



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

**Caracterización del perfil aromático de café (*coffea arabica* L.) mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

**AUTOR:** Espinosa Aguirre, Servio Alejandro

**DIRECTOR:** Figueroa Hurtado, Jorge Geovanny, Ph.D.

LOJA-ECUADOR

2019



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2019

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Jorge Geovanny Figueroa Hurtado.

### DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación Caracterización del perfil aromático de café (*Coffea arabica* L.) mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas realizado por Espinosa Aguirre Servio Alejandro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, agosto de 2019

f) .....

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Espinosa Aguirre Servio Alejandro declaro ser autor del presente trabajo de titulación Caracterización del perfil aromático de café (*Coffea arabica L.*) mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas, de la Titulación de Ingeniería en alimentos, siendo el Ph.D. Jorge Geovanny Figueroa Hurtado, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f .....

Autor Servio Alejandro Espinosa Aguirre

Cédula 1313156539

## **DEDICATORIA**

A Dios

Por bendecir mi vida y guiarme en el sendero de lo sensato, brindándome la fortaleza y sabiduría para lograr alcanzar este peldaño de mi vida.

A mi querida mamá Olga Pasionaria

Por ser el pilar más importante en mi vida, demostrándome siempre que con esfuerzo, disciplina y honradez se pueden lograr nuestros sueños, además por ser mi mayor inspiración, que a través de su amor, paciencia y buenos valores, me ayudó a trazar mi camino.

A mi abuelita Olga Enriqueta

Por ser mi mejor amiga y consejera, la cual me brindó siempre su apoyo incondicional en todo momento, además ser quien siempre estuvo a mi lado en las buenas y en las malas en cada paso de mi vida Universitaria.

A mi Papá, tíos y hermanos.

Por su apoyo constante, llenando mi vida con sus valiosos consejos.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi agradecimiento a mi enamorada Anabel Moreno, por siempre brindarme su apoyo y cariño desinteresado, estando en las buenas y en las malas durante todo este arduo camino, ofreciéndome siempre consejos en mi vida, y otorgándome momentos de felicidad juntos.

A mis amigas María y Yomar, por haber sido parte de este logro académico, siempre brindándome su apoyo, y de esa manera convirtiéndose en amigas de vida.

Al Ph.D. Geovanny Figueroa Hurtado, quien como director del presente trabajo y gracias a su experiencia y su profesionalismo, supo guiarme a lo largo del desarrollo de este trabajo; además agradecerle por su paciencia y preocupación, por ser un gran maestro y excelente persona.

Finalmente agradezco al Ing. Holguer Jaramillo por brindarme siempre su apoyo en el laboratorio, dedicando parte de su tiempo para el desarrollo y aprendizaje de todos los estudiantes de Ingeniería de Alimentos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Aprobación del director del trabajo de fin de titulación</b>	<b>ii</b>
<b>Declaratoria de autoría y cesión de derechos</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>v</b>
<b>Índice de contenidos</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de ecuaciones</b>	<b>x</b>
<b>Lista de abreviaturas</b>	<b>xi</b>
<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1. Revisión Bibliográfica</b>	<b>5</b>
1.1. Café	6
1.2. Producción de café	6
1.3. Tratamientos post-cosecha	8
1.3.1. Tratamiento natural o seco	9
1.3.2. Tratamiento húmedo o lavado	12
1.3.3. Tratamiento honey	13
1.4. Tostado	13
1.5. Composición del café	14
1.6. Compuestos volátiles del café	15
1.7. Extracción de compuestos volátiles	17
1.7.1. Micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza (HS-SPME)	18
1.8. Cromatografía	20
1.9. Cromatografía de gases y espectrometría de masas	21
1.10. Identificación de compuestos	22
<b>2. Materiales y Métodos</b>	<b>23</b>
2.1. Muestra	24
2.2. Selección y clasificación	24
2.3. Caracterización fisicoquímica	25

2.3.1.	Determinación de pH	25
2.3.2.	Determinación de humedad	25
2.3.3.	Determinación sólidos solubles	26
2.3.4.	Determinación de acidez	26
2.4.	Tratamiento post-cosecha	26
2.4.1.	Natural o seco	26
2.4.2.	Lavado o húmedo	27
2.4.3.	Variación de húmedo	28
2.4.4.	Honey	29
2.5.	Tostado y molido	30
2.6.	Micro-extracción en fase sólida	31
2.7.	Método cromatográfico	32
2.7.1.	Identificación de compuestos	32
•	Índice de similitud	32
•	Índice de Kovats	33
2.8.	Análisis estadístico	33
<b>3.</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>34</b>
3.1.	Caracterización del café cerezo	35
3.2.	Determinación del grado de tostado del café	36
3.3.	Identificación de compuestos volátiles	36
3.4.	Comparación entre los diferentes tratamientos post-cosecha:	42
3.4.1.	Análisis de varianza	50
3.4.2.	Análisis de componentes principales (ACP)	51
3.4.3.	Análisis organolépticos	53
	<b>Conclusiones</b>	<b>55</b>
	<b>Recomendaciones</b>	<b>56</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>
	<b>Anexos</b>	<b>63</b>
	Anexo 1.- Tabla de tiempos de retención de los compuestos identificados	64
	Anexo 2.- Análisis estadísticos de los compuestos volátiles.	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de café verde ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	15
Tabla 2: Clases de compuestos volátiles identificados en café tostado. ....	17
Tabla 3: Procesamiento del café mediante diferentes tratamientos post-cosecha .....	26
Tabla 4: Parámetros de tostado.....	30
Tabla 5: Caracterización de la pulpa del cerezo de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) var. Caturra ....	35
Tabla 6: Determinación del color del café tostado.....	36
Tabla 7: Áreas de los diferentes compuestos identificados en los tratamientos post-cosecha de estudio. ....	44
Tabla 8: Análisis de varianza en función a los tratamientos post-cosecha aplicados .....	50
Tabla 9: Resultados sensoriales tratamientos post-cosecha.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cerezo de café maduro.....	6
Figura 2: Producción de café verde a nivel mundial.....	7
Figura 3: Producción de café verde en Ecuador .....	8
Figura 4: Partes del cerezo del café.....	9
Figura 5: Diagrama Tratamientos post-cosecha seco, húmedo y honey. ....	11
Figura 6: Granos de café procesados mediante tratamiento post-cosecha honey .....	13
Figura 7: Dispositivo de SPME .....	18
Figura 8: Proceso HS-SPME de modificación estática.....	19
Figura 9: Esquema de un sistema común de GC.....	21
Figura 10: Muestra de café cerezo.....	24
Figura 11: Café cerezo clasificado acorde a su nivel de maduración.....	25
Figura 12: Tratamiento post-cosecha seco .....	27
Figura 13: Tratamiento post-cosecha húmedo.....	28
Figura 14: Tratamiento post-cosecha húmedo variado .....	29
Figura 15: Tratamiento post-cosecha honey .....	30
Figura 16: Extracción de compuestos aromáticos mediante HS-SPME .....	31
Figura 17: Desorción de compuestos en el puerto de inyección .....	32
Figura 18. Cromatogramas pertenecientes de los 4 tratamientos post-cosecha .....	43
Figura 19: Gráfico de doble proyección de los compuestos identificados .....	52
Figura 20: Grafico de doble proyección obtenida con los 6 compuestos marcadores .....	53

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación de índice de Kovats .....	22
Ecuación 2: Determinación de humedad.....	25

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CAR:</b>	Carboxen
<b>CG:</b>	Cromatografía de gases
<b>CV:</b>	Coeficiente de variación
<b>DVB:</b>	Divinilbenceno
<b>HS-SPME:</b>	Micro-extracción de fase sólida de espacio de cabeza
<b>IK:</b>	Índice de Kovats
<b>MS:</b>	Espectrometría de masas
<b>NaCl:</b>	Cloruro de sodio
<b>NaOH:</b>	Hidróxido de sodio
<b>PA:</b>	Poliacrilato
<b>PDMS:</b>	Polidimetilsiloxano
<b>QM:</b>	Índice de similitud
<b>SPME:</b>	Micro-extracción en fase sólida

## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de los tratamientos post-cosecha seco, húmedo, húmedo variado y honey sobre el perfil aromático del café tostado. Se usó microextracción en fase sólida (SPME) y cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas, para la extracción y detección, respectivamente. Entre las 4 muestras se lograron identificar 64 compuestos en total, encontrándose 49 compuestos en todas las muestras. Para el tratamiento post-cosecha honey se registró 4 compuestos (Ácido butanoico-3-metil-etil éster, 2-etenil-6-metilpirazina, etanona-1-1-metil-1H-pirrol-2-yl, 2-etil-3,5-dimetilpirazina) detectados únicamente en este tratamiento, los cuales brindan olores florales, afrutados y a frutos secos tostados (avellanas y nueces). En relación al área de los compuestos, los tratamientos post-cosecha honey y húmedo variado; obtuvieron una abundancia de área mayor que los demás tratamientos, no obstante, a nivel sensorial el tratamiento post-cosecha honey logró una calificación de 84 puntos, obteniendo mejor puntaje que el tratamiento húmedo variado, el cual alcanzó una puntuación de 83.25. El tratamiento post-cosecha honey por su mayor contenido del compuesto 2-metilpropanal, obtuvo a nivel sensorial notas aromáticas licorosas, a vino espumante, lo que organolépticamente es muy apreciado.

**PALABRAS CLAVES:** Café, tratamientos post-cosecha, perfil aromático, SPME, GC-MS.

## ABSTRACT

In the present investigation, it was evaluated the effects of the treatments of the post-harvest of dry, wet, varied wet and honey on the side on the aromatic of roasted coffee. Solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to separate and detect, respectively. Among the 4 treatments, a total of 64 compounds were identified, 49 of these were found in all samples. For the honey treatment, 4 compounds (butanoic acid-3-methyl-ethyl-ester, 2-ethylene-6-methyl pyrazine, ethanone-1-1-methyl-1H-pyrrol-2-yl, 2-ethyl-3,5-dimethyl-pyrazine) were detected that provides floral, fruity and roasted nuts (hazelnuts and walnuts) flavors. In relation to the area of the compounds, the honey and varied wet treatments; obtained an abundance of area greater than the other treatments, nevertheless, at the sensory level the post-harvest treatment honey achieved a score of 84 points, obtaining a better score than the varied wet treatment, which reached a score of 83.25. The post-harvest honey treatment, due to its higher content of the compound 2-methyl-propanal, at the sensory level obtained winey aromatic notes like sparkling wine which is very organoleptically appreciated.

**KEYWORDS:** Coffee, post-harvest treatments, aromatic profile, SPME, GC-MS.

## INTRODUCCIÓN

La compleja composición del café depende de muchos factores como: variedad botánica, procesamiento (tratamiento post-cosecha), molienda, método de extracción, empaque y especialmente el proceso de tostado (López-Galilea, Fournier, Cid, & Guichard, 2006). En esta investigación se buscó evaluar la influencia de los tratamientos post-cosecha (seco, húmedo, húmedo variado, honey) sobre el perfil aromático del café (*Coffea arabica* L.).

En este estudio se tuvo como objetivo evaluar el efecto de los tratamientos post-cosecha sobre los compuestos responsables del aroma del café, por lo que se procesó el café cerezo mediante los diferentes tratamientos post-cosecha, utilizándose estas muestras para realizar la extracción e identificación de los compuestos volátiles del café mediante micro-extracción en fase sólida y GC-MS.

La presente investigación es de importancia, debido a que en el Ecuador la producción de café desde 1997 hasta la actualidad ha disminuido aproximadamente en un 97 % (FAO, 2016), lo que genera que el país tenga que enfocar su producción a la elaboración de café de especialidad, logrando que el café pueda cotizarse a mejores precios en el mercado tanto nacional como internacional, y así se pueda incentivar el aumento de cultivos de café, gracias a una mejor paga al agricultor. Por lo tanto, es muy relevante realizar investigaciones respecto a la cadena de valor del café. Esta investigación brinda información acerca de la influencia que tiene el tratamiento post-cosecha honey sobre el perfil aromático del café, lográndose determinar que este método de procesamiento permite obtener un perfil aromático de excelencia, brindando notas aromáticas licorosas, a vino espumante, con sabores a uva, con notas vinosas, las cuales son muy apreciadas a nivel de café de especialidad. De manera que se confirma la necesidad de implementar este tratamiento post-cosecha para el procesamiento del café cerezo en nuestro país.

La metodología usada en el presente análisis para la extracción e identificación de los compuestos aromáticos del café fueron: micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza estática (HS-SPME) y cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS).

Como resultado de la investigación se lograron identificar 64 compuestos aromáticos, de los cuales 49 compuestos se identificaron en todos los tratamientos post-cosecha. En el tratamiento honey se identificaron 4 compuestos que no se lograron identificar en los demás tratamientos (Ácido butanoico-3-metil-etil éster, 2-etenil-6-metilpirazina, Etanona-1-1-metil-1H-pirrol-2-yl, 2-etil-3,5-dimetilpirazina), se atribuye a estos compuestos el otorgar notas aromáticas florales, afrutados y a frutos secos tostados (avellanas y nueces).

El presente trabajo de titulación se desarrolló en 3 capítulos, en el primer capítulo se detalló la revisión bibliográfica respecto al café, metodología de micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza y cromatografía de gases. En el segundo capítulo se presentó la metodología utilizada para la extracción e identificación de los compuestos aromáticos del café. En el tercer capítulo se discutieron los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos post-cosecha analizados. Finalmente, se detallaron las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones para futuras investigaciones.

## **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## 1.1. Café

El café (*Coffea arabica* L.) pertenece a la familia de las rubiáceas y al género *Coffea*, cuenta con más de 124 especies, sin embargo la producción comercial del café está dominada únicamente por dos de ellas, la *Coffea arabica* L (conocida como café arábica) y la *Coffea canephora* P (conocida generalmente como café robusta) (Tran et al., 2017). La *Coffea arabica* L fue la primera especie en ser descubierta y comprende el 75% de la producción de café en todo el mundo debido a su calidad superior, existen dos factores genéticos en esta especie: la Típica y el Borbón de las cuales se desprenden todas las variedades comerciales del mundo (Moreira & Scarminio, 2013; Tran et al., 2017; Yilmaz, Acar-Tek, & Sözlü, 2017). El café arábico (figura1) se originó en Etiopía donde todavía se puede encontrar creciendo de forma salvaje entre las malezas de los bosques tropicales de la tierra alta, la domesticación y selección de la especie fue llevada a cabo por los árabes, quienes la introdujeron a Yemen probablemente en el siglo XIII o XIV, alrededor de año 1700 las plantas de café de Yemen fueron introducidas por los holandeses en Indonesia, y de allí, algunas décadas más tarde en América Central y del Sur (Eskes & Leroy, 2004).



