explicación de ACP es del 62,41, el

cual es un poco bajo debido a que los compuestos bioquímicos no se encuentran al mismo nivel en la gráfica que los descriptores sensoriales.

Beneficio del café por vía húmeda, secado al sol y vía seca y los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

El promedio de los resultados obtenidos a partir de las doce (12) muestras de cada beneficio estudiado C sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábicos* del municipio sucre del estado Portuguesa, se muestran en el cuadro 3.3, donde se aprecia que en el beneficio húmedo secado al sol resaltaron los descriptores intensidad del olor (5,12), calidad global (4,81), acidez (4,63), cuerpo (4,37) y amargo (4,32); al igual que en el beneficio por vía seco los descriptores intensidad del olor (4,76), calidad global (4,22), acidez (4,66), cuerpo (4,76) y amargo (4,39). En ambos beneficios se pudo apreciar notas frutadas en las muestras evaluadas. Se encontró diferencia significativa en los descriptores sensoriales intensidad del olor, cuerpo, amargo, frutado, áspero y calidad global ($p \leq 0,05$)

El perfil sensorial de las muestras evaluadas se presenta en la Figura 3.3, donde se observa la tendencia de los descriptores sensoriales según su beneficio. La intensidad del olor y la calidad global fueron los más resaltantes y en ambos beneficios se observó notas frutadas.

En los análisis de los perfiles sensoriales de cafés procesados por vía húmedo y por vía seca se encontró que los primeros eran más aromáticos con sabor a fruta y atributos ácidos y poseían menos amargo, quemado y notas de madera (Duarte y *col.*, 2010; Leloup y *col.*, 2004). González-Rios y *col.*, (2007), encontraron que el proceso de fermentación en el procesamiento por vía húmeda era el responsable de las

cualidades sensoriales superiores de los cafés procesados por esta vía en comparación con un manejo postcosecha por vía seca y que cuando se remueve el mucílago por métodos mecánicos los cafés tienden a presentar atributos desagradables como el amargo. Duicela y *col.* (2010), reportaron que hay diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los métodos de beneficio, las características organolépticas de los cafés beneficiados por la vía seca son estadísticamente significativamente menores que los métodos de beneficio húmedo, se impone las características organolépticas de los cafés beneficiados por el método húmedo sobre el seco.

El método por la vía húmeda presentó los mayores promedios para las características aroma, sabor, sabor residual, acidez y cuerpo. El café procesado por la vía seca, presentó los menores valores, considerándolos de inferior calidad en relación a los otros métodos de beneficio (Quiliguango, 2013).

Ormaza y Valeriano (2008), afirman que los métodos de beneficio de café influyeron sobre las características organolépticas como: aroma, sabor y cuerpo. Según Farfán (2000), los métodos de beneficio resultaron ser un factor determinante de las características aroma y sabor del café. Estos dos estudios concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación; destacando en todos los casos que el café beneficiado por la vía seca resulta de inferior calidad.

Estas diferencias en los atributos sensoriales podrían ser atribuidas al proceso de fermentación involucrada en la eliminación del mucílago durante el procesamiento húmedo. La relación entre la fermentación y los atributos sensoriales del café pueden ser descritas como delicada (Lee y *col.*, 2015). La fermentación, ocurrida en el procesamiento del café por vía humedad, puede impartir atributos deseables a los atributos sensoriales de la taza de café, mientras que la fermentación descontrolada conduce inevitablemente a sabores indeseables (González-Ríos y *col.*, 2007; Jackels y *col.*, 2006; Jackels y Jackels, 2005; Lin, 2010).

Cuadro 3.3. Beneficio del café (por vía húmeda, secado al sol y vía seca) sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábicos* del municipio sucre, estado portuguesa.

Descriptores sensoriales	Vhsol	Vs	Significancia	
			Paramétrico	No paramétrico
Intensidad del olor	5,12	4,76	**	**
Cuerpo	4,37	4,76	**	**
Acidez	4,63	4,66	ns	ns
Amargo	4,32	4,39	**	**
Astringente	2,05	2,08	ns	ns
Frutado	1,63	1,28	**	**
Áspero	0,66	1,03	**	**
Calidad global	4,81	4,22	**	**

Vía seca (Vs); Vía húmeda secado al sol (Vhsol); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

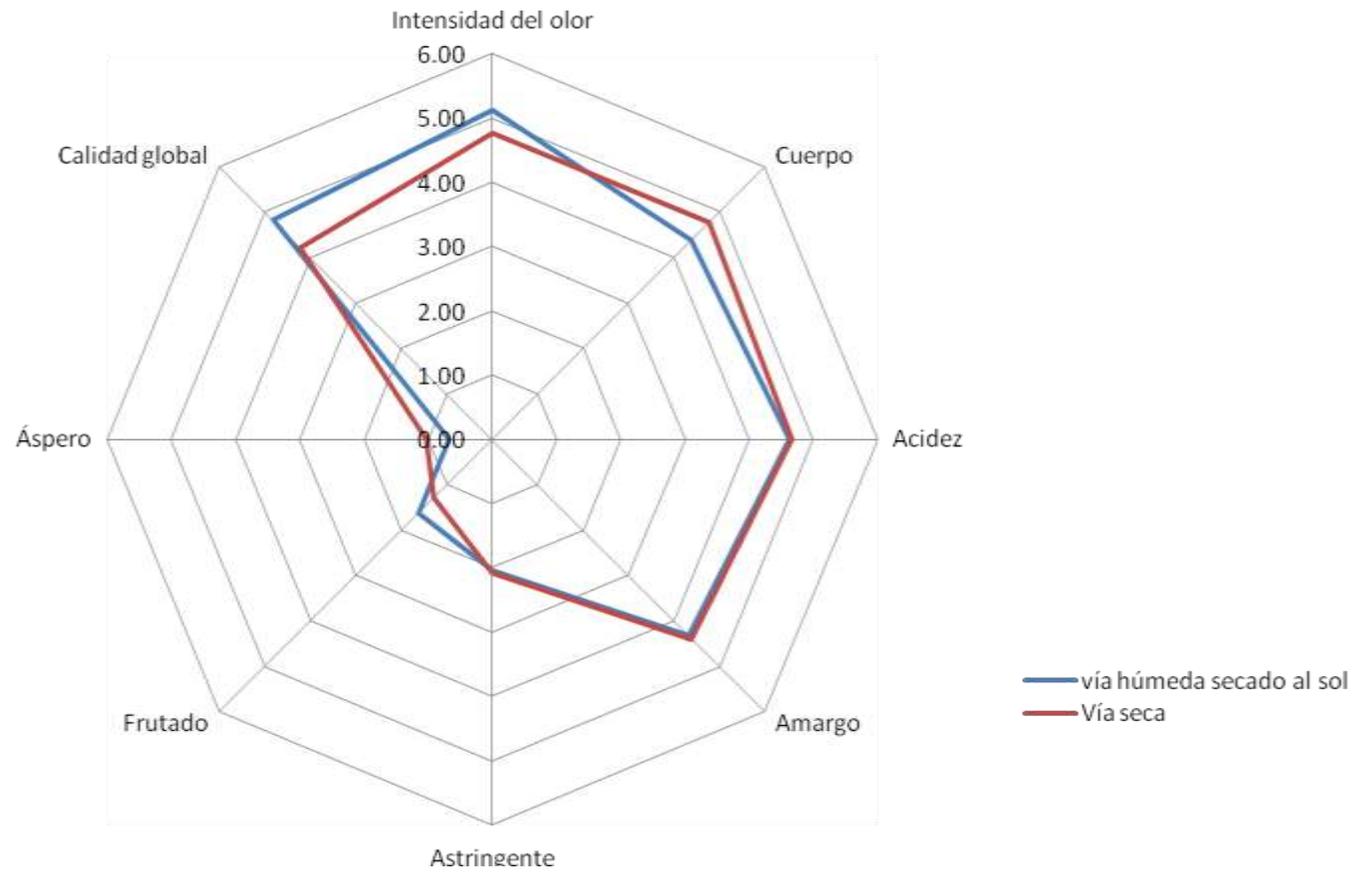


Figura 3.3. Perfil sensorial según el beneficio del café (por vía húmeda, secado al sol y vía seca).

Beneficio del café (por vía húmeda secado al sol y vía seca) y la presencia de compuestos volátiles y no volátiles de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles encontrados en los cafés beneficiados por vía húmeda, secados al sol se computaron 59 compuestos volátiles y para el segundo beneficio (vía seca) se encontraron 74 compuestos volátiles. Con base a estos resultados se puede mencionar que el beneficio del café tiene influencia sobre la cantidad de compuestos volátiles presente en el grano de café verde.

El cuadro 3.3, muestra la familia de compuesto volátiles del café según su beneficio en las muestras de café verde evaluadas, en el mismo se refleja que en el beneficio por vía humedad y secado al sol se encontraron 10 familias de compuestos volátiles (Alcoholes, Alquenos, Alcanos, Ácidos, Cetonas, Esteres, Aminas, Aldehídos, Compuestos Azufrados y Pirazinas) y en el beneficio por vía seca se encontraron 9 familias de compuestos volátiles (Alcoholes, Alquenos, Alcanos, Ácidos, Cetonas, Esteres, Aminas, Aldehídos y Pirazinas).

Los alcanos y los alquenos fueron las fracciones volátiles más importante encontradas en el beneficio por vía humedad y secado al sol con una concentración de 94,8 mg/l y 18,04 mg/l, siendo el 2, 2, 4, 6,6-Pentamethyl- Heptano, 4-methyl-Octano y octamethyl- Cyclotetrasiloxano, estos fueron los compuestos más abundante en los alcanos y el 2,4-Dimethyl-1-hepteno, 4, 6,8-trimethyl-1-Noneno y Limoneno para los alquenos.

En el beneficio por vía seca predominaron los alcanos (86,44 mg/l) y los ácidos (40,9 mg/l), dentro de los alcanos los más abundantes fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl-Heptano, 4-methyl- Octano y Undecano, y en los ácidos el ácido 3-Methyl-Butanoíco, ácido acético methyl ester y ácido acético.

Cuadro 3.3. Familia de compuestos volátiles del café según su beneficio.

Familia de compuestos	Beneficio			
	Vía humedad y secado al sol		Vía seca	
	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)
Alcoholes	5,13	7,04	10,2	21,41
Alquenos	13,15	18,04	7,42	15,59
Alcanos	69,11	94,8	41,16	86,44
Ácidos	4,73	6,49	19,48	40,9
Cetonas	30	0,42	2,72	5,71
Esteres	2,18	2,99	0,72	1,52
Aminas	0,77	1,06	0,42	0,88
Aldehídos	1,55	2,12	10,63	22,23
Azufrados	0,59	0,81	0	0
Pirazinas	2,24	3,07	5,69	11,94

La Figura 3.4, muestra el porcentaje de los compuestos volátiles encontrados en las muestras según sus beneficios, en esta Figura se aprecia que el mayor porcentaje de los compuestos (mayores a 10 %) se agrupan en los alcanos, cetonas y alquenos para el beneficio por vía humedad secado al sol, mientras que en el beneficio por vía seca se agrupan en los alquenos, ácidos, aldehídos y alcoholes.

Ribeiro y *col.* (2012), reportaron compuestos volátiles en cafés similares a los encontrados en esta investigación como el Limoneno, el cual se asocia con olores a cítrico (Chin, 2011). El ácido acético fue reportado por Fenaroli (2001), quien encontró que éste está asociado a atributos sensoriales picante y olor a vinagre. De acuerdo a Puerta (2011), las muestras de café con beneficio húmedo secados al sol que presentaron mayor concentración de volátiles de alcoholes y alquenos, se asocian sensorialmente con atributos sensoriales florado, dulce, frutado, verde y olor a hierba (por los alcoholes), además olor a tabaco, terroso y madera (por los alquenos). Las

muestras con beneficio por vía seca, presentaron mayor concentración de volátiles en alcoholes, al igual que el beneficio por vía húmedo secado al sol, y ácidos, estos últimos compuestos volátiles están asociados con atributos sensoriales como vinagre, dulce, florado, verde, rancio y terroso (Puerta, 2011).

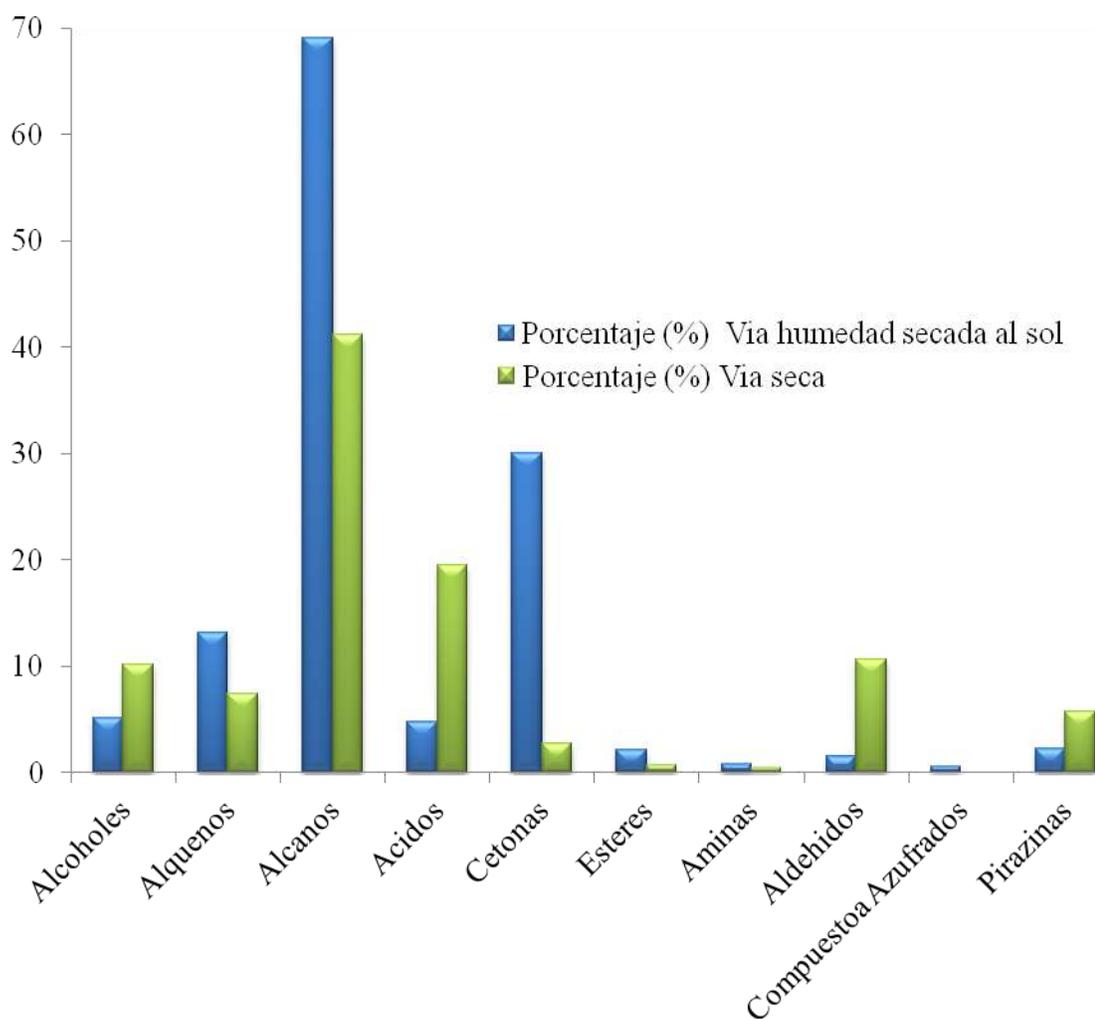


Figura 3.4. Porcentaje de la familia de los compuestos volátiles según su beneficio.

IV.5.2. Compuestos no volátiles

El promedio de los resultados de las doce (12) muestras estudiadas para cada beneficio se muestran en el cuadro 3.4. Se puede evidenciar que existe una diferencia altamente significativa en los compuesto no volátiles grasa, sacarosa y ácido clorogénico, los mismos arrojaron un promedio de 14,13 %, 9 % y 9,16 % para grasa, sacarosa y ácido clorogénico en el beneficio por vía seca, mientras que para el beneficio por vía humedad secados al sol, se encontraron porcentaje de 14,84 %, 8,41 % y 8,68 % para grasa, sacarosa y ácido clorogénico, respectivamente. Estos resultados permiten inferir que el beneficio no tiene incidencia sobre los compuestos no volátiles cafeína, glucosa, fructosa y trigonelina.

Para muestras de café procesados por vía humedad, se han reportado que los azúcares tales como fructosa, glucosa, arabinosa y galactosa estaban presentes en niveles significativamente más bajos en comparación a cafés procesados por vía seca (Bytof y *col.*, 2005; Knopp y *col.*, 2005). Lee y *col.* (2015), reportaron que los contenidos de trigonelina y cafeína son mayores en muestras de café procesados por vía humedad que por vía seca, pero el contenidos de ácido clorogénico es más bajo en el segundo manejos postcosecha.

Los diferentes métodos de procesamiento de café provocan diferencias significativas en las concentraciones de los compuestos no volátiles en los granos de café verde (Arruda y *col.*, 2012). Los cambios en la composición química de los granos de café verde probablemente son provocados por las actividades metabólicas que se produjeron durante el manejo postcosecha del café (Lee y *col.*, 2015; Dos Santos y De Oliveira, 2010). Los compuestos no volátiles son importantes precursores de la calidad sensorial del café y las diferencias en las concentraciones de estos compuestos por lo tanto, serían los responsables de las diferencias de calidad sensorial que se observa en las muestras analizadas.

Cuadro 3.4. Compuestos no volátiles del café según su beneficio.

Compuestos no volátil	Porcentaje (%) en base de materia seca		Significancia	
	Vs	Vhsol	Paramétrico	No paramétrico
	Grasa	14,13	14,84	**
Cafeína	1,22	1,13	ns	ns
Glucosa	0,19	0,09	ns	ns
Fructosa	0,066	0,073	ns	**
Sacarosa	9,00	8,41	**	**
Ácido clorogénico	9,16	8,68	**	**
Trigonelina	0,997	0,95	ns	ns

Vía seca (Vs); Vía húmeda secado al sol (Vhsol); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

Efecto de la altitud (menor a 1152 metros, entre 1153-1370 metros y mayor a 1371 metros sobre el nivel del mar) ejercido sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábico* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Los promedios de los resultados de los descriptores evaluados por los panelistas, para las cinco (5) muestras analizadas, se presentan en el cuadro 3.5. En este se aprecian diferencias estadísticas para los descriptores intensidad del olor, frutado, áspero y calidad global. A altitudes entre 1153-1370 msnm la intensidad del olor es más baja que a altitudes mayores a 1371 msnm y menores de 1152 msnm, pero el frutado y la calidad global son mayores que las otras zonas de altitudes estudiadas. Cuando la altitud es mayor a 1371 msnm, se encontró que la taza de café presentaba un atributo áspero mayor.

En las muestras de café *arábico* del municipio Sucre del estado Portuguesa, la altitud no pareciera tener efecto sobre los descriptores sensoriales cuerpo, acidez, amargo y astringente. Sin embargo, pareciera haber una tendencia a que los atributos cuerpo, amargo y astringente sean un poco mayor al aumentar la altitud.

Al respecto, Escarramán y *col.* (2007) expresaron que a mayor altitud las muestras de café producen una taza de la bebida más ácida, frutado y verde, mientras que a bajas alturas las bebidas de café son más amargas y mayor cuerpo. Lara (2005) reportó que en las variables aroma, cuerpo y preferencia presentan diferencias estadísticas significativo para niveles altitudinales, donde las mejores calificaciones aparecen en el nivel alto de altitud. En cambio, la acidez y el sabor, dos de las variables organolépticas más importantes en la determinación de la calidad de la bebida no presentaron diferencias significativas entre el nivel altitudinal.

Este efecto positivo de altitud sobre la calidad del café ha sido mencionado en diferentes estudios (Vaast y *col.* 2005; Decazy y *col.*, 2003; Figueroa y *col.*, 2000). El incremento altitudinal provoca cambios benéficos en las condiciones ambientales en las que se desarrolla el café y sus frutos (Lara, 2005).

Buenaventura-Serrano (2002) reportó que en la impresión global, intensidad del aroma y aroma de la bebida se puede observar un incremento de la proporción de las tazas con calidad superior con la altitud, hasta llegar a un máximo a los 1.450 msnm. Para la acidez organoléptica, cuerpo y amargo se presenta un comportamiento similar entre ellas y a su vez, igual a la impresión global.

Cuadro 3.5. Descriptores sensoriales según su Altitud.

Descriptores sensoriales	Tratamiento			Significancia		Diferente
	T1	T2	T3	Paramétrico	No paramétrico	
Intensidad del olor	5,68	4,93	5,20	**	*	T2
Cuerpo	4,50	4,78	4,78	ns	ns	
Acidez	4,67	5,32	4,67	ns	ns	
Amargo	4,30	4,27	4,73	ns	ns	
Astringente	2,15	2,42	2,53	ns	ns	
Frutado	1,02	1,55	0,90	*	*	T2
Áspero	0,77	0,73	1,35	*	*	T3
Calidad global	4,62	4,93	4,23	*	**	T2

Altitud <1152 msnm (T1); Altitud 1153-1370 msnm (T2); Altitud > 1371 msnm (T3); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

La Figura 3.6, muestra el perfil sensorial según la altitud (menor a 1152 metros (T1), entre 1153-1370 metros (T2) y mayor a 1371 metros (T3) sobre el nivel del mar) de los cafés *arábico* del municipio Sucre del estado Portuguesa. A altitudes menores a 1152 msnm se encontró la mejor intensidad de olor en la taza de café, mientras que entre 1153-1370 msnm existe una mejor calidad global, frutada y acidez y a altitudes superiores a 1371 msnm se encontraron muestras de café con mayor astringencia y amargo.

Banegas (2009), reportó que el incremento altitudinal mejoró las características organolépticas; la calidad de la bebida depende en gran medida de la altitud en donde se encuentren las zonas de producción. Algunos autores han mencionado que la altitud propicia un mejor llenado de grano y consecuente producción de granos de mayor densidad y con mejor calidad de bebida (Wintgens, 2004; Avelino y col., 2005; Vaast y col., 2005). El café cultivado a mayor altitud suele desarrollar más

atributos positivos, tales como acidez y aroma, definiendo así un mejor sabor y calidad de bebida (Vaast y *col.*, 2005), gran parte de la influencia benéfica de la altitud en la determinación de la calidad del café es atribuida a los cambios de temperatura y humedad que se producen al ascender altitudinalmente (Banegas, 2009).

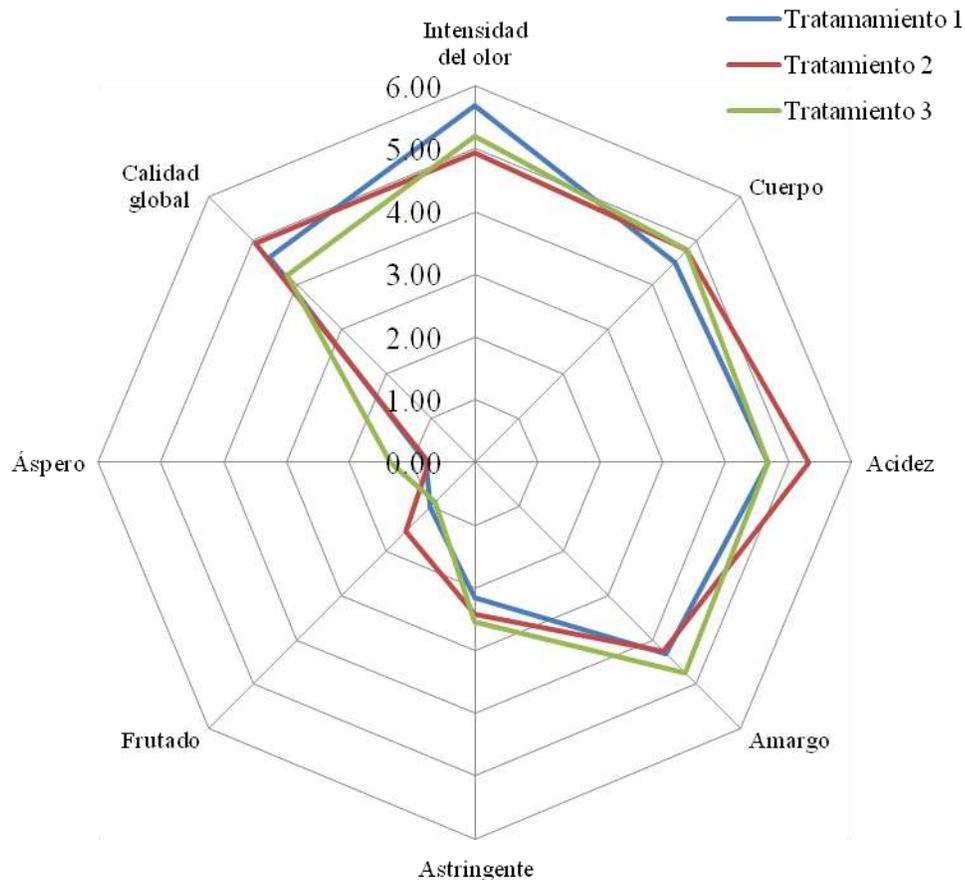


Figura 3.6. Perfil sensorial según la altitud (Altitud <1152 msnm (T1); Altitud 1153-1370 msnm (T2); Altitud > 1371 msnm (T3)).

Efecto de la altitud (menor a 1152 metros, entre 1153-1370 metros y mayor a 1371 metros sobre el nivel del mar) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles encontrados para las altitudes estudiadas para altitudes menores a 1152 msnm se encontraron 72 compuestos volátiles, a altitudes entre 1153-1370 msnm, 66 compuestos volátiles, a altitudes mayores a 1371 msnm 62 compuestos volátiles. Estos resultados permiten indicar que los café producidos a mayores altitudes tiende a presentar menor presencia de compuestos volátiles en los cafés verdes.

La familia de compuestos volátiles encontrado en los cafés *arábicos* del municipio Sucre del estado Portuguesa según su altitud se presentan en el cuadro 3.6. A altitudes mayores a 1371 msnm y menores a 1152 msnm se encontraron nueve (9) familias de compuestos volátiles (Alcoholes, Alquenos, Alcanos, Ácidos, Cetonas, Esteres, Aminas, Aldehídos y Pirazinas), mientras que a altitudes entre 1153-1370 msnm se encontró el mismo grupo de familia de compuestos volátiles más compuestos azufrados.

La concentración de alcanos (92,23 mg/l), alquenos (32,66 mg/l) y ácidos (30,43 mg/l), fueron las familias de compuestos volátiles más relevantes en los cafés cosechados a altitudes menores a 1152 msnm. Dentro del grupo de los alcanos, los más abundantes fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- Heptano, 4-methyl- Octano, y Undecano, para los alquenos fueron el Limoneno, 2,4-Dimethyl-1-hepteno y 4, 6,8-trimethyl-1-Noneno y en los ácidos el ácido acético methyl ester, ácido acético y ácido acético methyl ester-8, 10-Heptadeceninoico.

Para altitudes entre 1153-1370 msnm la familia de compuestos volátiles más abundante fueron los alcanos (128,6 mg/l), alquenos (18,57 mg/l) y alcoholes (8,37 mg/l). El 2,2,4,6,6-pentamethyl-Heptano, 4-methyl-Octano y Octamethyl-Cyclotetrasiloxano, fueron los alcanos más abundantes, mientras que el 2,4-Dimethyl-1-hepteno, 4, 6,8-trimethyl-1-Noneno, 5-Ethyl-1-noneno y Ethylbenzeno fueron los alquenos encontrados en las muestras. Dentro de los alcoholes más importantes encontrados se pueden mencionar al 2-butyl-1-Octanol, 1-Hexanol y 2-Furanmethanol.

Los alcanos (120,61 mg/l), ácidos (30,64 mg/l) y alquenos (17,19 mg/l), fue la familia de compuestos con mayor presencia en las muestras de café evaluadas para altitudes mayores a 1371 msnm. Dentro de los alcanos más abundantes se pueden mencionar al Octamethyl- Cyclotetrasiloxano, 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- Heptano y 4-methyl- Octano, para los ácidos el 3-methyl- ácido butanoico, ácido acético y ácido acético- methyl ester y para los alquenos se encontraron el 2, 4-Dimethyl-1-hepteno, 4, 6, 8-trimethyl-1-Noneno, 5-Ethyl-1-noneno y Ethylbenzeno.

Así mismo se puede mencionar que a altitudes entre 1153-1370 msnm se encontró un compuesto azufrado, el cual no se presentó en el resto de las altitudes estudiadas (Cuadro 3.6), este es el sulfuro de dimetilo.

Los resultados encontrados coinciden con los reportados por Bertrand y *col.* (2012), los cuales reportaron las familias de compuestos alcoholes, aldehídos, ácidos, furanos, alcanos, cetonas, fenoles, pirazinas, pirroles y compuestos azufrados, en muestras de café cultivados en altitudes entre 105 y 1032 msnm. Así mismo encontraron, al igual que en la presente investigación, el ácido acético como compuesto de mayor abundancia dentro de la familia de los ácidos orgánicos.

Cuadro 3.6. Familia de compuesto Volátiles del café según su altitud.

Familia de Compuestos	Altitudes (Altitud msnm)					
	< 1152		1153-1370		>1371	
	Porcenta je (%)	Concentraci ón (mg/l)	Porcenta je (%)	Concentraci ón (mg/l)	Porcenta je (%)	Concentraci ón (mg/l)
Alcoholes	10,37	20,19	4,45	8,37	4,92	9,33
Alquenos	16,77	32,66	9,86	18,57	9,05	17,19
Alcanos	47,36	92,23	68,29	128,6	63,53	120,61
Ácidos	15,63	30,43	4,11	7,75	16,14	30,64
Cetonas	1,87	3,64	1,78	3,35	0,59	1,11
Esteres	1,9	3,69	1,46	2,74	0	0
Aminas	0,89	1,74	1,18	2,23	1,53	2,9
Aldehídos	3,73	7,26	4,93	9,29	1,85	3,51
Compuestos						
Azufrados	0	0	0,32	0,59	0	0
Pirazinas	1,5	2,92	3,63	6,83	2,39	4,54

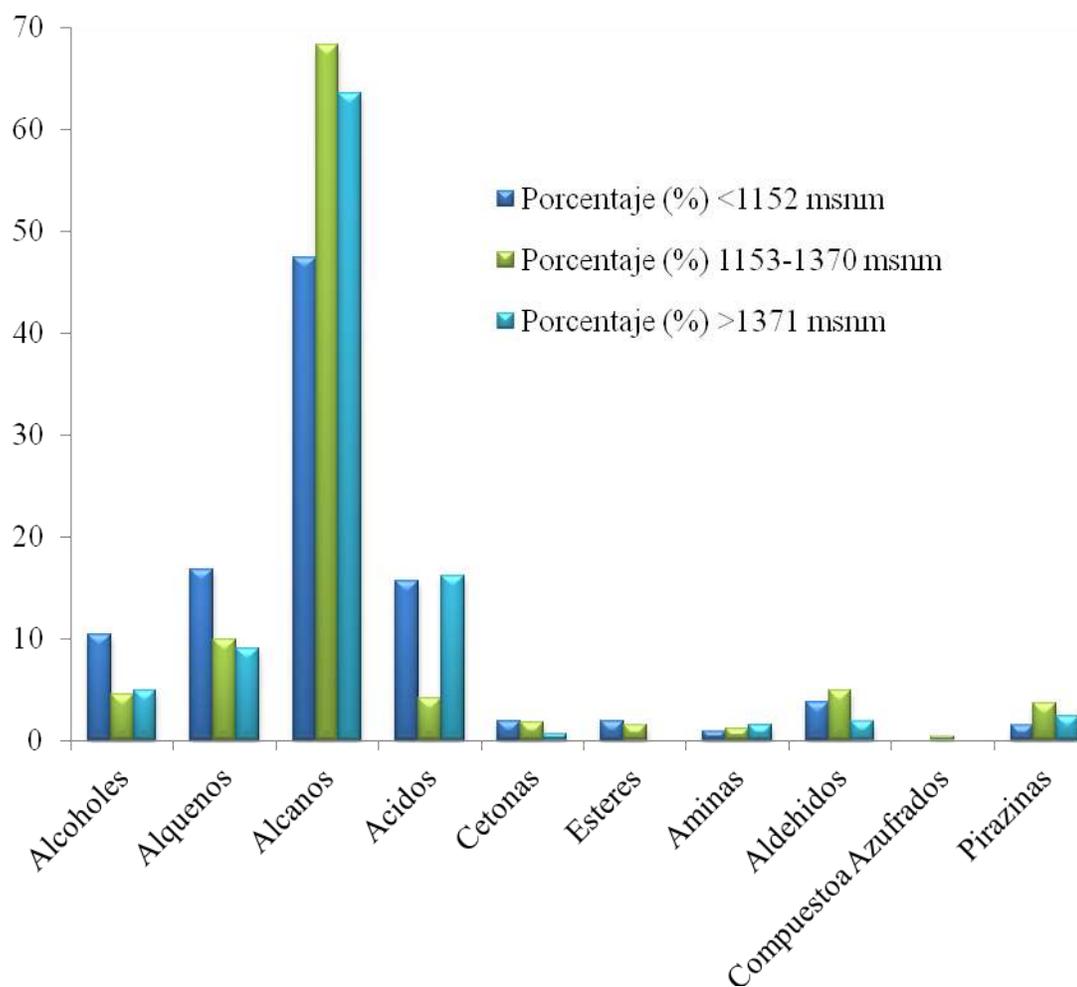


Figura 3.7. Porcentaje de la familia de los compuestos volátiles según altitud.