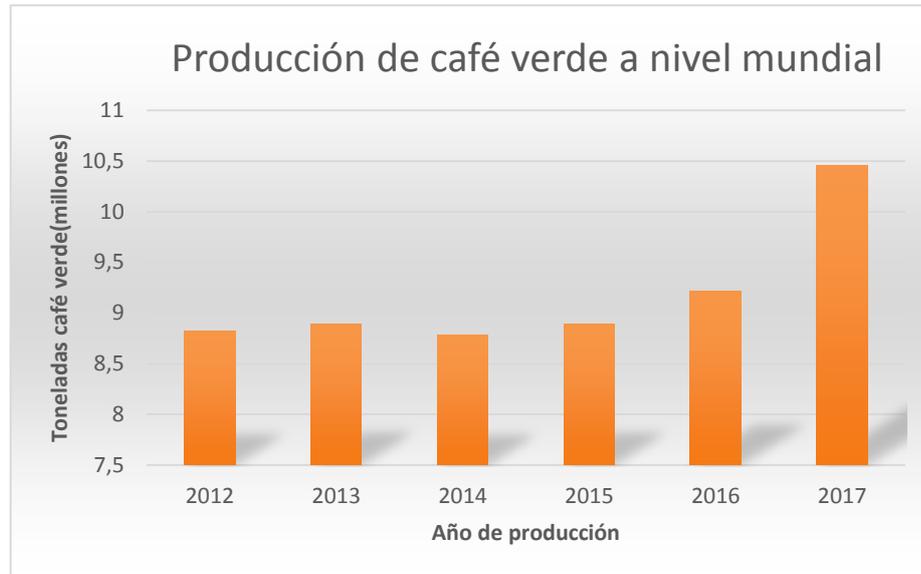
**Figura 1:** Cerezo de café maduro

**Fuente:** Tomada y adaptada desde Poltronieri and Rossi (2016)

**Elaborado por:** Poltronieri and Rossi (2016)

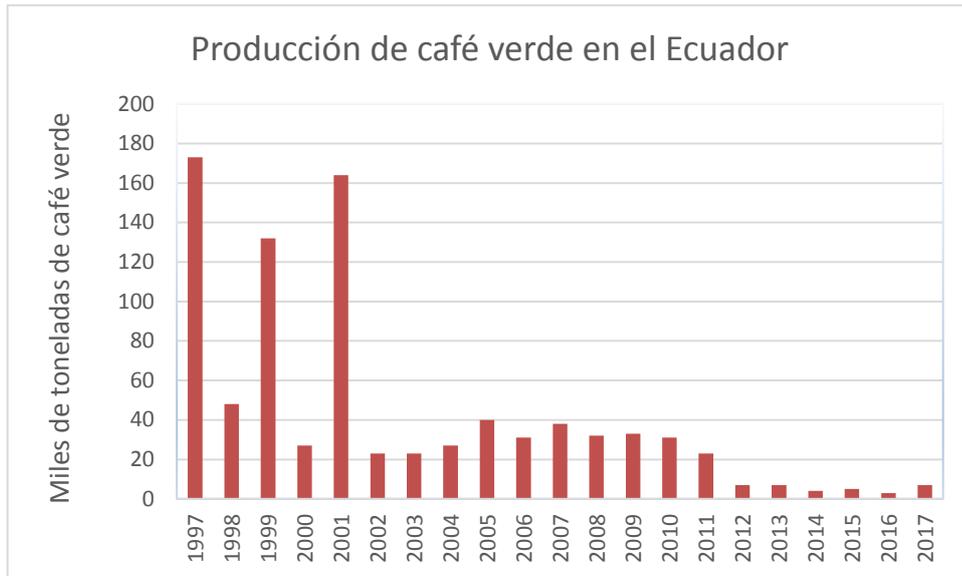
## 1.2. Producción de café

La producción de café se da en más de 60 países, de los cuales solamente tres de ellos representan más de la mitad de la producción mundial, Brasil (2.680 millones de toneladas anuales), Vietnam (1.542 millones de toneladas anuales) y Colombia (754 millones de toneladas anuales). La producción mundial (figura 2) llegó a una cantidad 10.840 millones de toneladas en el 2017 (FAO, 2017). A nivel mundial la producción de café *arábica* es mayor que la de café *robusta*, siendo 97.269 y 56.600 millones de sacos de 60 kg, respectivamente. (Yilmaz et al., 2017).



**Figura 2:** Producción de café verde a nivel mundial  
**Fuente:** FAO (2017).  
**Elaborado por:** El autor

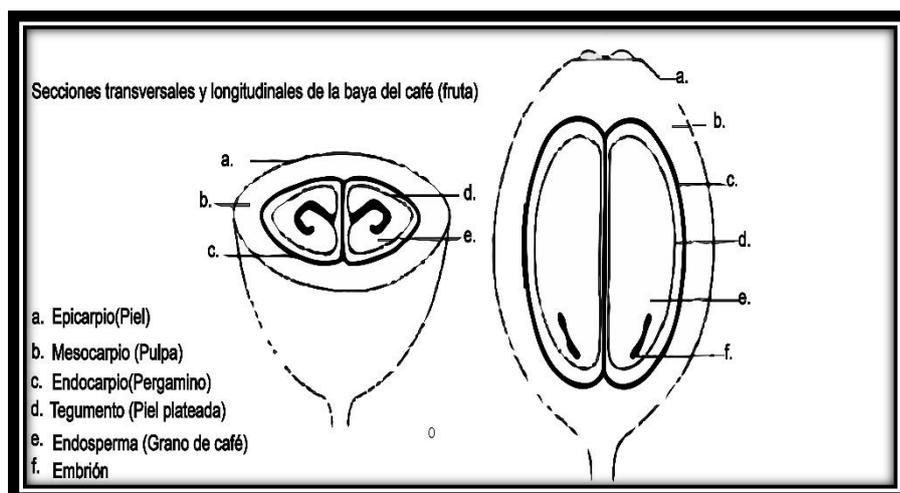
En el Ecuador la producción de café (figura 3) ha decrecido desde 1997, pasando de producir 173.868 toneladas, a 7.564 toneladas en el 2017, este descenso se ha debido al bajo rendimiento en los cultivos y la poca área de cosecha en la actualidad, presentándose en 2017 un rendimiento de 1.307 hectogramos/hectárea y un área de cosecha de 29.872 hectáreas, siendo muy bajos en comparación al año 1997 en el cual el rendimiento era de 4.514 hectogramos/hectárea y el área de cosecha rondaba las 385.160 hectáreas, observando estas diferencias se puede apreciar que la producción de los cultivos de café en el Ecuador ha disminuido en un 97.75% respecto a 1997 (FAO, 2017).



**Figura 3:** Producción de café verde en Ecuador  
**Fuente:** FAO (2017)  
**Elaborado por:** El autor

### 1.3. Tratamientos post-cosecha

Para tener una mayor comprensión respecto a los tratamientos post-cosecha es necesario tener conocimiento del fruto y el grano del café, el árbol de café toma aproximadamente 3 años para desarrollarse desde la semilla germinada hasta la primera floración y la producción del fruto (Brando, 2008). La fruta del árbol de café es conocida como cerezo y el grano que crece dentro de este cerezo es usado como el elemento fundamental para producir el café tostado y molido, el café instantáneo y el licor de café (Brando, 2004). El cerezo está compuesto (figura 4) por una piel externa (exocarpio), de color roja o amarillenta al estar madura, consta también de una carne mucilaginosa (mesocarpio), conocida como pulpa o mucilago, el grano de café consiste en un endospermo córneo que contiene el embrión, el cual está envuelto en dos cascarones: el pergamino exterior y la piel plateada (tegumento) (Brando, 2008; Wintgens, 2008).



**Figura 4:** Partes del cerezo del café  
**Fuente:** Tomada y adaptada desde Wintgens (2008)  
**Elaborado por:** Wintgens (2008)

Los criterios de calidad del café tostado y molido están muy vinculados con los criterios genéticos (variedad) y ambientales (método de cultivo, suelo y clima), sin embargo también se ven afectados por las operaciones tecnológicas que se llevan a cabo en el grano, los tratamientos post-cosecha tienen como objetivo principal reducir el contenido de agua de las cerezas frescas a un nivel que permita la conservación de los granos (aproximadamente 11-12%), eliminando el recubrimiento que rodea los granos y preparando los granos acorde a los requisitos del mercado (Brando, 2008). Tres sistemas diferentes de tratamientos post-cosecha son utilizados para procesar el grano los cuales son: método Natural (seco), método lavado (húmedo) y semi-lavado (despulpado natural) (Brando, 2008). En la actualidad se han ido desarrollando nuevos métodos de procesamiento del café, entre los cuales se encuentra un novedoso tratamiento post-cosecha llamado “honey” (Poltronieri & Rossi, 2016). No se pudo localizar estudios previos del efecto del tratamiento “honey” sobre el perfil aromático del café.