El porcentaje de las familias de compuestos volátiles encontrados en las muestras de café a diferentes altitudes estudiadas se aprecia en la Figura 3.7. En las zonas de altitudes del estudio se observa que los alcanos superaron el 40 % de presencia de la fracción volátil en las muestras, el porcentaje de ácidos tiene una tendencia a la baja a 1153-1370 msnm, en relación a las demás altitudes y el porcentaje de alcoholes y alquenos es mayor a altitudes menores de 1152 msnm.

Compuestos no volátiles

Los promedios de los resultados de los compuestos no volátiles para las cinco (5) muestras analizadas, se presentan en el cuadro 3.7. En el mismo se aprecia que existe diferencia estadística entre los valores de la cafeína, sacarosa y ácido clorogénico, siendo las muestras de las altitudes entre 1153-1370 msnm las diferentes, presentando el valor más alto los compuestos sacarosa (10,35 %) y ácido clorogénico (9,30 %) a esta altitud. La altitud pareciera no tener efecto estadístico sobre el contenido de glucosa, fructosa y trigonelina.

Para el contenido de materia grasa, los análisis estadísticos por pruebas paramétricas reflejaron que no existe diferencia significativa entre las muestras, sin embargo, por pruebas estadísticas no paramétricas, se encontró diferencias significativas en el contenido de grasa de las muestras evaluadas, ahora bien, como los datos del contenido de grasa tienden a ser normales, se considera la prueba paramétrica y se concluye que no existe diferencia estadística en el contenido de grasa de las muestras estudiadas.

Cuadro 3.7. Compuestos no volátiles del café según su altitud.

Compuesto No Volátil	Porcentaje (%) en base de materia seca			Significancia		Diferente
	T1	T2	T3	Paramétrico	No paramétrico	
Grasa	14,54	15,05	14,75	ns	*	T2
Cafeína	1,19	1,27	1,60	**	*	T2
Glucosa	0,33	0,34	0,11	ns	ns	
Fructosa	0,09	0,12	0,08	ns	ns	
Sacarosa	8,73	10,35	9,52	**	**	T2
Ácido clorogénico	8,98	9,30	9,20	**	**	T2
Trigonelina	0,996	1,10	0,99	ns	ns	

Altitud <1152 msnm (T1); Altitud 1153-1370 msnm (T2); Altitud > 1371 msnm (T3); Altamente significativo (**); Significativo (*); No significativo (ns)

Rojas (2009) demostró que el contenido de grasa aumentó a medida que se incrementó la altitud y podría ser utilizada como indicador de calidad de café, así como que la cafeína posee una relación positiva respecto a la altitud. Según Farah y *col.* (2006), los niveles más altos de cafeína se encuentran en muestras de café de alta calidad y se relacionan positivamente con la altitud, la temperatura y otros aspectos climáticos importantes. Estudios realizados por Farah y *col.* (2006) y Avelino y *col.* (2005), determinaron que el contenido de cafeína y grasa mantienen una relación positiva al ser comparados con la altitud de producción.

Resultados opuestos reportaron Escarramán y *col.* (2007), al comentar que no existe diferencias significativas para la materia seca, la cafeína, la materia grasa y los ácidos clorogénicos según la altitud, sin embargo, la trigonelina, es el factor que influye significativamente sobre los compuestos bioquímicos, al observarse un incremento en el contenido de dichos compuestos conforme se incrementaba la altitud.

Lara (2005), reportó que tanto la materia grasa y ácidos clorogénicos, se encuentran en mayores concentraciones en cafés cultivados a partir de los 1055 msnm. La cafeína presenta un comportamiento similar al de materia grasa y ácido clorogénico, con la diferencia de que los mayores contenidos son a partir de los 880 msnm y la sacarosa presenta una disminución en su contenido conforme se ascendía en altitud. Buenaventura-Serrano (2002) reportó que el porcentaje de aceite varía con la altitud, entre el 10 y el 15% y el mayor contenido de aceite se registró a los 1150 msnm con una media de 13,716% (DS 0,683).

Efecto de las variedades (*Typica*, *Catuai amarillo*, y *Caturra*) sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Los promedios de los resultados de los descriptores evaluados por los panelista, para las tres (3) muestras analizadas por variedad, se presentan en el cuadro 3.8. En el

mismo se aprecia que existe diferencia estadística en los descriptores intensidad del olor y cuerpo para las variedades estudiadas, siendo el *Catuai amarillo* la muestra diferente, así mismo para los descriptores astringente y áspero también existe diferencia estadística, sin embargo, la misma se debe a la muestra de *Caturra*. Para el resto de los descriptores sensoriales (Acidez, amargo, frutado y calidad global) no se encontró diferencias significativas.

Pérez (2013), encontró que muestras de café *arábico Typica* muestran diferencias significativas con respecto a las variedades *Bourbón* y *Caturra*, en la intensidad del olor, el aroma global es igual en las tres variedades, en la acidez la variedad *Bourbón* presentó diferencia altamente significativa con respecto a las otras dos variedades, mientras que la variedad *Typica* y la *Caturra* no presentaron diferencia significativa presentando una acidez similar. La variedad *Typica* resultó ser la de mejor sabor seguido de la variedad *Caturra* y por último la *Bourbón*. Este autor reportó que el aroma de la infusión resultó ser muy similar entre las variedades.

Puerta (1998), observó que los descriptores aroma, amargor y cuerpo de la bebida de café *arábico* variedades Bourbon, *Caturra*, Colombia (amarillo), Colombia (rojo) y *Typica* son prácticamente similares, en la intensidad del aroma reportó diferencias estadísticas significativas entre las variedades *Typica* y las variedades de café Colombia. El autor comentó que con base en sus resultados, no se aprecian diferencias marcadas en las características sensoriales entre las variedades de café de la especie *C. arábico* estudiadas.

Cuadro 3.8. Descriptores sensoriales según la variedad del café.

Descriptores sensoriales	Tratamiento			Significancia		
	T1	T2	T3	Paramétrico	No paramétrico	Diferente
Intensidad del olor	4,85	5,57	4,96	**	*	T2
Cuerpo	4,67	3,79	4,03	**	*	T2
Acidez	4,60	4,47	4,50	ns	ns	
Amargo	4,29	4,21	4,40	ns	ns	
Astringente	1,68	1,71	2,26	*	*	T3
Frutado	1,35	1,36	1,33	ns	ns	
Áspero	0,53	0,57	1,17	**	**	T3
Calidad global	4,64	4,56	4,60	ns	ns	

Typica (T1); *Catuai amarillo* (T2); *Caturra* (T3); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

La Figura 3.9, muestra el perfil sensorial según la variedad de las muestras evaluadas. En la misma se aprecia que la variedad *Catuai amarillo* presentó mayor intensidad del olor que el resto de las muestras, así como la de menor cuerpo y acidez. La variedad *Typica* se caracterizó por presentar mayor acidez y cuerpo y ser los menos ásperos, mientras que la variedad *Caturra* es más amarga, astringente y áspera. En todas las variedades estudiadas se apreciaron notas frutales, aunque baja. A pesar de estas características propias de cada variedad, los panelista apreciaron una calidad global de la taza de café muy parecida en las tres muestras evaluadas.

Banegas (2009), reportó que existe diferencias significativas para la calidad organoléptica entre las variedades de café *arábico* de variedad Lempira (Catimor T8667), Paca y *Typica*, pero muy similar en fragancia, acidez y balance. Wintgens (2004), manifiesta que la mayoría de los catadores de café coinciden en que existe muy poca o ninguna diferencia entre cafés *arábicos* cultivadas en condiciones

agroclimáticas similares. Sin embargo, en esta investigación se encontró diferencias estadísticas para los descriptores sensoriales intensidad del olor, cuerpo, astringente y áspero.

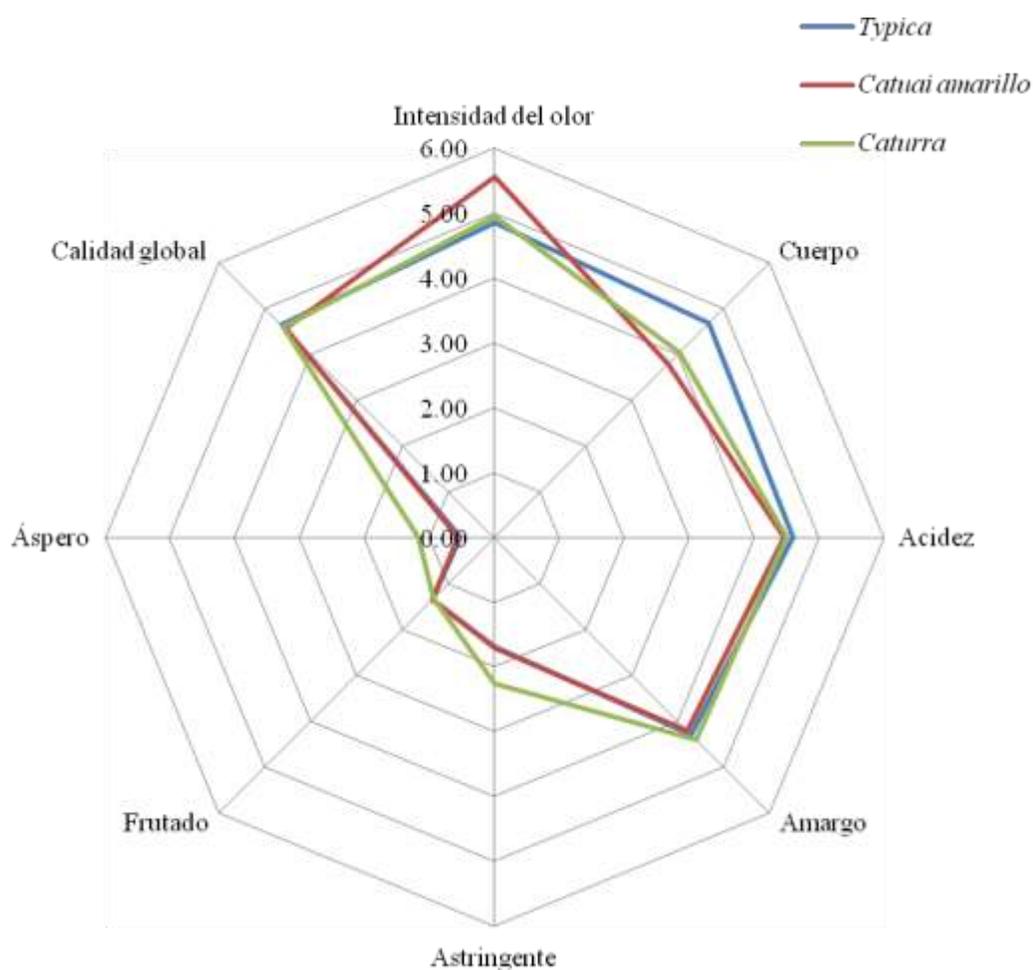


Figura 3.9. Perfil sensorial según la variedad (*Typica* (T1); *Catuai amarillo* (T2); *Caturra* (T3)).

Efecto de las variedades (*Catuai amarillo*, *Typica* y *Caturra*) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Compuestos volátiles

Los resultados de los compuestos volátiles encontrados en las variedades de café *arábico* estudiados indican que en la variedad *Typica* se encontraron 49 compuestos volátiles, en la variedad *Caturra* 67 compuesto volátiles y en la *Catuai Amarilla* 70 compuestos volátiles. De las variedades estudiadas, la *Typica* es la que presentó menor número de compuestos volátiles.

La familia de compuestos volátiles encontrados en los cafés *arábicos* del municipio Sucre del estado Portuguesa según su variedad se presenta en el cuadro 3.9. Para las variedades *Catuai amarillo* y *Caturra*, se encontraron nueve (9) familias de compuestos volátiles (Alcoholes, Alquenos, Alcanos, Ácidos, Cetonas, Esteres, Aminas, Aldehídos y Pirazinas), mientras que para la variedad *Typica* se encontraron el mismo grupo de familias de compuestos volátiles más compuestos azufrados.

Como puede observarse en el cuadro 3.9, la variedad *Catuai amarillo* se caracteriza por presentar mayor concentración de compuestos volátiles de alcanos (100,46 mg/l), aldehídos (mg/l) y alquenos (24,65 mg/l). Dentro de los alcanos los más resaltantes fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- Heptano, Octamethyl-Cyclotetrasiloxano y 4-methyl-Octano, en los aldehídos los más importantes fueron el Hexanal, 3-benzyloxy-2-fluoro-4-methoxy-Benzaldehyde y Nonanal y para los alquenos lo fueron el 2,4-Dimethyl-1-hepteno, 4,6,8-trimethyl-1-Noneno y D-Limoneno (Ver anexo LL)

Los alcanos (85,17 mg/l), alquenos (60,89 mg/l) y ácidos (14,79 mg/l) son la familia de compuestos volátiles de mayor concentración en la variedad *Caturra*. Dentro del grupo de los alcanos, los más importante fueron el Octamethyl-Cyclotetrasiloxano, 4-methyl-Octano y Undecano, mientras que en los alquenos se pueden citar al 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- Heptano, Limoneno y 2,4-Dimethyl-1-

hepteno, así como en los ácidos el ácido acético, ácido acético-methyl ester y ácido Eicosanoico-phenylmethyl ester.

En la variedad *Typica*, la familia de compuestos que presentaron mayor concentración fueron los alcanos (53,83 mg/l), esterés (28,64 mg/l) y alquenos (27,08 mg/l), tal como se indica en el anexo N. El 4-methyloctano, Undecano y Octano fueron los compuestos más importante dentro de los alcanos, para los esterés se encontraron el Methyl isovalerate, Isobutonoato de isoamyl y Methyl phenyl acetate, mientras que en los alquenos fueron 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- Hepteno, Tolveno y 1, 2,3-trimethyl benceno. También se puede observar en el cuadro 3.9, que dentro de las variedades estudiadas, solamente en la variedad *Typica* se encontró una concentración de 1,44 mg/l de un compuesto azufrado denominado Dimethylsulfido. Las pirazinas mostraron valores de 42,84 %.

Cuadro 3.9. Compuestos volátiles del café según su variedad

Familia de Compuestos	Variedad					
	<i>Catuai amarillo</i>		<i>Caturra</i>		<i>Typica</i>	
	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)
Alcoholes	8,31	16,19	5,52	10,41	10,94	75,68
Alquenos	12,49	24,34	32,32	60,89	13,28	91,88
Alcanos	51,47	100,46	45,2	85,17	30,88	213,67
Ácidos	9,07	17,7	7,85	14,79	6,58	45,55
Cetonas	0,69	1,35	2,52	4,75	12,12	83,89
Esteres	0,25	0,5	1,18	2,21	10,1	69,9
Aminas	1,26	2,47	1,34	2,53	0	0
Aldehídos	15,65	30,5	2,55	4,8	9,71	67,16
Compuestos						
Azufrados	0	0	0	0	0,21	1,44
Pirazinas	0,7	1,38	0,7	1,31	6,19	42,84

Los resultados encontrados para las variedades de café *arábico* coinciden con los reportados por muchos autores, como González-Sánchez y *col.* (2011), quienes

reportaron la presencia de hexanal, también Toci y Farah (2008) lo reportaron, así como el nonal. Según lo reportado por Chin (2011), el hexanal está asociado al atributo sensorial verde y olor a hierba. Considerando lo reportado por Puerta (2011) y los resultados de las concentraciones de las familias de compuestos volátiles estudiados en esta investigación, las muestras de café *arábico* de la variedad *Catuai amarillo* pueden presentar notas sensoriales a frutado, ácido, verde, fermentado, dulce, rancio, madera y terroso.