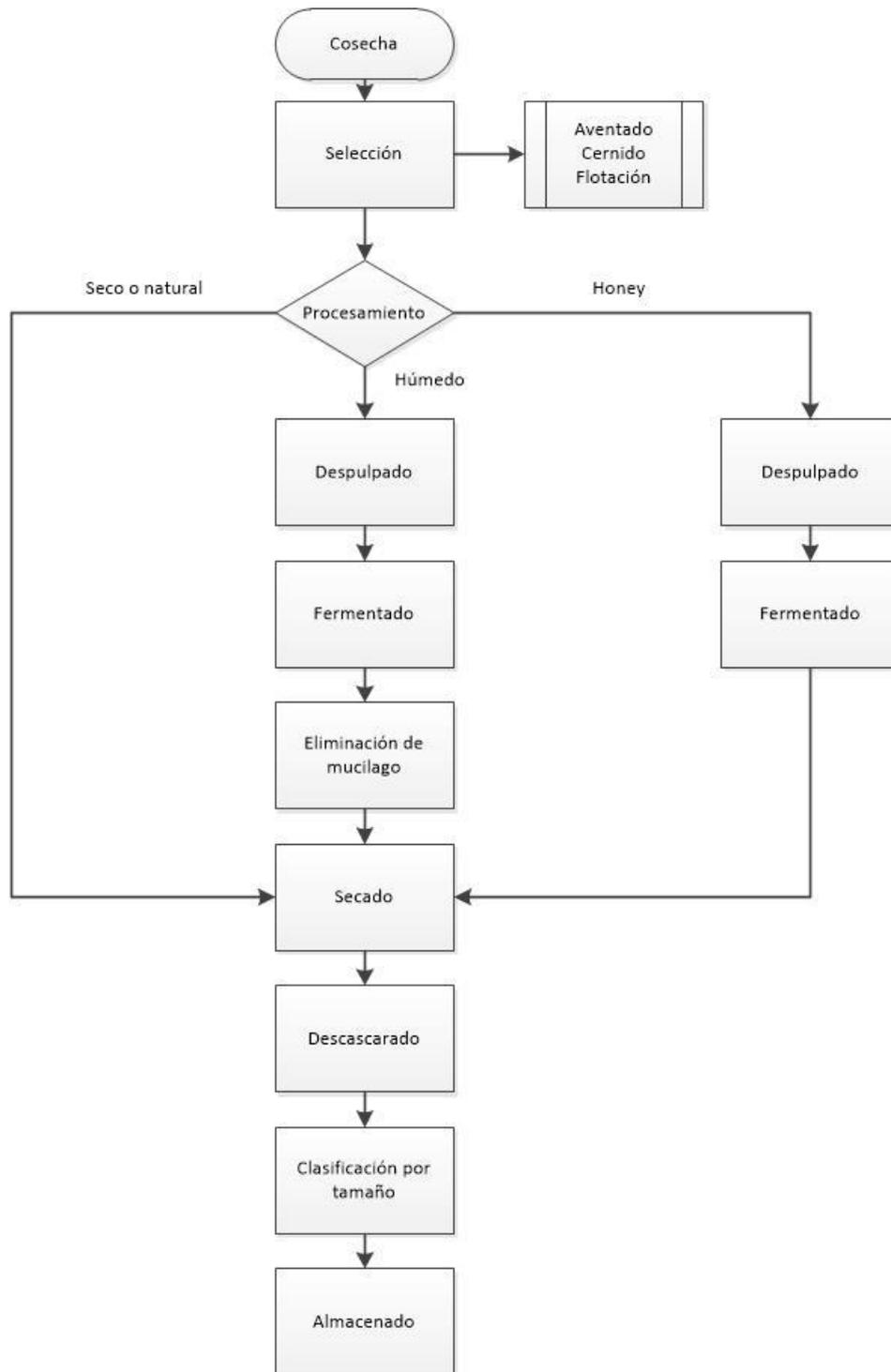
### 1.3.1. Tratamiento natural o seco

En el tratamiento post-cosecha natural o seco (figura 5) ninguna capa es removida del cerezo del café, se considera que este proceso es el más fácil para obtener granos de café verde, sin embargo es el más complicado para producir un café de alta calidad, este tratamiento es muy barato debido a que normalmente su secado se lo realiza exponiendo el cerezo a la luz solar, sin embargo también se lo puede realizar artificialmente (Poltronieri & Rossi, 2016).

**Limpieza:** La limpieza del café es de suma importancia para obtener un producto de óptima calidad, la limpieza depende de tres procedimientos principales los cuales son:

- **Aventado:** El objetivo de este procedimiento es eliminar las impurezas ligeras (hojas, tallos y polvo) que contenga el café recién cosechado, el principio radica en utilizar un flujo de aire para limpiar las cerezas de café, el procedimiento se puede realizar tanto manual como automático, para realizarlo manualmente las cerezas de café se reúnen en un tamiz redondo, luego son aventadas y atrapadas nuevamente con el tamiz, este proceso se repite varias veces hasta tener limpio la materia prima, actualmente ha sido reemplazado este método por diferentes procedimientos mecánicos los cuales utilizan ventiladores para soplar o absorber impurezas ligeras (Brando, 2008)
- **Cernido:** El cernido tiene como objetivo la eliminación de las impurezas pesadas (arena, piedras, bolas de barro, etc), en este proceso de limpieza se utilizan dos pantallas vibratorias con agujeros que sean más pequeños o grandes que las cerezas, en algunas máquinas el cernido se combina con el aventado en una sola estructura que realiza estas dos funciones (Brando, 2008).
- **Flotación:** La flotación tiene como objetivo la separación de las cerezas maduras con las inmaduras, el principio por el cual se da la separación son las diferencias en densidades que tiene cada fruto respecto a su grado de maduración debido a su contenido de humedad (frutos maduros 65% de humedad y frutos inmaduros 25 al 30% de humedad), existen diferentes sistemas que se utilizan para la separación por flotación en agua: tanques estáticos de agua, tanques de sifón, canales con trampas y lavadoras –separadoras mecánicas (Brando, 2008).

**Secado:** El secado tiene como objetivo disminuir el contenido de humedad del cerezo hasta un 12% aproximadamente, se lo realiza de dos maneras: natural y artificial, en el caso de secado natural se lo realiza exponiendo los cerezos a los rayos solares, tiene la ventaja de no requerir ninguna inversión en equipos, sin embargo, se necesitan grandes áreas de secado y su proceso es muy lento, el secado al sol generalmente se lleva a cabo en un suelo seco y limpio, en bandejas o en una superficie sólida de hormigón, en el caso del secado artificial la temperatura es un factor limitante en la velocidad de secado permitido, debido a que temperaturas muy altas pueden ocasionar granos defectuosos, debido a que el café en cerezo es rico en azúcares y pectina, para el secado se recomienda utilizar temperaturas entre 55 a 60°C (Clarke & Macrae, 1987).



**Figura 5:** Diagrama Tratamientos post-cosecha seco, húmedo y honey.  
**Fuente:** Brando (2008), Clarke and Macrae (1987) y Poltronieri and Rossi (2016)  
**Elaborado por:** El autor

### 1.3.2. Tratamiento húmedo o lavado

Es solo durante los últimos 25 años, y de manera más activa en los últimos 15 años, cuando comenzó el procesamiento del café en húmedo, el objetivo de este tratamiento es remover la pulpa y el mucilago de las cerezas de café maduras, la descripción del proceso en húmedo se divide principalmente en limpieza, separación, despulpado, fermentado y eliminación de mucilago (Brando, 2008; Clarke & Macrae, 1987). Esta técnica de procesamiento garantiza un producto de mayor calidad, por lo es el método más utilizado en América Central y América Latina para preparar café arábico suave (Clarke & Macrae, 1987).

**Despulpado:** El despulpado consiste en eliminar el epicarpio (piel externa) y la mayor parte del mesocarpio (porción carnosa), que se conoce como pulpa, esta operación es muy delicada, ya que si el grano de café se daña, será susceptible al ataque microbiano y a la penetración de sustancias indeseables (Clarke & Macrae, 1987).

**Fermentado:** En el método húmedo los granos previamente despulpado son puestos en un tanque de fermentación con una corriente de agua para dejarse fermentar (Avallone, Guyot, Brillouet, Olguin, & Guiraud, 2001). Los microorganismos que participan en la fermentación descomponen el sustrato mucilaginoso que está constituido principalmente por azúcares simples y sustancias péptidas, siendo el objetivo primordial de la fermentación, realizar la hidrólisis del mucilago para facilitar su eliminación durante la fase posterior de lavado (Avallone, Brillouet, Guyot, Olguin, & Guiraud, 2002).

La fermentación también es una fase muy importante debido a que la población de microorganismos tiene una influencia directa en la calidad final de los granos de café. Una fermentación debe ser sumamente controlada para limitar los defectos en la bebida, cuando existe una sobre-fermentación o una mala fermentación se puede dar la producción de ácido butírico o propiónico siendo estos los responsables a sabores alcohólicos y apestosos (Avallone et al., 2002).

#### **Eliminación de mucilago:**

Finalizando la fase de fermentación, en el método húmedo se deberá realizar el lavado del mucilago fermentado, este proceso es una de las principales fuentes de consumo de agua y contaminación en el procesamiento en húmedo, el lavado del mucilago se lo puede realizar de diferentes formas: Manualmente, por bombas centrífugas o por varios tipos de máquinas específicas (Brando, 2008; Clarke & Macrae, 1987).

**Secado:** El secado tiene como objetivo disminuir el contenido de humedad del cerezo hasta un 12% aproximadamente (Clarke & Macrae, 1987). En el procesamiento húmedo a

diferencia del método natural o seco, se somete a secado el grano de café, de manera que el tiempo de secado es menor, para el secado se recomienda utilizar temperaturas entre 55 a 60°C (Clarke & Macrae, 1987).

### 1.3.3. Tratamiento honey

En el tratamiento post-cosecha honey, el café es despulpado, fermentado y secado sin ser eliminado el mucilago, este método tiene tres tipos de tratamientos diferentes (figura 6), en los cuales varia el contenido de mucilago que recubre el grano (25%,50% y 100% de mucilago) obteniéndose así diferentes tonalidades (amarillo, rojo y negro) (Poltronieri & Rossi, 2016) .



**Figura 6:** Granos de café procesados mediante tratamiento post-cosecha honey

**Fuente:** Tomada y adaptada desde Poltronieri and Rossi (2016)

**Elaborado por:** Poltronieri and Rossi (2016)

### 1.4. Tostado

El grano verde carece del color y el olor característico del café, debido a que estas dos características se forman durante el proceso de tostado, siendo este proceso de suma importancia en la cadena productiva del café (Buffo & Cardelli-Freire, 2004). El tostado comprende tres fases:

1. Una fase inicial de secado, durante la cual se reduce la humedad del grano verde y se generan olores a pan blanco y colores amarillentos (Buffo & Cardelli-Freire, 2004).
2. Fase de tueste real, en esta etapa se dan varias reacciones pirolíticas complejas, la composición química del grano se modifica drásticamente, y se produce la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono y la formación de muchas sustancias asociadas con el aroma y el sabor de café, los granos cambian del color amarillento

obtenido en la primera fase, a un color marrón oscuro, las reacciones pirolíticas alcanzan un máximo de 190 a 210°C (Buffo & Cardelli-Freire, 2004).

3. Fase final de enfriamiento rápido, en esta etapa se detiene la parte exotérmica final de la fase de tueste real, usando aire como agente de enfriamiento (Buffo & Cardelli-Freire, 2004).

La cantidad de calor transferido a los granos de café es un parámetro muy influyente del proceso de tostado, puede controlarse mediante el manejo de la temperatura y el tiempo de tostado, el color de los granos está directamente relacionado con la temperatura final del proceso, a mayor temperatura más oscuro es el café, de modo que el color se puede utilizar para definir el final de la operación (Buffo & Cardelli-Freire, 2004). El grado de tostado generalmente se describe como “claro”, “medio-claro”, “medio”, “medio-oscuro”, “oscuro” y “muy oscuro” (Mondello et al., 2005). El tiempo de tostado se puede dar hasta 40 minutos o tan solo 90 segundos influyendo en las reacciones dentro del frijol: los periodos de torrefacción más largos producen un café amargo que carece de aromas satisfactorios, mientras que los periodos de tostado muy cortos pueden ser insuficientes para completar todas las reacciones pirolíticas, resultando un café con características organolépticas subdesarrolladas (Buffo & Cardelli-Freire, 2004).

### **1.5. Composición del café**

Los granos de café verde se componen principalmente, como la mayoría de los tejidos vegetales de polisacáridos insolubles como celulosa y hemicelulosa, contienen también hidratos de carbono solubles, como monosacáridos (fructosa, glucosa, galactosa, arabinosa), oligosacáridos (sacarosa, rafinosa, estaquiosa) y polímeros de galactosa, manosa, arabinosa y glucosa, además, también están presentes ácidos alifáticos no volátiles (ácido cítrico, málico y quínico) y ácidos volátiles como (ácido acético, propiónico, butanoico, isovalerico, hexanoico), los aceites y ceras son también componentes importantes, que representan del 8 al 18% de la masa seca, junto con proteínas y aminoácidos libres (9-12%) y minerales (3-5%) (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009). En la tabla 1 se muestra la composición química de los granos verdes de la especie arábica.

**Tabla 1:** Composición de café verde (*Coffea arabica* L.)

Constituyentes	Contenido (%)	Componentes
Carbohidratos solubles	9 - 12.5	-
Monosacáridos	0.2 - 0.5	Fructosa, glucosa, galactosa, arabinosa
Oligosacáridos	6 - 9	Sacarosa (90%) y rafinosa (0-0.9%), Estaquiosa (0-0.13%)
Polisacáridos	3 - 4	Polímeros de galactosa (55-65%), manosa (10-20%), arabinosa (20-35%) y glucosa (0-2%)
Polisacáridos insolubles	46 - 53	
Hemicelulosa	5 - 10	Polímeros de galactosa (65-75%), arabinosa (25-30%) y manosa (0-10%)
Celulosa	41 - 43	-
Ácidos volátiles	0.1	-
Ácidos alifáticos no volátiles	2 - 2.9	Ácido cítrico, ácido málico, ácido quínico.
Ácidos clorogénicos	6.7 - 9.2	-
Lignina	1 - 3	-
Lípidos	15 - 18	-
Cera	0.2 - 0.3	-
Aceite	7.7 - 17.7	-
Componentes N	11 - 15	-
Aminoácidos libres	0.2 - 0.8	-
Proteínas	8.5 - 12	-
Cafeína	0.8 - 1.4	-
Trigonelina	0.6 - 1.2	-
Minerales	3 - 5.4	-

**Fuente:** Tomada y adaptada desde Belitz et al. (2009)

**Elaborado por:** Belitz et al. (2009)

## 1.6. Compuestos volátiles del café

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo porque contiene una amplia gama de compuestos aromáticos, que es un factor muy importante en la calidad de los alimentos (Bröhan, Huybrighs, Wouters, & Van der Bruggen, 2009). Su compleja composición depende de muchos factores como: variedad botánica del café, procesamiento (tratamiento post-cosecha), molienda, método de extracción, empaque y especialmente el proceso de tostado (López-Galilea et al., 2006). Respecto a los tratamientos post-cosecha dos grupos de compuestos se pueden formar durante estas etapas, los aldehídos (derivados de reacciones térmicas durante el secado, dados por las reacciones de Maillard ocasionadas por la interacción entre azúcares y aminoácidos) y alcoholes y ésteres

(resultantes de la etapa de fermentación), existe también formación de ácidos, lo cual se puede dar en ambas etapas (González-Ríos et al., 2007b). Acorde al tratamiento post-cosecha que realice variarán los compuestos que se presenten y el contenido de los mismos en el café tostado (González-Ríos et al., 2007a).