Los resultados encontrados en la variedad *Caturra*, coinciden con los reportados por investigaciones previas, como por ejemplo el Limoneno fue reportado por Ribeiro y col. (2012), el ácido acético fue reportado por Risticovic y col. (2008), Toci y Farah (2008), González-Sánchez y col. (2011) y por Ribeiro y col. (2012). Según los resultados encontrados en los compuestos volátiles, las muestras de café de la variedad *Caturra* van a presentar notas sensoriales a vinagre, dulce, rancio, floral, mentolado, frutal, verde herbal, grasa, rancio, mohoso, terroso, tabaco, manteca, terroso, madera (Puerta, 2011).

Para la variedad *Typica*, los resultados de los compuestos volátiles encontrados en las muestras analizadas coinciden con los reportados en las literaturas (Chin, 2011; Risticovic y col., 2008; Toci y Farah, 2008; González-Sánchez y col., 2011, entre otros). Sin embargo, en esta variedad se encontró la presencia de Dimethylsulfido, el cual estaba presente en las variedades *Catuai amarillo* y *Caturra*, este compuesto volátil fue reportado por Blank (2002) y el mismo autor reportó que está asociado a olores a trigo y tomate. Considerando lo hallado por Puerta (2001) y la mayor concentración de compuestos volátiles presente en la muestras de café *Typica*, se puede inferir que las bebidas de estas muestras van a presentar atributos sensoriales agradables como a frutal, dulce, floral y desagradables como terroso, rancio y madera.

Los porcentajes de la fracción de los compuestos volátiles según las variedades estudiadas se muestran en la Figura 3.10. La variedad *Catuai amarillo* posee mayor

porcentaje del contenido de alcanos, ácidos y aldehídos que las demás variedades pero el menor porcentaje de cetonas y esterés, mientras que la variedad *Caturra* presenta un elevado porcentaje de alquenos en comparación con las otras dos (2) variedades, sin embargo, su porcentaje de alcoholes y aldehídos es menor, así mismo se aprecia que la variedad *Typica* posee un alto porcentaje de cetonas, esterés y pirazina en relación al presentado por las demás variedades estudiadas.

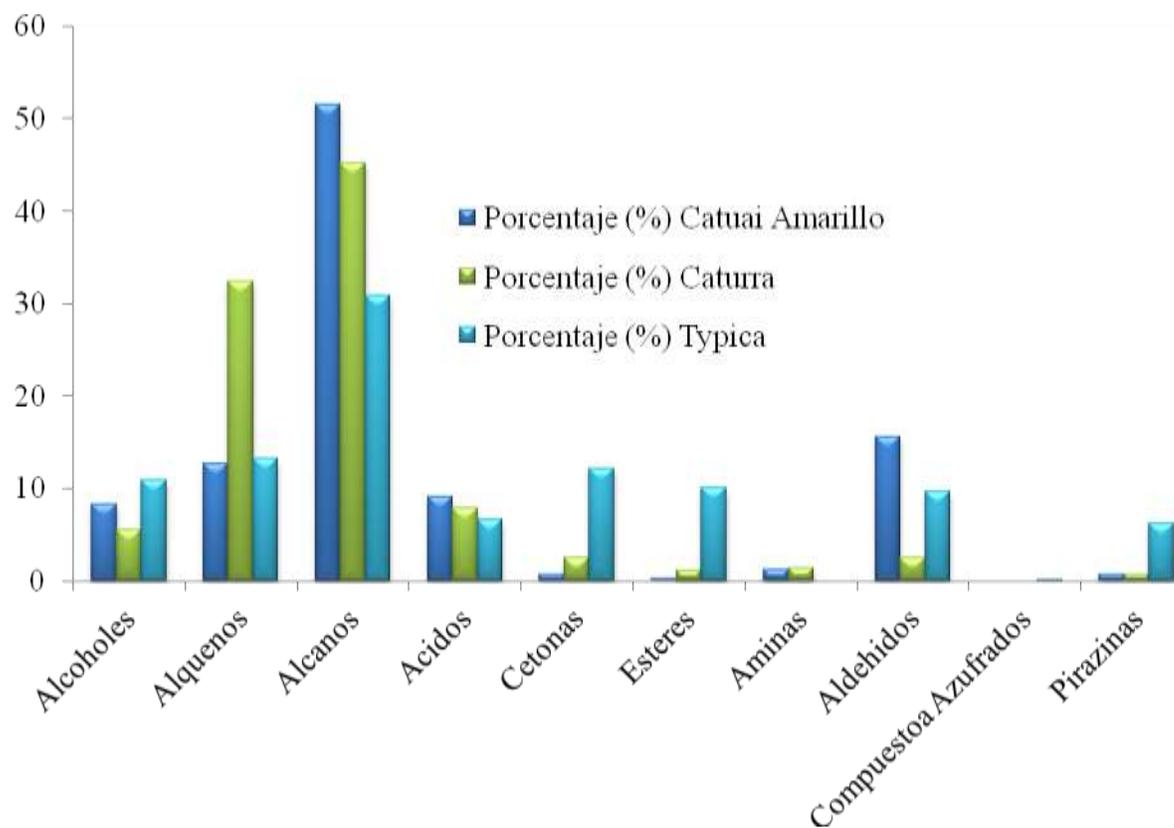


Figura 3.10. Porcentaje de la familia de los compuestos volátiles según variedad.

Compuestos no volátiles

El cuadro 3.10, se muestra el promedio de los resultados obtenidos de la determinación de los compuestos no volátiles en las muestras de cafés estudiados

según las variedades (*Typica*, *Catuai amarillo* y *Caturra*). En el mismo se puede apreciar que existe diferencia significativa entre las variedades estudiadas para los compuestos no volátiles grasa, glucosa, fructosa y ácido clorogénico, pero no en los contenidos de cafeína, sacarosa y trigonelina.

La diferencia en el contenido de grasa se debe a la variedad *Typica* (15,11 % de grasa), la de glucosa y ácido clorogénico es debido a la variedad *Catuai amarillo* (1,004 % y 8,758 %, respectivamente), la variedad *Caturra* fue la muestra que estadísticamente fue diferente en cuanto al contenido de fructosa (0,045 %).

Pérez (2013), reportó que para el caso de los lípidos presenta diferencia altamente significativas ($P \leq 0,01$) entre las variedades de café que estudió (*Caturra*, *Bourbon* y *Typica*), en las tres variedades de café, la variedad *Typica* mostró tener un mayor contenido de lípidos (9,15 %), poco menos que la variedades *Caturra* (9,14 %), a diferencia de la variedad *Bourbón* que presentó la cantidad más baja (7,28 %). Vázquez (2011), menciona que el contenido de lípidos en el café de la especie *C. arábico* varía de 12 a 18%, indicando que los porcentajes obtenidos por Pérez (2013) están por debajo de lo esperado y los resultados encontrados en esta investigación coinciden con los reportados por Vázquez (2011).

Lara (2005), indica que los factores que determinan la composición química en este caso los lípidos, es el genotipo, el ambiente y el manejo agronómico como la fertilización, debido a estos factores el contenido de lípidos en las variedades puede verse afectado, además se ha afirmado que las variedades de *C. arábico* pueden presentar variaciones en calidad física, organoléptica y química. Dichos factores se les puede atribuir la diferencia en la cantidad de grasa en el grano de café y la variación que presentan las diferentes variedades.

Pérez (2013), reportó diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) en las tres variedades de cafés, donde se pudo observar que la variedad *Bourbón* presenta mayor cantidad de carbohidratos, seguida de la variedad *Caturra*, y la variedad *Typica* que contiene menor cantidad. Lara (2005), expresó que los carbohidratos pueden verse

afectados y disminuidos en cantidad, esto por la intensidad, cantidad y calidad de la luz solar, a mayor luz los estomas de la planta se cierran, la fotosíntesis disminuye y los carbohidratos tienden a reducirse, es decir cafetos cosechados a baja altura o sin sombra, tal es el caso en las variedades presentadas. La intensidad de la luz pudo afectar el bajo contenido de carbohidratos en la variedad *Typica* debido a que algunos cafetales se cultivan con poca sombra.

De acuerdo con Juárez (2009), el contenido de cafeína en el grano verde de variedades *arábicos* está entre 0,8 a 1,5 %, esto indica que los resultados obtenidos están dentro del rango mencionado, así mismo expresó que este alcaloide es el encargado en parte de dar el sabor amargo de la bebida de café, el contenido de cafeína no se ve afectado por factores climáticos o agronómicos, pero si por el genotipo entre variedades y especies, el contenido de cafeína pudo verse afectado por este factor y reducir su contenido. Pérez (2013), reportó que la variedad *Caturra* presenta mayor contenido de cafeína en comparación con las variedades *Typica* y *Bourbón*, siendo ésta última la variedad que resulta tener menor concentración de cafeína.

Regalado (2006) e Ignacio (2007), señalan que la calidad no solo se basa en las características intrínsecas del grano es decir las características físicas y organolépticas que inciden principalmente en la calidad, sino que, la composición química del grano influye de forma determinante en la determinación de la calidad. Pérez (2013), señala la importancia de conocer la composición química de los granos para determinar el grado de calidad de un café, dichos estudios ayudan cada vez más a identificar las variedades y especies de café, también reportó que existen muy pocas referencias bibliográficas en relación al contenido químico del café; el cual se comercializa mundialmente por especies y no por variedades.

Cuadro 3.10. Compuestos no volátiles del café según variedad.

Compuesto No Volátil	Porcentaje (%) en base de materia seca			Significancia		Diferente
	T1	T2	T3	Paramétrico	No paramétrico	
Grasa	15,11	14,42	14,10	**	**	T1
Cafeína	1,23	1,16	1,18	ns	ns	
Glucosa	0,090	1,004	0,998	*	ns	T2
Fructosa	0,064	0,063	0,045	*	*	T3
Sacarosa	8,017	8,160	7,955	ns	ns	
Ácido clorogénico	9,053	8,758	9,337	*	*	T2
Trigonelina	0,936	0,941	0,936	ns	ns	

Typica (T1); *Catuai amarillo* (T2); *Caturra* (T3); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

Efecto del tostado (claro, medio y fuerte) sobre los descriptores sensoriales que definen la calidad sensorial de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Los promedios de los resultados obtenidos de los descriptores sensoriales evaluados para las distintas intensidades de tostados, se muestran en el cuadro 3.11, donde se puede apreciar que estadísticamente los descriptores intensidad del olor, acidez, amarga, frutada, áspera y calidad global, presentaron diferencia significativa, mientras que los demás descriptores estudiados (cuerpo y astringente) no presentaron diferencia estadística. La intensidad del tostado claro provocó una diferencia altamente significativa sobre el descriptor sensorial amargo, mientras que en el

tostado claro la diferencia se observó para los descriptores sensoriales frutado y calidad global y en un tostado oscuro se observaron diferencias estadísticas sobre los descriptores intensidad del olor, acidez y áspero.

Cuadro 3.11. Descriptores sensoriales según su intensidad de tostado.

Descriptores sensoriales	Tratamiento			Significancia		Diferente
	T1	T2	T3	Paramétrico	No paramétrico	
Intensidad del olor	5,35	6,06	6,71	**	**	T3
Cuerpo	4,59	5,29	5,18	ns	ns	
Acidez	5,82	5,59	4,47	*	*	T3
Amargo	3,76	5,47	5,82	**	**	T1
Astringente	2,35	3,12	3,18	ns	ns	
Frutado	0,35	1,53	0,41	*	*	T2
Áspero	0,29	0,94	1,88	**	*	T3
Calidad global	4,12	5,06	3,71	**	*	T2

Claro (T1); Medio (T2); Oscuro (T3); Altamente significativo (** $p \leq 0,01$); Significativo (* $p \leq 0,05$); No significativo (ns)

La Figura 3.11, muestra los perfiles sensoriales de las muestras analizadas según sus intensidades de tostado, en la misma se aprecia que la intensidad de tostado claro provoca una mejor apreciación del descriptor acidez (5,82) y menor apreciación de la intensidad del olor (5,35), cuerpo (4,59), amargo (3,76), astringente (2,35), frutado (0,35) y áspero (0,29). En el tostado medio se aprecia mayor presencia de las notas sensoriales cuerpo (5,29), frutado (1,53) y calidad global (5,06) y para un tostado oscuro los descriptores intensidad del olor (6,71), amargo (5,82), astringente (3,18) y áspero (1,88) fueron los que presentaron las mejores notas sensoriales.

Bhumiratana y *col.* (2011), comentan que en el tostado el cambio físico del café de claro a oscuro se traduce en un desarrollo sustancial de descriptores como el amargo. Czerny y *col.*, (1999) encontraron que los atributos tales como asado, terroso, y ahumado aumenta con el grado de tostado. Akiyama y *col.*, (2003) informaron que

los descriptores dulce, caramelo y verde se correlacionan positivamente con el grado de tostado, mientras que los atributos dulces, frutales y ácidos están correlacionados negativamente con el tostado. Para Bhumiratana y *col.* (2011), el tostado medio parecía ser el nivel de tostado óptimo del café, indicando que ésta es la intensidad de tostado donde se presenta la mayor variedad de atributos sensoriales favorables en la taza de café.

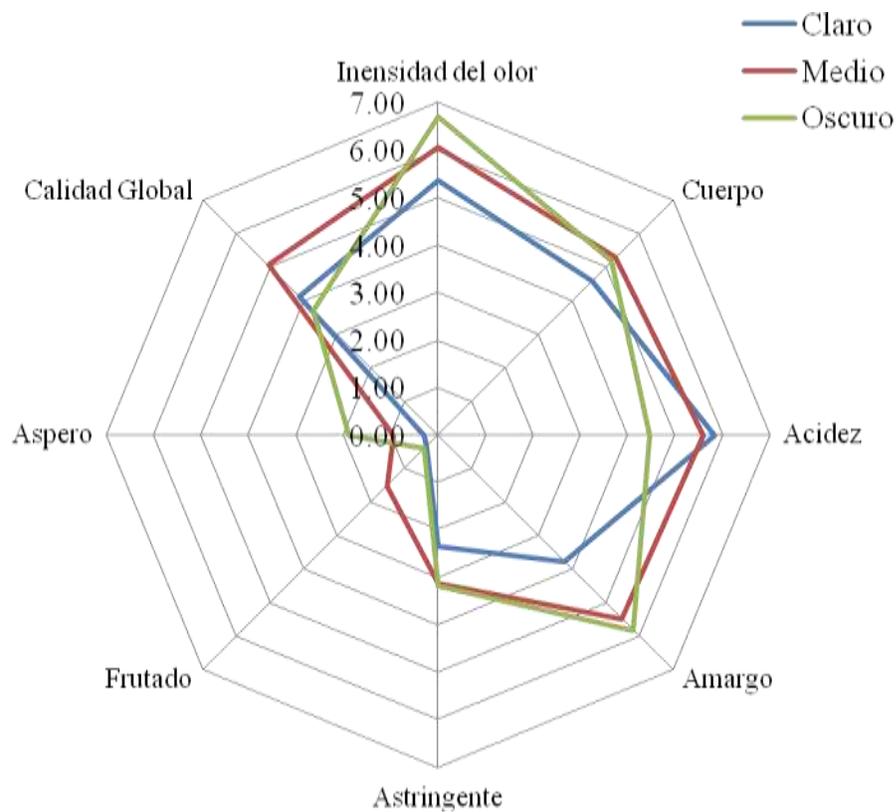


Figura 3.11. Perfiles descriptivos de las muestras de café verde según su intensidad de tostado.