El proceso de tostado es la etapa que más influye en la calidad del café, debido a que es la fase en la que se dan diferentes cambios físicos y químicos por diferentes vías de reacción dando la formación de una amplia gama de compuestos orgánicos volátiles que dan aroma al café (González-Ríos et al., 2007a). Los mecanismos de formación del aroma de café son extremadamente complejos y existe claramente una amplia gama de interacciones entre todas las rutas involucradas, Buffo and Cardelli-Freire (2004) detallan que los principales mecanismos incluyen:

1. Reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático): Está reacción se da entre sustancias que, contengan nitrógeno, por un lado (proteínas, péptidos, aminoácidos, serotoninas y trigonelina) y, por otro, la reducción de carbohidratos, hidroxiácidos y fenoles, para formar amino-aldosas y amino-cetonas por condensación.
2. Degradación de Strecker: una reacción entre aminoácidos y un alfa-dicarbonilo con la formación de una amino-acetona que se condensa para formar compuestos heterocíclicos de nitrógeno o reacciona con el formaldehído para formar oxazoles.
3. Descomposición de aminoácidos azufrado, viz.cistina, cisteína y metionina, que se transforman en mercaptanos, así como tiofenos y tiazoles, después de reaccionar con azúcares reductores o productos intermedios de la reacción de Maillard.
4. Descomposición de hidroxi-aminoácidos, viz.serina y teonina, capaces de reaccionar con sacarosa para formar principalmente pirazinas.
5. Descomposición de prolina e hidroxi-prolina, que reaccionan con productos intermedios de la reacción de Maillard: el primero da piridinas, pirroles y pirrolibinas, mientras que la última forma alquilpirrol, acilpirrol y furfúrilpirrol.
6. Degradación de Trigonelina, formando alquilpiridinas y pirroles.
7. Degradación de ácido quínico para la formación de fenoles.
8. Degradación de pigmentos principalmente carotenoides.
9. Degradación lipídica menor, principalmente di-terpenos.
10. Interacción entre productos de descomposición intermedia (en su mayoría desconocidos).

La investigación activa sobre la composición volátil del café ha tenido lugar en los últimos 25 años con la llegada de la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, las

principales clases de compuestos de aroma de café molido tostado se enumeran en la tabla 2.

**Tabla 2:** Clases de compuestos volátiles identificados en café tostado.

<b>Clases</b>	<b>Subclases</b>
<b>Compuestos de azufre</b>	Tioles, Tiofenos de sulfuro de hidrógeno (ésteres, aldehídos, cetonas), tiazoles (alquilo, alcoxi y derivados de acetal).
<b>Pirazinas</b>	Pirazina, derivados de tiol y furfurilo, derivados de alquilo (principalmente metilo y dimetilo).
<b>Piridinas</b>	Derivado de metilo, etilo, acetilo y vinilo.
<b>Pirroles</b>	Derivados de alquil, acilo y furfurilos.
<b>Oxazoles</b>	-
<b>Furanos</b>	Aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes, ácidos, tioles, sulfuros y en combinación con pirazinas y pirroles.
<b>Aldehídos y cetonas</b>	Especies alifáticas y aromáticas.
<b>Fenoles</b>	-

**Fuente:** Buffo and Cardelli-Freire (2004)

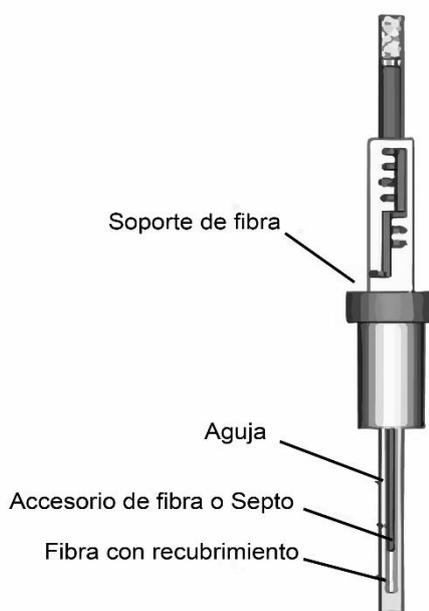
**Elaborado por:** Autor

### 1.7. Extracción de compuestos volátiles

Establecer la composición de compuestos volátiles de los alimentos, ha venido siendo en los últimos años de suma importancia, debido a que mediante el conocimiento de estos compuestos se puede saber desde el origen geográfico de un alimento hasta detectar la contaminación del mismo, antes de poder determinar los compuestos volátiles de nuestros alimentos es necesario su aislamiento, por lo que existen diversas técnicas que permiten, entre estas técnicas se encuentra la destilación de vapor, la extracción simultánea (SDE), la extracción líquido-líquido y la extracción de fase sólida o también llamado extracción por espacio de cabeza (Castro-Vázquez, Pérez-Coello, & Cabezudo, 2003). Algunos de estos métodos pueden causar cambios en la composición de los alimentos analizados, el uso de vapor puede alterar algunos componentes lábiles al calor, las superficies activas de absorbentes pueden cambiar la proporción de los constituyentes volátiles en una muestra, de manera que la extracción por fase sólida es la metodología más efectiva proporcionando una composición más precisa por darse una inyección directa en la columna de una cromatógrafo de gases (Castro-Vázquez et al., 2003; Shimoda & Shibamoto, 1990). Actualmente se maneja una técnica nueva denominada micro-extracción de fase sólida (SPME), la cual es una variante de la extracción de fase sólida antes mencionada, siendo más eficiente en tiempo, portabilidad, precisión, límite de detección y costos. Por lo que es la técnica de extracción preferida hoy en día (Zhang & Pawliszyn, 1993).

### 1.7.1. Micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza (HS-SPME)

La micro-extracción de fase sólida de espacio de cabeza (figura 7) es una técnica de preparación de muestras sin disolvente en la que se introduce una fibra de sílice fundida revestida con líquido orgánico polimérico en el espacio de cabeza encima de la muestra, los analitos orgánicos volatilizados se extraen y se concentran en el recubrimiento y luego se transfieren al instrumento analítico (Cromatógrafo de gases) para su desorción y análisis, esta modificación del método de micro-extracción en fase sólida (SPME) acorta el tiempo de extracción y facilita la aplicación de este método al análisis de muestras sólidas (Balasubramanian & Panigrahi, 2011). Los límites de detección de la técnica HS-SPME están a nivel de partes por billón cuando se utiliza un detector de espectrometría de masas, La micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza cuenta con dos modificaciones: micro-extracción de fase sólida estática y micro-extracción de fase sólida dinámica (Balasubramanian & Panigrahi, 2011; Belitz et al., 2009; Zhang & Pawliszyn, 1993).



**Figura 7:** Dispositivo de SPME

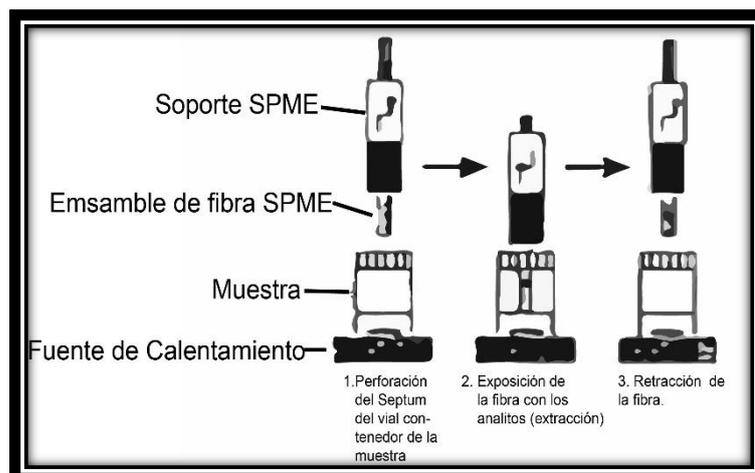
**Fuente:** Tomada y adaptada desde Lou, Lee, and Pawliszyn (2008)

**Elaborado por:** Lou et al. (2008)

La técnica de micro-extracción en fase sólida de espacio de cabeza estático (figura 8) es una metodología adecuada para determinar los compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases, en esta técnica la muestra se coloca en un vial sellado y se calienta hasta que los compuestos alcancen un equilibrio con la fase de gaseosa, luego los analitos

son absorbidos directamente de la muestra sobre la fibra de sílice fundida recubierta con una fase polimérica, después se remueve la fibra de la muestra y se coloca en el inyector del cromatógrafo de gases, los analitos captados por la fibra son desorbidos térmicamente en el inyector (Balasubramanian & Panigrahi, 2011; Menéndez, Sánchez, Uria, Martinez, & Sanz-Medel, 2000).

Esta técnica tiene la ventaja que no utiliza solventes para la extracción de los compuestos, siendo una metodología simple, rápida y económica (Menéndez et al., 2000). El muestreo del espacio de cabeza estático involucra que el aire del espacio de cabeza no sea perturbado por ningún medio externo mientras que la difusión ocurre entre la fibra y la matriz en la muestra, por lo tanto la micro-extracción por espacio de cabeza estático tiene la ventaja sobre el dinámico que no requiere procesos de calibración cuidadosos y bombas de aire costosas, por otra parte los cambios de temperatura y presión pueden causar cambios drásticos en la eficiencia del proceso de muestreo estático (Balasubramanian & Panigrahi, 2011).



**Figura 8:** Proceso HS-SPME de modificación estática  
**Fuente:** Tomada y adaptada desde Balasubramanian and Panigrahi (2011)  
**Elaborado por:** Balasubramanian and Panigrahi (2011)

Para poder trabajar con este método es de suma importancia saber qué tipo de recubrimiento de fibra se deberá utilizar, la elección dependerá del compuesto objetivo que se desee extraer, las características de polaridad y volatilidad del compuesto objetivo es lo primero que se deberá abordar antes de seleccionar el revestimiento de la fibra, debido a que de eso dependerá una efectiva extracción (Balasubramanian & Panigrahi, 2011). Los revestimientos de fibra más comunes utilizados son:

- Polidimetilsiloxano 100um (PDMS)
- Divinilbenceno (DVB) 65 um (DVB/PDMS)

- Carboxen/PDMS 75 um
- Poliacrilato(Pa) 85 um

El recubrimiento más utilizado es el de polidimetil siloxano debido a su capacidad para soportar altas temperaturas (300°C), la capacidad de extracción de esta fibra se puede mejorar debido a que permite realizar combinaciones con otros recubrimientos distintos, el recubrimiento de carboxen tiene una estructura microporosa que le permite absorber componentes volátiles de bajo peso molecular, por otro lado, la fibra de DVB es rica en microporosa por lo tanto es útil para la extracción de compuestos semi-volátiles (Balasubramanian & Panigrahi, 2011).

Como se había mencionado anteriormente la polaridad de los compuestos es sumamente importante para la selección del recubrimiento, por lo tanto si los compuestos a extraer son predominantemente polares (tienen un reparto equitativo de electrones al formar enlaces covalentes) se recomienda utilizar un recubrimiento AP, en caso del recubrimiento DVB es también de naturaleza polar pero por las características de sus poros, se recomienda su uso para la identificación de compuestos como di-sulfuros y tri-sulfuros (Balasubramanian & Panigrahi, 2011). En el caso de los compuestos no polares (tienen una distribución desigual de electrones para formar enlaces covalentes) como los metales y compuestos orgánicos que contengan solo compuestos de hidrogeno y carbono (alcanos) se pueden extraer con recubrimientos como PDMS o CARB/PDMS, en el caso de querer extraer compuestos bipolares como alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres y ácidos carboxílicos, una fibra recubierta con una combinación de un material no polar como PDMS y un material polar como DVB podría ser una mejor opción (Balasubramanian & Panigrahi, 2011).

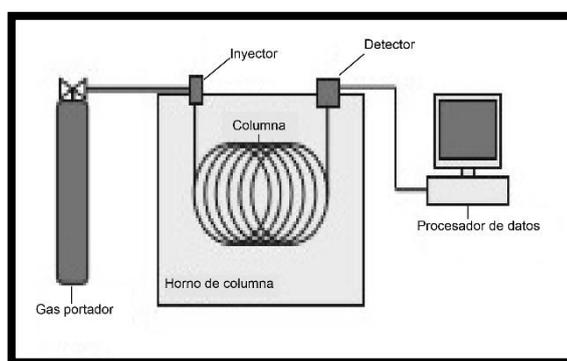
El café es un alimento que contiene una gran variedad de compuestos volátiles, siendo estos de naturaleza tanto polar como apolar, por lo tanto es recomendable utilizar una fibra de tres fases (DVB/CAR/PDMS) para la extracción de los compuestos volátiles del café debido a que permite la extracción de un mayor número de compuestos respecto a fibras como: PDMS, PDMS/DVB y PA (Figuroa & Vargas, 2016).

### **1.8. Cromatografía**

La cromatografía es un método físico de separación (figura 9) en el que los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las fases es estacionaria y la otra es una fase móvil, trasladándose en una dirección definida, la fase móvil puede ser un gas, líquido o un fluido supercrítico y se mueve por la gravedad, las fuerzas capilares o la presión, siendo responsable del transporte de los analitos a lo largo de la fase estacionaria (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014). La fase estacionaria puede ser un sólido poroso o no poroso o un

líquido inmovilizado con un área superficial adecuada y tiene la función de retener los analitos en comparación a la velocidad de transporte de la fase móvil (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014).

Existen diferentes tipos de cromatografía y se pueden clasificar utilizando diferentes criterios, un criterio fundamental es el estado de agregación de la fase móvil, las fases móviles pueden ser gaseosas, líquidas o fluidos supercríticos, por lo tanto, si es un gas la cromatografía se denominará cromatografía de gases (GC), si es líquida llevara el nombre de cromatografía líquida (LC) y en caso de contener un fluido supercrítico se denomina cromatografía de fluidos supercríticos (SFC) (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014). Otro criterio para clasificar los cromatógrafos es el mecanismo de separación es decir el mecanismo de distribución del analito entre la fase estacionaria y la móvil, esta separación se puede basar en la absorción, solubilidad, intercambio iónico, exclusión de tamaño o interacciones selectivas, en el caso de la cromatografía de gases, solamente la absorción y la solubilidad son aplicadas y en el caso de las fases estacionarias sólidas tiene lugar la cromatografía de adsorción, llamada cromatografía de gases sólidos (GSC) (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014). En el caso de fases líquidas estacionarias, se producen procesos de solución, esta cromatografía de partición se llama cromatografía líquida de gases (GLC) (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014).



**Figura 9:** Esquema de un sistema común de GC  
**Fuente:** Tomada y adaptada desde Engewald and Dettmer-Wilde (2014)  
**Elaborado por:** Engewald and Dettmer-Wilde (2014)

## 1.9. Cromatografía de gases y espectrometría de masas

En combinación con las técnicas de separación, la espectrometría de masas ofrece información específica de cada componente separado, incluso cuando este se encuentra presente en niveles bajos en una mezcla compleja, entrega información de estructura completa, siendo la sensibilidad del detector MS tan alta o incluso mejor que los detectores comunes de GC como detector de ionización de llama (FID) y detectores de captura de

electrones (ECD), la cromatografía de gases y espectrometría de masas se ha utilizado para la identificación de cientos de componentes que están presentes en sistemas naturales y biológicos, especialmente para la identificación de compuestos aromáticos en los alimentos (Engewald & Dettmer-Wilde, 2014; Skoog, Holler, & Crouch, 2017).

### 1.10. Identificación de compuestos

Para la identificación de compuestos se utiliza como criterio de análisis el índice de retención o también conocido como índice de Kovats debido a que en 1958 fue la primera persona que propuso utilizar el índice de retención como un parámetro para la identificación de los solutos a partir de los cromatogramas, la aplicabilidad del índice de retención como un indicador es muy factible, sin embargo, tiene la desventaja que su aplicabilidad está limitado por las diferentes variables que se deben controlar para obtener resultados reproducibles, el índice de retención para un soluto dado puede deducirse del cromatograma de una mezcla del soluto con al menos la presencia de dos alcanos de cadena lineal que tengan tiempos de retención en los cuales el tiempo de retención del soluto a identificar quede entre estos dos (Skoog et al., 2017). La ecuación 1 permite determinar el índice de retención a partir de tiempo de retención ajustado en relación al tiempo de retención de los alcanos:

$$I = 100(n + (N + n) \frac{\log t'r(\text{desconocido}) - \log t'r(n)}{\log t'r(N) - \log t'r(n)})$$

**Ecuación 1:** Determinación de índice de Kovats

**Fuente:** Tomada y adaptada desde Harris Daniel (2006)

**Donde:**

n = número de carbono alcano más corto

N = número de átomos de carbono del alcano más largo

t'r(n) = tiempo de retención ajustado del alcano más corto

t'r(N) = tiempo de retención ajustado del alcano más largo

t'r(desconocido) = tiempo de retención del compuesto desconocido

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.1. Muestra

Las muestras de café cerezo (*Coffea arabica* L) variedad caturra (figura 10) fueron recolectadas en el cantón Palanda (1300 msnm), ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe al sur del Ecuador.