Efecto del tostado (claro, medio y fuerte) sobre la presencia de los compuestos volátiles y no volátiles de los cafés *arábicos* del municipio Sucre, estado Portuguesa

Compuestos volátiles

Los resultados de los compuestos volátiles encontrados en el café verde sin tostar y las intensidades de tostado claro, medio y fuerte indican que se encontraron 49 compuestos volátiles en el café verde sin tostar, 142 en los café con intensidades de tostado claro y medio y 104 en la intensidad de tostado fuerte. Con base en los resultados encontrados se puede indicar que el tostado del café permite el desarrollo de una gran cantidad de compuestos volátiles, indicando que con una intensidad tostado fuerte el número de los compuestos volátiles es menor a los que se encontraron en las intensidades de tostado claro y medio.

La familia de compuestos volátiles encontrado en los cafés *arábico* del municipio Sucre del estado Portuguesa, según su intensidad de tostado (y la muestra se café verde que se tostó) se aprecian en el cuadro 3.12. Para las tres (3) intensidad de tostado estudiadas (claro, medio y oscuro) se observan nueve (9) grupo de familias de compuestos volátiles (alcoholes, alquenos, alcanos, ácidos, cetonas, esterres, aminas, aldehídos y pirazinas), ahora bien, en la muestra de café verde que se tostó se encontraron ocho (8) de este grupos de compuestos volátiles, siendo las aminas el grupo de compuestos volátiles que no se apreció.

La muestra de café verde se caracteriza por tener mayor concentración de los compuestos volátiles alcanos (89,67 mg/l), ácidos (39,07 mg/l) y alcoholes (18,45 mg/l). Dentro de los alcanos los compuestos con mayor presencia fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl Heptano, 4-methyl Octano y Octamethyl Cyclotetrasiloxano, en los ácidos lo fueron el ácido acético, ácido acetico-methylester y ácido hexanoico y para la familia de compuesto volátiles alcoholes fueron el 1-hexanol, 2-butyl-1-octanol y phenyl-ethyl-alcohol.

Cuadro 3.12. Compuestos volátiles del café según el tostado.

Familia de Compuestos	Intensidad de Tostado							
	Verde		Claro		Medio		Fuerte	
	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)	Porcentaje (%)	Concentración (mg/l)
Alcoholes	10,23	18,45	26,70	300,62	27,36	368,65	29,64	324,70
Alquenos	9,50	17,13	1,93	21,67	2,13	28,53	2,07	22,67
Alcanos	49,69	89,67	0,16	1,78	1,66	22,29	1,69	18,53
Ácidos	21,65	39,07	6,14	69,16	4,08	55,06	3,36	36,78
Cetonas	1,21	2,18	14,41	162,18	14,65	197,30	8,23	90,12
Esteres	0,50	0,91	0,47	5,29	0,16	2,23	0,08	0,90
Aminas	0,00	0,00	7,93	89,26	8,22	110,72	9,23	101,12
Aldehídos	4,13	7,44	23,26	261,91	25,56	344,25	23,90	261,85
Pirazinas	3,09	5,58	19,00	213,94	16,16	217,62	21,80	238,84

Los compuestos volátiles con mayor concentración en la intensidad de tostado claro fueron las familias de compuestos alcoholes (300,62 mg/l), aldehídos (261,91 mg/l) y pirazinas (213,94 mg/l). El 2-furanmethanol, acetato-2-furanmethanol y 2-methoxy-Phenol, fueron los compuestos volátiles más importante encontrados en la familia de los alcoholes, mientras que para los aldehídos los fueron el furfural, 5-methyl-2-Furancarboxaldehyde y 3-methyl-butanal, así como el methyl-pyrazine, 2-carboxaldehyde-1-methyl-1H-Pyrrole y 2,6-dimethyl-pyrazine lo fueron para la familia de pirazinas.

En las muestras de café con una intensidad de tostado medio la mayor concentración de compuestos volátiles se encuentra en los alcoholes (368,65 mg/l), aldehídos (344,25 mg/l), y pirazinas (217,62 mg/l). Dentro de la familia de los alcoholes los compuestos con mayor presencia fueron el 2-furanmethanol, acetate-2-furanmethanol y 2-methoxy-phenol, así como el furfural, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde y 3-methyl-butanal para los aldehídos y la methyl- pyrazine, pyridine y 2,6-dimethyl- Pyrazine en la familia de las pirazinas.

Las muestras a la que se les aplicó el tostado oscuro se caracterizaron por presentar una mayor concentración de la familia de compuestos: alcoholes (324,70 mg/l), aldehídos (261,85 mg/l), y pirazinas (238,84 mg/l). El 2-furanmethanol, acetato-2-furanmethanol y 1-13-Heptadecynol fueron los compuestos volátiles de mayor presencia en la familia de los alcoholes, mientras que el furfural, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde y 5-methyl-2-(2-furanylmethyl)-furano fueron los aldehídos y para las pirazinas el pyridine, methyl- pyrazine y 2-Formyl-1-methylpyrrole.

Czerny y Mayer (1999), reportaron que durante el tostado del café *arábico* se encontró el 2-furfuriltiol, 4-vinilguaiacol, varias alquilpirazinas, furanonas, acetaldehído y propanol, responsables de los aromas agradables en la taza de café, algunas familias de estos compuestos fueron identificados en la presente investigación.

Houessou (2014), reportó para café tostado a diferentes intensidades y grupo de familias: furanos, pirroles, pirazinas, piridinas, aldehídos, cetonas, fenoles, compuestos azufrados, aminas y alcoholes; siendo las cetonas y alcoholes los más abundantes. Toci y *col.* (2014) comentaron que la intensidad de tostado afecta de manera diferente a los compuestos volátiles. A intensidades más fuertes se encuentran concentraciones más de bajas fenoles y que es posible cambiar los perfiles de compuestos volátiles del café a través del proceso de tostado. Chin y *col.* (2011), usando una intensidad de tostado medio, reportaron las familias de compuestos volátiles: ácidos, furanos, cetonas, láctanos, fenoles, pirazinas, piridinas, pirroles y compuestos azufrados, siendo las piridinas y los ácidos los que se encontraron en mayor concentración (36,86 y 33,80 ppm, respectivamente).

Franca y *col.* (2009), en estudios con café *arábico* tostado, reportaron la presencia de familias de compuestos de pirazinas en todas las intensidades de tostado, así como el furfural el de mayor concentración. El 2-furanmethanol, encontrado en las intensidades de tostado, fue reportado por Chin (2011), indicando que este está asociado a un olor a quemado y desagradable en la taza de café. El 3-methyl-butanal, encontrado en la intensidad de tostado claro y medio, fue reportado por Fenaroli (2001), el cual comentó que éste está asociado a una nota picante en la bebida de café. Considerando las investigaciones de Ribeiro y *col.* (2009); Illy y Viani, (1995); Dark y Nursten (1985); Puerta (2011) y los resultados encontrados en esta investigación, se infiere que las muestras de cafés estudiadas presentaron notas sensoriales a florales, frutados y amargos.

La Figura 3.13, muestra el porcentaje de la familia de los compuestos volátiles según su intensidad de tostado. En la misma se puede apreciar que en el tostado claro se encontró el mejor porcentaje de alcoholes y aminas, mientras que en el tostado medio el mayor porcentaje de aldehídos, así como en el tostado oscuro el mayor porcentaje de alcoholes y pirazinas. Ahora bien, los alcoholes, cetonas y pirazinas tienden a aumentar desde el café verde a la mayor intensidad de tostado, mientras que los alquenos, alcanos, ácidos y esteres disminuyen.

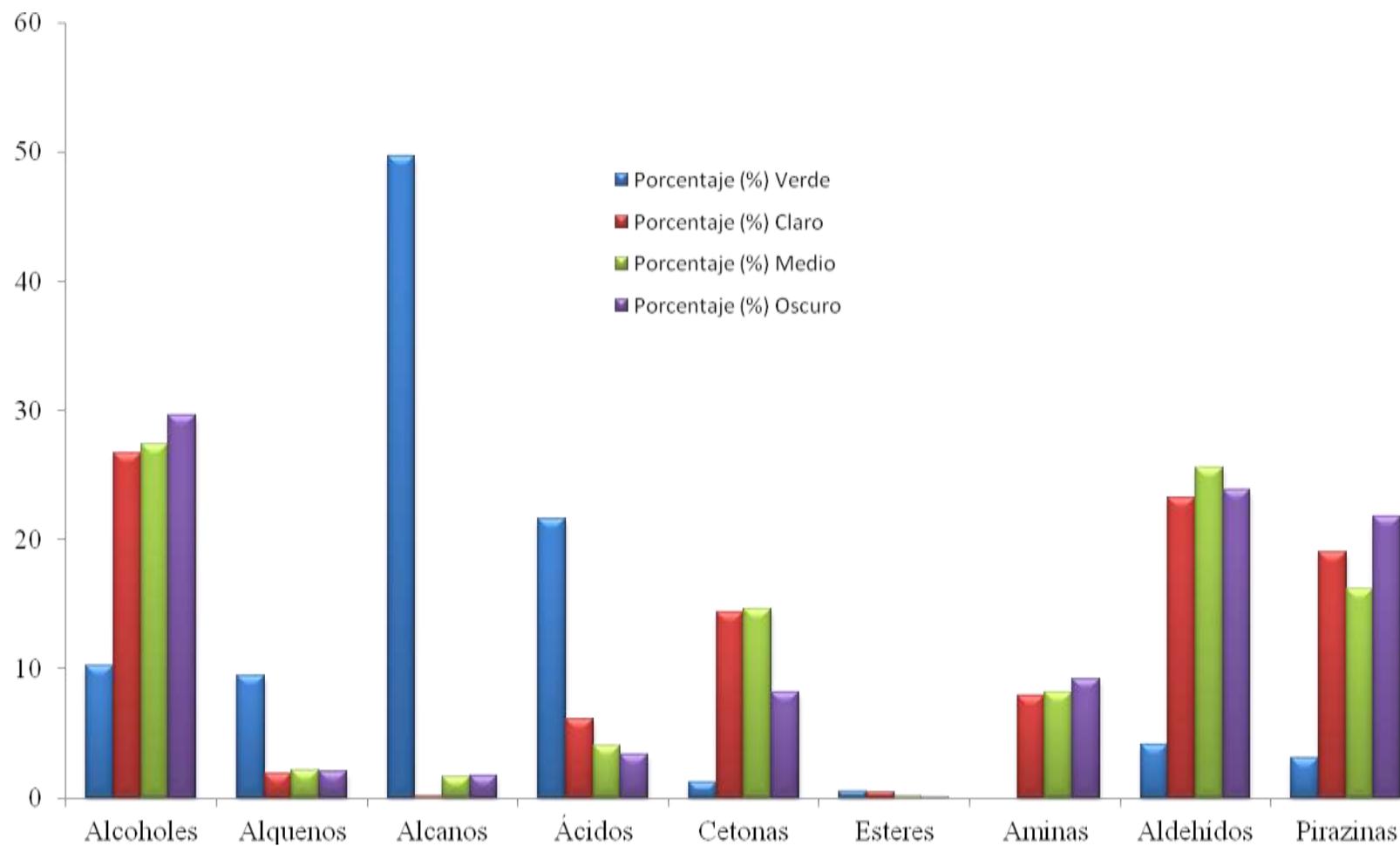


Figura 3.13. Porcentaje de la familia de los compuestos volátiles según su intensidad de tostado.

Compuestos no volátiles

En el cuadro 3.13 se muestran los promedios de los resultados obtenidos de la determinación de los compuestos no volátiles en el café verde según su intensidad de tostado, donde se aprecia que existe diferencia altamente significativa en casi todos los compuestos no volátiles estudiados, a excepción de la cafeína.

En el tostado claro se encontró el mayor contenido de glucosa (0,21 %) y fructosa (0,26 %), mientras que en el tostado medio se encontró el mayor contenido de cafeína (1,14 %), así como en el tostado oscuro el contenido de materia grasa (15,75 %). En esta última intensidad de tostado no se apreció presencia de glucosa y fructosa, así como el menor contenido de sacarosa (0,04 %), trigonelina (0,32 %) y ácido clorogénico (1,23 %). También se observa que de las tres (3) intensidades de tostado estudiadas, el tostado medio es donde se aprecia el mayor contenido de cafeína (1,14 %).

En la Figura 3.14, se muestra la tendencia de los compuestos no volátiles en el café verde según la intensidad de tostado, en el mismo se observa el pronunciado descenso de los ácidos clorogénicos a medida aumenta la intensidad del tostado, así mismo que se puede encontrar mayor cantidad de materia grasa en los cafés con intensidad de tostado fuerte en comparación a las intensidades media y clara.

Una tendencia inversa se encontró para el contenido de trigonelina, la cual sufre una ligera disminución de verde a tostado claro y tostado medio, pero disminuye apreciablemente en el tostado oscuro. También se observa una mayor cantidad de los contenidos de polisacáridos (sacarosa, glucosa y fructosa) en los cafés con tostado claro, en comparación al café verde y a las otras intensidades de tostado. La alta temperatura puede ocasionar la degradación térmica de los polisacáridos, particularmente la pérdida de agua para formar derivados anhidros, razón por la cual se puede apreciar mayor contenido de polisacáridos en el café con una intensidad de tostado claro.

Así mismo, a altas temperaturas finos poros permiten la movilización de aceite del café que migra hacia la superficie (Illy y Viani, 1995), lo que puede explicar el aumento del contenido de materia grasa a medida que la intensidad de tostado aumenta. Para Farah y *col.* (2006), la calidad del café disminuye a medida que el contenido de trigonelina decrece, éste es determinante en la formación de aromas al momento de tostado de café.

Se ha asociado altos contenidos de trigonelina con baja calidad del café producto del aumento del sabor amargo en la bebida de café (Illy y Viani 1995; Shankaranarayana y Abraham, 1986). Posiblemente esto se debe a que durante el tostado del grano, este sufre una progresiva degradación, dando lugar a la formación de ácido nicotínico (Clifford, 1985; Taguchi y *col.* 1985; Vaast y *col.*, 2005).

Farah y *col.* (2006), reportaron que el tostado provoca una reducción del 30 % en el contenido de cafeína. Shankaranarayana y Abraham (1986) y Farah y *col.* (2006), comentaron que la cafeína es determinante para el sabor del café debido a que es responsable del amargor, por lo que es considerada como uno de los principales precursores del sabor, también se le atribuye la mayoría de las actividades estimulantes de la bebida del café, motivo por el cual en el tostado claro (que presentó un porcentaje de cafeína de 1,04 %) es la muestra que los panelistas encontraron menos amarga.

El proceso de tostado es responsable de la apertura de la matriz de la pared celular dando como resultado la solubilización de los polisacáridos sobre la extracción (Leloup y Liardon, 1993). La glucosa también parecía ser muy estable en el tostación, aunque inicialmente ocurre una caída en el porcentaje de glucosa, está se incrementa al aumentar la intensidad de tostado, probablemente como resultado de la conversión a sacarosa, que se encuentra presente en el grano verde (Mazzafera, 1999; Wolfrom y *col.*, 1960), aunque este efecto no fue visto por Redgwell y *col.* (2003) al igual que en la presente investigación.

Cuadro 3.13. Compuestos no volátiles del café según el proceso de tostado

Compuestos no volátiles (% en base seca)	Café				Significancia		Diferente (Tostado)
	Verde	TC	TM	TO	Paramétrico	No paramétrico	
Glucosa	0,04	0,21	0,01	0	**	*	Todos
Fructosa	0,02	0,26	0,01	0	**	*	Claro
Sacarosa	6,64	1,02	0,07	0,04	**	*	Todos
Trigonelina	0,84	0,81	0,69	0,32	**	*	Todos
Materia Grasa	15,3	9,74	12,26	15,75	**	*	Claro y medio
Cafeína	1,18	1,04	1,14	1,09	ns	*	Claro
Acido Clorogénico	9,83	5,95	4,28	1,23	**	*	Todos

Altamente significativa (**); Significativa (*); No significativa (ns); Tostado claro (TC); Tostado medio (TM); Tostado oscuro (TO).

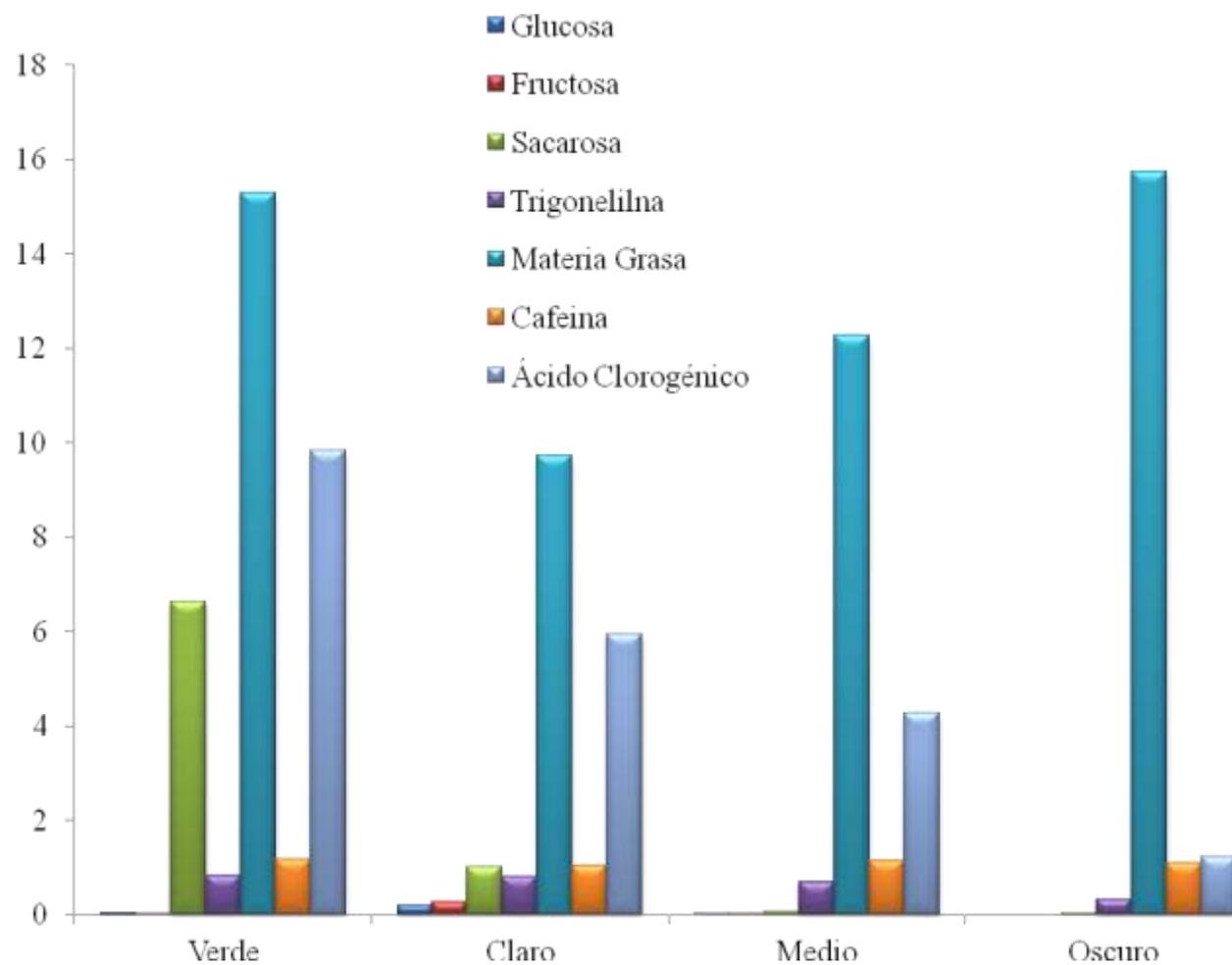


Figura 3.14. Tendencia de los compuestos no volátiles en el café verde a tostar y según la intensidad de tostado

CAPITULO 4

Consideraciones Finales

Los descriptores sensoriales del café *arábico* del municipio sucre estado portuguesa más resaltantes fueron la intensidad del olor (5,133), cuerpo (4,610), calidad global (4,607) y amargo (4,343); así mismo se observó que el descriptor astringente y frutado tuvieron una valoración por el panel sensorial de 2,293 y 1,264 respectivamente. Los compuestos no volátiles presentes en el café *arábico* del municipio Sucre Estado Portuguesa, revelaron los siguientes porcentajes: 14,60 % de grasa, 1,143 % de cafeína, 0,276 % de glucosa, 0,080 de fructosa, 9,186 de sacarosa, 9,084 de ácido clorogénico y 1,009 de trigonelina.

Entre los descriptores sensoriales y los compuesto bioquímicos se apreció que la intensidad del olor está asociada con la glucosa ($r= 0,47$) y sacarosa ($r= 0,44$), la sacarosa con: cuerpo ($r= 0,64$); astringencia ($r= 0,79$); áspero ($r= 0,46$) y verde ($r= 0,53$). El cuerpo con la trigonelina ($r= 0,40$) y la fructosa (0,33). La astringencia con la trigonelina ($r= 0,53$) y el verde con la trigonelina ($r= 0,47$). El ácido clorogénico tiende a estar correlacionado negativamente con el frutado ($r= -0,42$). Todas las demás correlaciones fueron significativas. En el beneficio húmedo secado al sol resaltaron los descriptores: intensidad del olor (5,12), calidad global (4,81), acidez (4,63), cuerpo (4,37) y amargo (4,32); al igual que en el beneficio por vía seca los descriptores intensidad del olor (4,76), calidad global (4,22), acidez (4,66), cuerpo (4,76) y amargo (4,39). En ambos beneficios se pudo apreciar notas frutadas en las muestras evaluadas. Se encontró diferencias significativas en los descriptores sensoriales: intensidad del olor, cuerpo, amargo, frutado, áspero y calidad global. Los alcanos y los alquenos fueron la fracción volátil más importante en el beneficio del café por vía humedad secado al sol con una concentración de 94,8 mg/l y 18,04 mg/l, siendo el 2, 2, 4, 6,6-Pentamethyl- Heptano, 4-methyl-Octano y octamethyl- cyclotetrasiloxano los compuestos más abundante en los alcanos y en los alquenos el 2,4-dimethyl-1-hepteno, 4, 6,8-trimethyl-1-noneno y el limoneno.

En el beneficio del café por vía seca la fracción volátil estuvo compuesta por los alcanos (86,44 mg/l) y los ácidos (40,9 mg/l), dentro de los alcanos los más abundante fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl-Heptano, 4-methyl- octano y undecano, y de los ácidos el ácido 3-methyl-butanoico, ácido acético methyl ester y el ácido acético.

Se logró evidenciar que en el beneficio por vía seca existe una diferencia altamente significativa en los compuestos no volátiles grasa, sacarosa y ácido clorogénico, los mismos arrojaron valores promedio de 14,13 %, 9 % y 9,16 % para grasa, sacarosa y ácido clorogénico, respectivamente. Mientras que en el beneficio por vía humedad secadas al sol se encontraron porcentaje de 14,84 %, 8,41 % y 8,68 % para grasa, sacarosa y ácido clorogénico, respectivamente. Los análisis permitieron inferir que el beneficio no tuvo incidencia sobre los compuestos no volátiles cafeína, glucosa, fructosa y trigonelina.

Se apreció diferencia estadística para los descriptores intensidad del olor, frutado, áspero y calidad global en las diferentes altitudes estudiadas. A altitudes entre 1153-1370 msnm la intensidad del olor es más baja que a altitudes mayores a 1371 msnm y menores de 1152 msnm, pero los descriptores frutados y la calidad global son mayores que en las otras zonas de altitudes estudiadas. Cuando la altitud es mayor a 1371 msnm, se encontró que la taza de café presentaba mayor intensidad de áspero. A altitudes menores a 1152 msnm se reportó la mejor intensidad del olor en la taza de café, mientras que entre 1153-1370 msnm se percibió una mejor calidad global, frutada y acidez y a altitudes superiores a 1371 msnm se encontraron muestras de café con mayor astringencia y amargor.

La concentración de alcanos (92,23 mg/l), alquenos (32,66 mg/l) y ácidos (30,43 mg/l), es la familia de compuestos volátiles más relevantes en los cafés cosechados a altitudes menores a 1152 msnm. Dentro del grupo de los alcanos, los más abundantes fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- heptano, 4-methyl- octano, y undecano, para los alquenos fueron el limoneno, 2,4-dimethyl-1-hepteno y 4, 6,8-trimethyl-1-Noneno y en los ácidos el ácido acético methyl ester, ácido acético y ácido acético methyl ester-8, 10-heptadeceninoico. Para altitudes entre 1153-1370 msnm la familia de compuestos volátiles con más abundancia fueron los alcanos (128,6 mg/l), alquenos (18,57 mg/l) y alcoholes (8,37 mg/l). El 2,2,4,6,6-pentamethyl-heptano, 4-methyl-octano y octamethyl-cyclotetrasiloxano, fueron

los alcanos más abundantes, mientras que el 2,4-Dimethyl-1-hepteno, 4,6,8-trimethyl-1-Noneno, 5-Ethyl-1-noneno y ethylbenzeno fueron los alquenos más resaltantes encontrados en las muestras de café. Dentro de los alcoholes más importantes encontrados se pueden mencionar al 2-butyl-1-octanol, 1-hexanol y 2-furanmethanol.

Los alcanos (120,61 mg/l), ácidos (30,64 mg/l) y alquenos (17,19 mg/l), fue la familia de compuestos con mayor presencia en las muestras de café evaluadas a altitudes mayores a 1371 msnm. Dentro de los alcanos más abundantes se pueden mencionar al octamethyl-cyclotetrasiloxano, 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- heptano y 4-methyl- octano, para los ácidos a 3-methyl- ácido butanoico, ácido acético y ácido acético- methyl ester y para los alquenos se encontraron a 2, 4-dimethyl-1-hepteno, 4, 6, 8-trimethyl-1-noneno, 5-ethyl-1-noneno y ethylbenzeno. Se encontró diferencias estadísticas entre los valores de la cafeína, sacarosa y el ácido clorogénico, siendo las muestras ubicadas en altitudes entre 1153-1370 msnm las diferentes, presentado valores elevados de los compuestos sacarosa (10,35 %) y ácido clorogénico (9,30 %). La altitud pareciera no tener efecto significativo sobre el contenido de glucosa, fructosa y trigonelina.

Se encontró diferencia estadística en los descriptores intensidad del olor y cuerpo para las variedades estudiadas, siendo el *Catuai amarillo* la muestra diferente, así mismo para los descriptores astringente y áspero también presentó diferencias estadísticas, sin embargo, la misma se debe a la muestra de café *Caturra*. Para el resto de los descriptores sensoriales (Acidez, amargo, frutado y calidad global) se puede mencionar que entre las variedades estudiadas no existió diferencias significativas. La variedad *Catuai amarillo* se caracterizó por presentar mayor concentraciones de compuestos volátiles alcanos (100,46 mg/l), aldehídos (mg/l) y alquenos (24,65 mg/l). Dentro de los alcanos los más resaltantes fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- heptano, octamethyl- cyclotetrasiloxano y 4-methyl-octano, en los aldehídos los más importantes fueron el hexanal, 3-benzyloxy-2-fluoro-4-methoxy-benzaldehyde y nonanal. Los alquenos más abundantes encontrados fueron el 2,4-dimethyl-1-hepteno, 4,6,8-trimethyl-1-noneno y D-Limoneno.

Los alcanos (85,17 mg/l), alquenos (60,89 mg/l) y ácidos (14,79 mg/l) fueron las familias de compuestos volátiles de mayor concentración en la variedad *Caturra*. Dentro

del grupo de los alcanos, los más importantes fueron el octamethyl- cyclotetrasiloxano, 4-methyl-octano y undecano, mientras que en los alquenos se pueden citar al 2,2,4,6,6-pentamethyl- heptano, limoneno y 2,4-dimethyl-1-hepteno, así como en los ácidos la presencia de ácido acético, ácido acético-methyl ester y ácido eicosanoico-phenylmethyl ester. En la variedad *Typica*, la familia de compuestos que presentaron mayor concentración fueron los alcanos (53,83 mg/l), esterés (28,64 mg/l), en los alquenos (27,08 mg/l). El 4-methyloctano, undecano y octano fueron los compuestos más importante dentro de los alcanos, para los esterés se encontraron el methyl isovalerate, isobutonoato de isoamyl y methyl phenyl acetate, mientras que en los alqueno, fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl- hepteno, tolvono y 1, 2,3-trimethyl benceno.

Se encontró diferencias significativas entre las variedades estudiadas para los compuestos no volátiles grasa, glucosa, fructosa y ácido clorogénico, pero no en los contenidos de cafeína, sacarosa y trigonelina. La diferencia en el contenido de grasa se debe a la variedad *Typica* (15,11 % de grasa), la de glucosa y ácido clorogénico es debido a la variedad *Catuai amarillo* (1,004 % y 8,758 %, respectivamente), la variedad *Caturra* fue la muestra diferente en cuanto al contenido de fructosa (0,045 %). Estadísticamente los descriptores intensidad del olor, acidez, amarga, frutada, áspera y calidad global, presentaron diferencias significativas, mientras que los demás descriptores estudiados (cuerpo y astringente) no presentaron diferencia estadísticas. La intensidad de tostado claro provocó una diferencia altamente significativa sobre el descriptor sensorial amargo, mientras que en el tostado claro la diferencia se apreció para los descriptores sensoriales frutado y calidad global y en el tostado oscuro, se observó diferencia estadística sobre la intensidad del olor, acidez y áspero.

En la intensidad de tostado claro se observó una mejor apreciación del descriptor acidez (5,82) y menor apreciación de la intensidad del olor (5,35), cuerpo (4,59), amargo (3,76), astringente (2,35), frutado (0,35) y áspero (0,29). En el tostado medio se apreció mayor presencia de las notas sensoriales cuerpo (5,29), frutado (1,53) y calidad global (5,06) y para el tostado oscuro fueron los descriptores intensidad del olor (6,71), amargo (5,82), astringente (3,18) y áspero (1,88). La muestra de café verde a tostar se caracterizó por presentar mayor concentración de los compuestos volátiles alcanos (89,67 mg/l), ácidos

(39,07 mg/l) y alcoholes (18,45 mg/l). Dentro de los alcanos los compuestos con mayor presencia fueron el 2, 2, 4, 6,6-pentamethyl heptano, 4-methyl octano y octamethyl cyclotetrasiloxano, en los ácidos lo fueron el ácido acético, ácido acético-methylester y ácido hexanoico y para la familia de compuesto volátiles alcoholes fueron el 1-hexanol, 2-butyl-1-octanol y phenyl-ethyl-alcohol.

Los compuestos volátiles con mayor concentración en la intensidad de tostado claro fueron la familia de compuestos de alcoholes (300,62 mg/l), aldehídos (261,91 mg/l) y pirazinas (213,94 mg/l). El 2-furanmethanol, acetato-2-furanmethanol y 2-methoxy-phenol, fueron los compuestos volátiles más importante encontrados en la familia de los alcoholes, mientras que para los aldehídos los fueron el furfural, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde y 3-methyl-butanal, así como el methyl-pyrazine, 2-carboxaldehyde-1-methyl-1H-pyrrole y 2,6-dimethyl-pyrazine lo fueron para la familia de pirazinas. En las muestras de café con una intensidad de tostado medio la mayor concentración de compuestos volátiles se encontró en los alcoholes (368,65 mg/l), aldehídos (344,25 mg/l), y pirazinas (217,62 mg/l). Dentro de la familia de los alcoholes, los compuestos con mayor presencia fueron el 2-furanmethanol, acetate-2-furanmethanol y 2-methoxy-phenol; así como el furfural, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde y 3-methyl-butanal en los aldehídos y la methyl- pyrazine, pyridine y 2,6-dimethyl- pyrazine en la familia de las pirazinas.

Las muestras a la que se les aplicó el tostado oscuro se caracterizó por presentar una mayor concentración de la familia de compuestos de alcoholes (324,70 mg/l), aldehídos (261,85 mg/l), y pirazinas (238,84 mg/l). El 2-furanmethanol, acetato-2-furanmethanol y 1-13-heptadecynol fueron los compuestos volátiles de mayor presencia en la familia de los alcoholes, mientras que el furfural, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde y 5-methyl-2-(2-furanylmethyl)-furano lo fueron en los aldehídos y para las pirazinas el pyridine, methyl-pyrazine y 2-formyl-1-methylpyrrole. Se encontró diferencias altamente significativas en casi todos los compuestos no volátiles estudiados, a excepción de la cafeína. En el tostado claro se observó el mayor contenido de glucosa (0,21 %) y fructosa (0,26 %), mientras que en tostado medio se apreció el mayor contenido de cafeína (1,14 %), así como en el tostado oscuro el contenido de materia grasa (15,75 %). En esta última intensidad del tostado no se apreció presencia de glucosa y fructosa, así como un menor contenido de sacarosa (0,04

%), trigonelina (0,32 %) y ácido clorogénico (1,23 %). También se observó que de las tres (3) intensidades de tostado estudiadas, en el tostado medio fue donde se apreció el mayor contenido de cafeína (1,14 %).

REFERENCIAS

- Acuña, R.; Basuner, R.; Beilinson, V.; Cortina, H.; Cadenas, G.; Montes, V.; Nielsen, NC. 1999. Coffee seeds contain 11S storage proteins. *Physiology Plantarium*, 105(1), pp 122-131.
- Aguilar, P.; Ribeyre, F.; Berthiot, L.; Bastide, P.; Lopez, M. 2012. Venezuelan coffee from Biscucuy: The first sensorial evaluation of its aroma potential. *24th ASIC international conference on coffee science*, ASIC 2012, Costa Rica, from November 11th to 16th.
- Akiyama, M.; Murakami, K.; Ohtani, N.; Iwatsuki, K.; Sotoyama, K.; Wada, A. 2003. Analysis of volatile compounds releases during the grinding of roasted coffee beans using solid-phase microextraction. *J. Agric. Food Chem.*, 51(7), pp 1961–1969.
- Anese M.; Manzocco L.; Nicoli M.C. 2006. Modeling secondary shelf-life of ground roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.*, 54(15), pp 5571–5576.
- Arruda, N. P.; Hovell, A. M. C.; Rezende, C. M.; Freitas, S. P.; Couri, S. y Bizzo, H. R. 2012. Correlation between precursors and volatiles in Brazilian *Arábico* coffee processed by dry, semi-dry and wet methods and discrimination by principle component analysis. *Quimica Nova*, 35(10), pp 2044–2051.
- Asociación Salvadoreña de Beneficiadores y Exportadores de Café. (ABECAFE). 1998. Glosario de términos de sabor. Edición especial.
- 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. *J. Sci. of Food and Agriculture*, 85, pp 1869-1876.
- Avelino, J; Perriot, J; Guyot, B; PinedaC; Decazy F; Cilas C. 2002. Identifying terrior coffees in Honduras. *Plantions recherche developpement*. pp 6-16.
- Baltes, W. y Bochmann, G. 1987. Model Reactions on Roast Aroma Formation. 1. Reaction of Serine and Threonine with Sucrose under the Conditions of Coffee Roasting and Identification of New Coffee Aroma Compounds. *J. Agr. Food Chem.*, 35(3), pp 340–346.

- Banegas, K. 2009. Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad de café (*coffea arábico*) en los Municipios de el Paraíso y Alaca. Trabajo de grado presentado al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) para optar al título de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica.
- Barrios, AW; Ovalle, CF; Dávila, RJ; Valdez, RA; Solís, ME; Muñoz, CR. 1998. Beneficiado Húmedo y su Control de Calidad. *In Manual de Caficultura. ANACAFE*. Ciudad de Guatemala. Guatemala. pp 229-259.
- Basto, C. y Alves, R. 1999. Componentes Volátiles do Café Torrado. Parte I. Compostos Heterocíclicos. *Quimica Nova*, 22(2), pp. 209-217.
- Bertrand, B.; Boulanger, R.; Dussert.; Ribeyre, F.; Berthiot, L.; Descroix, F.; Joet, T. 2012. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green *Arábico* coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food Chemistry*, 135(4), pp 2575-2583.
- Bertrand, B.; Guyot, B.; Anthony, F.; Lashermes, P. 2003. Impact of the *coffea Canephora* gene introgression on beverage quality of *C. Arábico*. *Theor Appl Genet.*, 107(3), pp 387-394.
- Bertrand, B.; Vaast, P.; Alpizar, E.; Etienne, H.; Davrieux, F. y Charmetant, P. 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of *Arábico* hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*, 26(9), pp 1239-1248.
- Bhumiratana, N.; Adhikari, K.; Chambers, E. 2011. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *Food Science and Technology*, 44(10), pp 2185-2192.
- Bicchi, C.; Iori, C.; Rubiolo, P., y Sandra, P. 2002. Headspace sorptive extraction (HSSE), stir bar sorptive extraction (SBSE), and solid phase microextraction (SPME) applied to the analysis of roasted *arábico* coffee and coffee brew. *J. Agric. Food Chem.*, 50(3), pp 449–459.
- Blank, I. (2002). Sensory relevance of volatile organic sulfur compounds in food. ACS Symposium. Series 82. Edited by Gary A. Reineccius and Terry A. Reineccius. Washington: American Chemical Society, ISBN 0-8412-3777-8.
- Bolívar, C. (2009). Monografía sobre el galactomananos del grano de café y su importancia en el procesamiento para la obtención del café soluble. Trabajo de grado presentado a la Universidad Tecnológica de Pereira para optar al título de Ingeniero Químico Industrial. Pereira, Colombia.

- Bondarovich, H. A.; Friedel, P.; Krampfl, V.; Renner, J. A.; Shephard, F. W. y Gianturco, M. A. 1967. Volatile Constituents of Coffee. Pyrazines and Other Compounds. *J. Agr. Food Chem.*, 15(6), pp 1093–1099.
- Bonnländer, B. y Eggers, R. 2005. Roasting. *En: Espresso Coffee The Science of Quality*, 2da ed.
- Bradbury, A.G.W. 2001. Carbohydrates in coffee. *19 th International Colloquium on the Chemistry of Coffee, ASIC*. Paris, Francia.
- Brownbridge, J. y Gebreigzabhair, E. 1968. The quality of some of the main Ethiopian mild coffees. *Turrialba*, 18, pp 361-372.
- Buenaventura-Serrano, C (2002). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestra de café procedente del ecotopo 206B en Colombia. *Cenicafé*, 53(2), pp 119-131.
- Bytof, G.; Knopp, S.; Schieberle, P.; Teutsch, I. y Selmar, D. 2005. Influence of processing on the generation of c-aminobutyric acid in green coffee beans. *European Food Research and Technology*, 220(3), pp 245–250.
- Carisono, A. y Garibaldi, L. 1964. Gas Chromatography examination of fatty acids of coffee oil. *J. Sci. Food and Agriculture*, 15(9), pp 619-622.
- Centre pour la Recherche Agricole pour le Développement (CIRAD). 2003. Dosages de la cafeine.
- Centre pour la Recherche Agricole pour le Développement (CIRAD). 2003. Determination de la Trigonelline.
- Centre pour la Recherche Agricole pour le Développement (CIRAD). 2005. Dosage des polysaccharides dans le café vert.
- Centre pour la Recherche Agricole pour le Développement (CIRAD). 2006. Dosages de la matières grasses.
- Centro de Comercio Internacional (CCI). 1992. *Café: Guía del Exportador*. Suiza. pp 402.
- Chin, S.; Eyres, G. y Marriott, P. 2011. Identification of Potent Odourants in Wine and Brewed Coffee Using Gas Chromatography-Olfactometry and Comprehensive Two-dimensional Gas Chromatography. *J. Chromatography A.*, 1218(42):7487-7498.
- Clarke, R.J. 1987. Grading, storage, pre-treatments and blending. *Coffee technology*, 2, pp 35–58.

- Clarke, R.J. y Macrae, R. 1985. Coffee: Chemistry. *Londo: Elsevier Applied Science Publisher*, pp 306.
- Cleves, R. y Astúa, G. 1998. Defectos y vicios del café que se origina o manifiestan en el beneficiado. Tecnología en Beneficiado de Café. *In Cleves S. R. Eds.*, pp. 1521.
- Clifford, M. 1975. The composition of green and roasted coffee beans. *Proc. Biochem*, 10(3) pp. 20-23.
- Clifford, M. 1985. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*, pp 305-374.
- Clifford, M. 1999. Chlorogenic acids and other cinnamates—nature, occurrence, dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, pp 362–372.
- Clifford, M. 2000. Chlorogenic acids and other cinnamates—nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. *J. Agric. Food Chem.*, 80, 1033–1042.
- Cross, E. 2009. Calidad integral en la Agrocadena del Cacao / Estándares de calidad de cacao que se requiere para la producción industrial de chocolate y otros derivados del cacao. Modernización de la Cacaocultura de Centroamérica. Guatemala.
- Czerny, M. y Grosh W. 2000. Potent Odorants of Raw *Arábico* Coffee. Their Changes during Roasting. *J. Agr. Food Chem.*, 48(3), pp 868–872.
- Czerny, M. y Mayer, F. 1999. Sensory study on the character impact odorants of roasted *Arábico* coffee. *J. Agr. Food Chem.*, 47(2), pp 695–699.
- Czerny, M.; Mayer, F. y Grosch, W. 1999. Sensory study on the character impact odorants of roasted *Arábico* coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), pp 695–699.
- Da Eira, A. 2005. Atributos químicos de especies de café. Trabajo de grado presentado en la Universidad de Sao Paulo para optar al título de Doctor en Agronomía. Piracicaba, Brasil.
- Dalla, R.; Barbanti, D. y Nicoli, M. 1986. Production of high yield coffee. *Brew's quality. Industrie Alimentari*, 25, pp 537–540.
- Dark, S. y Nursten, H. 1985. Volatile Components. Coffee Chemistry. *Elsevier Applied Science Publishers: New York, U.S.A*, 1, pp 223-265.
- Decazy, F; Avelino, J; Guyot, B; Perriot, J; Pineda, C.; Cilas, C. 2003. Quality of different Honduran Coffees in relation to several environments. *J. of Food Sci.*, 68(7), pp 2356-2361.

- Deliza, R.; Sá, J.; Mattos, C.; Ares, G.; Farah, A. 2012. Effect of roasting conditions on sensory response to Coffee brew: exploring consumer perception. *24th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 2012, Costa Rica, from November 11th to 16th
- Dentan, E. 1985. Étude microscopique du développement et de la maturation du grain de café. *Colloque scientifique international sur le café*, pp 381-398. Paris.
- Descroix, F y Snoeck, J. 2004. Environmental factors suitable for Coffee cultivation. In *J Wintgens. eds. Coffee: Growing Processing Sustainable Production*, pp164-177. Alemania.
- Dos Santos, S. y De Oliveira, P. 2010. Influence of the postharvest processing method on polysaccharides and coffee beverages. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(10), pp 2167–2175.
- Duarte, G.; Pereira, A. y Farah, A. 2010. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. *Food Chemistry*, 118(3), pp 851–855.
- Duicela, G.; Guamán, J.; Corral, C.; Farfán, T. 2010. Métodos de beneficio del café *arábico*. *COFENAC. Boletín Divulgativo N° 07*, p 16.
- Escarramán, A.; Romero, J.; Almonte, I.; Ribeyre, F.; Aguilar, P.; Jiménez, H.; Causse, A.; Olivares, F.; Batista, I. 2007. Determinación de los atributos de calidad del café en zonas productoras de la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) y Consejo Dominicano del Café (CODOCAFE). Santo Domingo, DO. p 98.
- Farah, A; Monteiro, M; Calado, V; Franca, A.; Trugo, L. 2006. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), pp 373-380.
- Farfán, T. 2000. Comparación de tres procesos postcosecha sobre la calidad organoléptica del café (*Coffea arábico* L.) variedad *Caturra* rojo en la Provincia de Manabí. Trabajo de grado presentado a la Universidad Técnica de Manabí para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Manabí, Ecuador.
- Feldman, J.; Ryder, W. y Kung, J. 1969. Importance of nonvolatile compounds for the flavor of coffee. *J. Agr. Food Chem.*, 17(4), pp 733-739.
- Fenaroli, G. (2001). *Handbook of flavor ingredients*. 4th ed. ISBN 0-8493-0946-8.
- Fennema, O. (2000). *Química de los Alimentos*, 3era ed.; Acriba S.A.: Zaragoza, España. 1259 pp.

- Figueiredo, L.; Borem, F.; Ribeiro, F.; Giomo, G.; Rios, P.; Tosta, M. 2012. Quality coffee (*coffea arábico l.*) subjected to two processing types. *24th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 2012, Costa Rica, from November 11th to 16th
- Figuerola, R; Fischersworing,B; Rosskamp, R. 1998. Guía para la caficultura ecológica: café orgánico. 2 ed. Lima Perú. 176 pp.
- Fischersworing, B y Rosskamp, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3 ed. Lima Peru. 153 pp.
- Flament, I. 2002. Coffee Flavor Chemistry. *West Sussex: John Wiley and Sons*, pp 1-395.
- Franca, A., Oliveira, L., Mendonça, J. y Silva, X. 2005. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry*, 90(1–2), pp 89–94.
- Franca, A.; Oliveira, L.; Pamela, O.; Agresti, M. y Augusti, R. 2009. A Preliminary Evaluation of the Effect of Processing Temperature on Coffee Roasting ree Assessment. *J. of Food Engineering*, 92(3), pp 345–352.
- Franca, A; Mendonc, A.; Oliveira, S. 2005. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie*, 38(7), pp 709–715.
- Friedel, P.; Krampl, V.; Radford, T.; Renner, J.; Shephard, F. y Gianturco, M. 1971. Some Constituents of the Aroma Complex of Coffee. *J. Agr. Food Chem.*, 19(3), pp 530-532.
- Gautschi, F.; Winter, M.; Flament, Y.; Willhalm, B. y Stoll, M. 1967. New Developments in Coffee Aroma Research. *J. Agr. Food Chem.*, 15(1), pp 15-23.
- Geel, L; Kinnear, M.; Kock, H. 2005. Relating consumer preferences to sensory attributes of instant coffee. *Food Quality and Preference*, 16(3), pp 237-244.
- Gonzaine, R. (2010). Café Grano de Oro de Biscucuy. Hacia una industria cafetalera Venezolana. Bogotá Colombia. CAF.
- Gonzalez-Rios, O.; Suarez-Quiroz, M.; Boulanger, R.; Barel, M.; Guyot, B. y Guiraud, J. 2007. Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), pp 289–296.
- González-Sánchez, H.; González-Palomares, S. y Rosales-Reyes, T. 2011. Café (*Coffea arábico L.*): Compuestos volátiles relacionados con el aroma y sabor. *Unacar Tecnociencia*, 5(2), pp 35 - 45.

- Gopalakshna, N y Natarajan C. 1972. Some aspects of quality in coffee. *Indian Coffee*, 36(1), pp 15-20.
- Holsher, W.; Vitzthum, O. y Steinhart, H. 1992. Prenyl Alcohol-Source for Odorants in Roasted Coffee. *J. Agr. Food Chem.*, 40(4), pp 655-658.
- Houessou, J. 2014. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café : mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement Discipline: Chimie Analytique. Institut des sciences industries du Vivant et de L'environnement, Paris, Ecole Doctorale ABIÉS. Paris, France.
- Ignacio, S. 2007. Caracterización Morfológica y agronómica de la colección núcleo de café (*Coffea arábica* L.) del CATIE. Trabajo de grado presentado a la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para optar al título de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica
- Illy, A. y Viani, R. 1995. Espresso Coffee: The Chemistry of Quality, 1ra ed.; Academic Press: Londres, UK., pp Pp 1- 253.
- Illy, A; Viani, R. (1995). Espresso Coffee: The Chemistry of Quality. Hong Kong. Academic Press Limited., pp 1-253
- Instituto nacional de estadística (INE). 2014. Encuesta de seguimiento al consumo de alimento. Informe semestral, segundo semestre del 2012 al primer semestre del 2014.
- Instituto nacional de estadística (INE). 2013. Venezuela. Proyección de la población, según entidad y sexo, 2000-2008.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1992. Factores que influyen la calidad del café. Instituto Interamericano para la Agricultura. México. 29 pp.
- International Organization for Standardization (ISO). 1992. Determinación de Cafeína en el Café. ISO-10095.
- International Organization for Standardization (ISO). 2002. Determinación del Contenido de Agua en Café Verde. ISO-1446.
- Jackels, C. y Jackels, C. 2005. Coffee fermentation kit and method. U.S. Patent Application No. US20060204620, published September 14, Washington, DC: US patent and trademark office.

- Jackels, S.; Jackels, C.; Vallejos, C.; Kleven, S.; Rivas, R. y Fraser-Dauphinee, S. 2006. Control of the coffee fermentation process and quality of resulting roasted coffee: Studies in the field laboratory and on small farms in Nicaragua during the 2005–06 harvest. *21st International Scientific Colloquium on Coffee – Post-harvest processing and green coffee quality*. Montpellier, France.
- Jurgen, J. 2010. Growth and Production de Coffee. Soils, Plant Growth and crop production. Vol. III. Eolss Publishers Co. Ltd. Oxford Reino Unido.
- Knopp, S.; Bytof, G. y Selmar, D. 2005. Influence of processing on the content of sugars in green *Arábico* coffee beans. *European Food Research and Technology*, 223(2), pp 195–201.
- Ky, C.; Noiroto, M.; Hamon, S. (1997). Comparison of five purification methods for chlorogenic acids in green coffee beans (*Coffea sp.*). *J. Agric. Food. Chem.* 45, pp 786-790.
- Ky, C.; Louarn, J.; Dussert, S.; Guyot, B.; Hamon, S. y Noiroto, M. 2001. Caffeine, Trigonelline, Chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *coffea arábico* L. and *C. Canephora P.* accessions. *Food Chemistry*. 75(2), pp 223–230.
- Lambot, C.; Husson, J.; Bedon, L.; Goulois, E.; Privat, I.; Michaux, S. y Broun, P. (2012). Identification of biochemical and physiological markers related to green coffee under storage. *24th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 2012, Costa Rica, from November 11th to 16th
- Lara, L. (2005). Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*coffea arábico* l. Var. *Caturra*) producido en Sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua. Tesis de grado presentado en la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica.
- Lee, L.; Cheong, M.; Curran, P.; Yu, B.; Liu, S. 2015. Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. *Food Chemistry*, 185, pp 182–191.
- Leloup, V. y Liardon, R. 1993. Analytical characterization of coffee carbohydrates. *15th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 1993. Montpellier, Francia.

- Leloup, V.; Gancel, C.; Liardon, R.; Rytz, A. y Pithon, A. 2004. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. *20th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 2004. Bangalore, India.
- Lin, C. 2010. Approach of improving coffee industry in Taiwan – Promote quality of coffee bean by fermentation. *The Journal of International Management Studies*, 5(1), pp 154–159.
- Lingle, T. 1999. Fundamentos para la catación de café. Asociación Salvadoreña de Beneficiadores y Exportadores de Café (ABECAFE), Abril-Mayo-Junio, pp 21-22.
- Machado, O. 1997. Elementos de evaluación y factores de calidad. Valor nutricional de los alimentos. Medellín, Colombia. pp 235.
- Maeztu, L.; Sanz, C.; Andueza, S.; Paz, M.; Bello, J. y Cid, C. 2001. Characterization of espresso coffee aroma by static headspace GC–MS and sensory flavor profile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), pp 5437–5444.
- Mayer, F.; Czerny, M. y Grosch, W. 1999. Influence of provenance and roast degree on the composition of potent odorants in *Arábico* coffees. *Eur Food Res Technol.*, 209(3-4), pp 242-250.
- Mayer, F.; Czerny, M. y Grosch, W. 2000. Sensory Study of The Character Impact Aroma Compounds of a Coffee Beverage. *Eur Food Res Technol.*, 211(4), pp 272-276.
- Mazzafera, P. 1999. Chemical composition of defective coffee beans. *Food Chemistry*, 64(4), pp 547–554.
- Meenakshi, A. y Rao, LJM. 2007. An impression of coffee carbohydrates. *Critical Reviews in food science and nutrition.*, 47(1), pp 51-67.
- Menchú, J. 1967. Cualidades de la bebida del Café: Aroma, Cuerpo, Acidez y Sabor. El café de Nicaragua. pp. 191-1618.
- Ministerio para el poder popular para la agricultura y tierras. 2014. Memoria y Cuenta del Ministerio.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y Análisis De Experimentos*. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee- zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), pp 131-139.

- Nicoli, M. C.; Severini, C.; Dalla, M. y Lerici, C. R. 1991. Effect of some extraction conditions on brewing and stability of coffee beverage. Proceedings. *14th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 1991, San Francisco, EEUU.
- Nicoli, M.C. y Savonitti, O. 2005. Espresso Coffee. 2nd ed.;Eds.; Elsevier Academic Press:San Diego, pp.1-230.
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 1990. Industria Agrícola. Café. Análisis Sensorial. Vocabulario. NTC-2758
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 2000. Análisis Sensorial. Café. Metodología para Análisis Sensorial Cuantitativo Descriptivo del Café. NTC-4883.
- Ormaza, P. y Valeriano, P. 2008. Evaluación de los efectos causados por seis métodos de beneficio en la calidad física y organoléptica de dos variables de café *arábico* (*Coffea arábico* L.) en la zona sur de Manabí. Trabajo de grado presentado a la Universidad Técnica de Manabí para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Manabí, Ecuador.
- Parliment, T. y Stahl, H. 1995. What Makes that Coffee Smell So Good? *Chem. Technol.*, 25, pp 38-47.
- Pérez, L. (2013). Determinación de la calidad de tres variedades de café (*Caturra*, *Bourbón* y *Typica* o Criollo) de la especie *C. arábico* L. del municipio de Jitotol, Chiapas. Tesis de grado presentado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro para optar al título de Ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- Pérez-Martínez, M.; Sopelana, P. y Cid, C. 2008. Effects of refrigeration and oxygen on the coffee brew composition. *European Food Research and Technology*, 227(6), 1633–1640.
- Pineda, C; Reyes, C y Oseguera, F. (2001). Beneficiado y calidad del café. Manual de caficultora. 3 ed. Tegucigalpa Honduras. 211 p.
- Poisson, J. 1977. Aspects Chimiques et biologiques de la composition du cafe vert. *8th ASIC International Conference on Coffee Science*, ASIC 1977. Paris, Francia.
- Puerta, G. (1998). Influencia del proceso de beneficiado en la calidad del café. *CENICAFE*, 50(1), pp 78-88.
- Puerta, G. (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arábico* L. *CENICAFE*, 51(1), pp 519.

- Puerta, G. (2011). Composición química de Una taza de café. Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica Fondo Nacional del Café. *Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana*. Diciembre. ISSN - 0120 – 0178.
- Quiliguango, R. (2013). Influencia de cuatro métodos de beneficio sobre la calidad física y organoléptica del café *arábico* (*coffea arábico* l.) en dos pisos altitudinales del noroccidente de pichincha. Tesis de grado presentada en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de ciencias agrícolas para optar al título de Ingeniero agrónomo. Quito, Ecuador.
- Redgwell, R.J.; Curti, D.; Roger, J.; Nicolas, P. y Fisher, M. 2003. Change to the galactose/manose ration in galactomannans during coffee bean coffee *Arábico* L development: Implications for “in vivo” modification of galactomannan synthesis. *Planta*, 217(2), pp 316-326.
- Regalado, A. (2006). ¿Qué es la calidad en el café?. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Mexico. pp 309.
- Ribeiro, F.; Augusto, T. y Ferreira, S. 2012. Prediction models for *Arábico* coffee beverage quality based on aroma analyses and chemometrics. *Talanta*, 101, pp 253-260.
- Ribeiro, JS; Augusto, F; Salva, TJG; Thomaziello, RA. y Ferreira, MMC. 2009. Prediction of Sensory Properties of Brazilian *Arábico* Roasted Coffees by Headspace Solids Phase Microextraction-Gas Chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 634, pp 172-179.
- Ríncon, A. (2008). Aspectos de calidad de café para la industria torrefactora. Curso básico. División de estrategia y proyectos especiales de comercialización. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Risticovic, S.; Carasek, E. y Pawliszyn. 2008. Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatographic-Time of Flight Mass Spectrometric Methodology for Geographical Origin Verification of Coffee. *Analytica Chimica Acta*, 617, pp 72-84.
- Roberts, D.; Pollien, P. y Milo, C. 2000. Solid-phase microextraction method development for headspace analysis of volatile flavor compounds. *J. Agric. Food. Chem.*, 48(6), 2430–2437.
- Rogers, WJ; Michaux, S; Bastin, M. y Bucheli, P. 1999. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myoinositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and *Arábico* (*C. arábico*) coffees. *Plant Science*, 149(2), pp 115-123.

- Rojas, K. 2009. Características de cafés (*Coffea arábica*) de los departamentos de Comayagua, El Paraíso, La Paz y Ocotepeque. Trabajo de grado presentado a la Escuela Agrícola Panamericana para optar al título de Ingeniería Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras.
- Salazar, W.; Aguilar, P. y Fernández-Molina, JJ. (2012b). Caracterización Bioquímica y Sensorial de los Cafés Producidos por la Cooperativa Grano de Oro del Municipio Sucre, Biscucuy Estado Portuguesa. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía*, 9, pp 37-40.
- Salazar, W.; Aguilar, P. ; Bastide, P. ; Fernández-Molina, JJ.; Macia, I. y Berthiot, L. 2012a. Descriptive and quantitative sensory profiles of the coffee from Sucre municipality Portuguesa state Venezuela. *24th ASIC International Conference on Coffee Science, ASIC 2012*, Costa Rica, from November 11th to 16th.
- Salazar, W.; Aguilar, P. ; Bastide, P. ; Fernández-Molina, JJ.; Macia, I. y Guillent, G. 2013. Compuestos bioquímicos en el café verde. *XX Jornada técnica de investigación y IV de Postgrado*, pp 145-150.
- Santoyo, V.H.; Díaz, S.; Escamilla, E. y Robledo, JD. 1996. Factores agronómicos y calidad del café. Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo/Confederación Mexicana de Productores de Café. 21 pp.
- Sanz, C.; Ansorena, D.; Bello, J. y Cid, C. 2001. Optimizing headspace temperature and time sampling for identification of volatile compounds in ground roasted *arábica* coffee. *J. Agric. Food. Chem.*, 49(3), 1364–1369.
- Schenker, S.; Heinemann, M.; Pompizzi, R. y Escher, F. 2002. Impact of Roasting Conditions on the Formation of Aroma Compounds in Coffee Beans. *J. Food Sci.* 67(1), pp 60-66.
- Scholz, M.; Figueiredo, V.; Kitzberger, C. y Benassi, M. 2012. Physicochemical composition of green and roasted Beans and beverage of coffee to same geographical Growing origin. *24th ASIC International Conference on Coffee Science, ASIC 2012*, Costa Rica, from November 11th to 16th
- Shankaranarayana, M. y Abraham, K. 1986. Evaluation of Coffee Quality Using Chemical and Instrumental Methods. *Journal of Coffee Research*, pp 14-22.
- Siles, P. y Vaast, P. 2002. Comportamiento fisiológico del café asociado con Eucaliptos (*Eucalyptus*) con y sin sombra. *Agroforestería en la Américas*, 9(35-36), pp 44-49.
- Starbucks. (2005). Calidad de Café Verde para Starbucks. pp 23.

- Taguchi, H; Sakaguchi, M. y Shimabayashi, Y. 1985. Trigonelline content in coffee beans and thermal conversion of trigonelline into nicotinic acid during the roasting of coffee beans. *Agr. and Biological Chem.*, 49(12), pp 3467-3471.
- Toci, A y Farah, A. 2008. Volatile Compounds as Potential Defective Coffee Bean's Markers. *Food Chemistry*, 108, pp 1133-1141.
- Torres, L.; Oliveira, R.; Pimenta, C.; Ferreira, L.; Leal, R. y Pimenta, M. 2012. Chemical characterization of *arábico* coffee (*Coffea arábica l.*) Beverage patterns of cooperatives from South of minas gerais -Brazil. *24th ASIC international conference on coffee science*, ASIC 2012, Costa Rica, from November 11 to 16th.
- Tressl, R. 1989. Formation of Flavor Components in Roasted Coffee. *Thermal Generation of Aromas*, Chapter 27, 409, pp 285-301.
- Vaast, P.; Cilas, C.; Perriot, J.; Davrieux, J.; Guyot, B. y Bolaños, M. 2005. Mapping of Coffee Quality in Nicaragua According to Regions. Ecological Conditions and Farm Management. *20th ASIC international conference on coffee science*, ASIC 2004. Bangalore, India.
- Vaast, P; Perriot, J. y Cilas, C. 2003. Mejoramiento y Fortalecimiento en los Procesos de Certificación de Calidades y Comercialización del Café. Reporte. CIRADUNICAFE, pp 40.
- Vaclavik, V. 2002. Fundamentos de la ciencia de los alimentos. Editorial kluwer Academic/Plenum Publishers. Dallas, Texas, EEUU, pp 1- 475.
- Vázquez L. 2011. Tipificación y caracterización del café comercial mediante métodos instrumentales y quimiometría. Trabajo de grado presentado al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas para optar al título de Maestría en Ciencias, especialista en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Montecillo, Mexico.
- Vitzthum, O. y Werkhoff, P. 1974. Oxazoles and Thiazoles in Coffee Aroma. *J. Food Sci.*, 39(6), pp 1210-1215.
- Vitzthum, O.; Weisemann, C.; Becker, R. y Köhler, H. 1990. Identification of an Aroma Key Compound in Robusta coffees. *Café Cacao Thé*, 34(1), pp 27-36.
- Wintgens, J. 1992. Factores que Influyen la Calidad del Café. XV Simposio Latinoamericano de caficultura Xalapa Veracruz Mexico. 33 pp.
- Wintgens, J. 2004. Factors Influencing the Quality of Green Coffee. In J Wintgens. eds. *Coffee: Growing Processing Sustainable Production. Alemania Wiley-VCH.*, pp 798-809.

Wolfrom, M.; Plunkett, R. y Laver, M. 1960. Carbohydrates of the coffee bean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 8(1), pp 58–65.



Juan José Fernández Molina, Profesor Titular adscrito al Programa Ciencias del Agro y del Mar del Vice-Rectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ-San Carlos). Curso estudios de pre-grado en San José State University, San José California, USA (1974-1980) recibió el título de *Ingeniero Químico*, Maestría en *Ciencias de los Alimentos* en la Universidad Simón Bolívar de Caracas (1984-1987) y *Doctor en Filosofía en Ciencias de la Ingeniería (Ph.D.)* en Washington State University, USA (1997-2000), donde se especializó en Procesos No Térmicos de Alimentos, realizando su tesis Doctoral en la aplicación de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad en la pasteurización de leche. Ha publicado más de 30 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales en las áreas de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, extrusión de alimentos y electrones pulsados aplicados en la eliminación de brotes en papas. Es co-autor de un Manual para la FAO sobre Mínimos Procesos para la Conservación de Alimentos en Áreas Urbanas y Rurales. Ha sido investigador invitado por las universidades de Washington State y Idaho State, USA. Conferencista a nivel nacional e internacional. Premio UNELLEZ de Ciencia y Tecnología 1996 y Promoción al Investigador NIVEL I-II (2002-2004-2008), PEII-2013-2015-2017 (NIVEL B). Asesor nacional del Programa para el Desarrollo Industrial (ONUDI) de las Naciones Unidas. En la UNELLEZ ha desempeñado importantes cargos directivos: Jefe de Programa Ciencias del Agro y Del Mar (electo), Coordinador de Área de Postgrado, Jefe Subprograma, Jefe de la Unidad de Laboratorio, Coordinador de Investigación y Secretario del Consejo Académico Universitario. Actualmente es Editor de la Revista AGROLLANÍA de Ciencia y Tecnología del Vice-Rectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ, Coordinador del Doctorado en Ambiente y Desarrollo y de la Maestría en Ingeniería Agroindustrial.



Wilmer Johan Salazar Santana, Profesor Asociado adscrito al núcleo Tinaquillo del Vice-Rectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ-San Carlos, Cojedes, Venezuela. Curso estudios de pre-grado en la UNELLEZ San Carlos, Cojedes, Venezuela (1999-2003) recibió el título de *Ingeniero Agroindustrial* y Maestría en *Ingeniería Agroindustrial* (2005-2008). *Doctor en Gerencia* en la Universidad Yacambu, Barquisimeto, Lara, Venezuela (2010-2013) y *Doctor en Ciencias y Tecnologías de los Alimentos* en la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela (2010-2015). Ha publicado más de 10 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales en las áreas de Ciencias de los Alimentos y Conferencista a nivel nacional e internacional en las áreas de alimento y gerencia. PEII-2013-2015-2017 (NIVEL B). En la UNELLEZ ha desempeñado importantes cargos directivos como Jefe de Programa Ciencias del Agro y Del Mar, Jefe Subprograma, coordinador de la UNELLEZ Tinaquillo, Vicerrector de Área. Es Tutor y jurado de las maestrías y Doctorados que se imparten en la UNELLEZ San Carlos.