**Figura 10:** Muestra de café cerezo  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

## 2.2. Selección y clasificación

El procesamiento del cerezo del café, se lo realizó en el laboratorio de tecnologías básicas perteneciente a la sección de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

La limpieza y selección se realizó mediante lavado por inmersión, durante el lavado se desechó todo material flotante, incluido café cerezo, considerando a estos frutos (brocados, humedades diferentes, etc) de mala calidad, debido a la variabilidad en la maduración del fruto (figura 11), se realizó una clasificación en función del color de la cereza de café (Brando, 2008), para hacerlo se determinó por medio de cartas de color de Royal Horticultural Society (RHS) de Inglaterra y un colorímetro digital (CR-14, ÑKONICA MINOLTA, Japón).



**Figura 11:** Café cerezo clasificado acorde a su nivel de maduración  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

### 2.3. Caracterización fisicoquímica

Para la determinación del grado de madurez del café cerezo seleccionado, se realizó una caracterización fisicoquímica de la pulpa. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados fueron expresados como promedio  $\pm$  DE (desviación estándar). Los métodos empleados se detallan a continuación:

#### 2.3.1. Determinación de pH

La determinación del pH de la pulpa se realizó acorde al método de la AOAC 970.21, en uso de un potenciómetro digital (Mettler Toledo, Japón)

#### 2.3.2. Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó en una estufa al vacío (OV-12, Jeio Tech), el análisis se realizó en base al método AOAC 920.151, para lo cual se pesó en cápsulas de porcelana  $3 \pm 0,1$  g de pulpa fresca de café cerezo, las cuales posteriormente fueron secadas a  $60^{\circ}\text{C}$  a una presión  $\leq 100$  mm Hg por 3 horas. Finalizando el secado se dejaron enfriar por 30 minutos en uso de un desecador. El proceso de secado de las cápsulas se repitió hasta que las muestras alcanzaran un peso constante con diferencias menores a 10 mg entre una pesada y la otra. Los resultados se calcularon mediante diferencia de pesos, expresándose en % acorde a la ecuación 2:

$$\% \text{Humedad} = \left( \frac{m_h - m_s}{m_h} \right) * 100$$

**Ecuación 2:** Determinación de humedad

Donde:

$m_s$  =Peso de la muestra seca

$m_h$  =Peso de la muestra húmeda

### 2.3.3. Determinación sólidos solubles

Los sólidos solubles fueron cuantificados acorde al método de la AOAC 932.12, se utilizó un refractómetro digital (30 PX, Mettler Toledo, Japón), en el cual se colocó 1 mL de la muestra y se midió su índice de refracción, los resultados se expresaron en °Brix.

### 2.3.4. Determinación de acidez

La acidez fue determinada acorde al método de la AOAC 942.15, para realizarlo se dejó macerar  $10 \pm 0,1$  g de pulpa fresca en 100 mL de agua destilada neutralizada por una hora, posteriormente se tomó una alícuota de 20 mL de esta disolución y se mezcló con 25 mL de agua destilada. Finalmente, se valoró con NaOH (0.1 N) y fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron como mL de NaOH necesarios para la neutralizar 100 g de muestra.

## 2.4. Tratamiento post-cosecha

Una vez finalizada la caracterización fisicoquímica del café cerezo seleccionado, se procedió a su procesamiento, para la obtención del grano verde. En esta investigación se realizaron 4 diferentes tratamientos post-cosecha, los cuales se detallan en la tabla 3.

**Tabla 3:** Procesamiento del café mediante diferentes tratamientos post-cosecha

Etapas de procesamiento	Tratamiento Post-cosecha			
	Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey
Selección del cerezo	✓	✓	✓	✓
Despulpado		✓	✓	✓
Fermentación	✓ *	✓		✓
Lavado		✓	✓	
Secado	✓	✓	✓	✓
Trillado	✓	✓	✓	✓
Almacenado	✓	✓	✓	✓

\*En el tratamiento post-cosecha seco, existe una leve fermentación durante el secado, promovida por la microbiota natural del café (Silva, Schwan, Dias, & Wheals, 2000).

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

### 2.4.1. Natural o seco

Para el tratamiento post-cosecha natural o seco, el café cerezo seleccionado fue sometido a un proceso de secado, para lo cual se utilizó una estufa de tiro forzado (Cole Parmer, Estados Unidos) a una temperatura de  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  (Figuroa & Vargas, 2016), hasta que se alcanzó una humedad menor al 10 %, posteriormente se procedió a retirar la pulpa y el pergamino seco mediante el uso de una trilladora para muestras de laboratorio (ING-C-200,

Quantik, Colombia). Los granos verdes obtenidos del trillado se almacenaron en una bolsa plástica de baja densidad con cierre hermético. En la figura 12 se muestra el café cerezo procesado hasta la obtención del grano de café verde.



**Figura 12:** Tratamiento post-cosecha seco

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

#### 2.4.2. Lavado o húmedo

El café cerezo seleccionado fue sometido a un despulpado manual, posteriormente se procedió a realizar la fermentación del mucílago con la finalidad de lograr su separación del grano, para este procedimiento se hizo uso de una cámara de fermentación, utilizándose una temperatura de 25 °C y una humedad relativa del 30%, el proceso de fermentación tuvo un tiempo de duración de 16 h (Belitz et al., 2009), su finalización se determinó por el grado de pegajosidad y la medición del pH del líquido lixiviado, el cual se encontró en un pH de 3,96 (Jackels & Jackels, 2005). A continuación, se lavó para eliminar el mucílago fermentado. Finalmente, los granos de café con pergamino se llevaron a una estufa de aire forzado (Cole Parmer, Estados Unidos) para su posterior secado, las condiciones que se manejaron para la eliminación de la humedad fueron de 60°C (Figuroa & Vargas, 2016), hasta alcanzar un contenido de humedad inferior al 10 %. Los granos de café secos se sometieron mediante el uso de una trilladora de laboratorio (ING-C-200, Quantik, Colombia) a una eliminación del pergamino. Los granos de café verde se almacenaron en una funda plástica de polietileno de baja densidad con cierre hermético. En la figura 13 se muestra el café cerezo procesado bajo el tratamiento post-cosecha húmedo hasta la obtención del grano de café verde.



**Figura 13:** Tratamiento post-cosecha húmedo

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

### 2.4.3. Variación de húmedo

Para este tratamiento post-cosecha, como primera acción, se sometió el café cerezo seleccionado a un despulpado manual, inmediatamente, se lavó para eliminar todo el mucílago. Finalmente, los granos con pergamino completamente limpios se sometieron a un secado en uso de una estufa de aire forzado (Cole Parmer, Estados Unidos), la temperatura de secado fue de 60 °C (Figuroa & Vargas, 2016), hasta alcanzar una humedad menor del 10 %. Se retiró el pergamino de los granos de café empleando una trilladora de laboratorio (ING-C-200, Quantik, Colombia). Los granos verdes obtenidos del trillado se almacenaron en una bolsa plástica de baja densidad con cierre hermético. En la figura 14 se muestra el café cerezo procesado bajo el tratamiento post-cosecha húmedo variado hasta la obtención del grano de café verde.



**Figura 14:** Tratamiento post-cosecha húmedo variado

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

#### 2.4.4. Honey

Primeramente se sometió el café cerezo seleccionado a un despulpado manual, posteriormente se procedió a realizar la fermentación del mucílago, para este procedimiento se hizo uso de una cámara de fermentación, utilizándose una temperatura de 25 °C y una humedad relativa del 30%, el proceso de fermentación tuvo un tiempo de duración de 16 h (Belitz et al., 2009), su finalización se determinó por el grado de pegajosidad y la medición del pH del líquido lixiviado, el cual se encontró en un pH de 4,2 (Jackels & Jackels, 2005). Finalmente los granos de café con el mucílago fermentado se llevaron a una estufa de aire forzado (Cole Parmer, Estados Unidos) para su posterior secado, las condiciones que se manejaron para la eliminación de la humedad fueron de 60°C (Figuroa & Vargas, 2016), hasta alcanzar un contenido de humedad menor al 10 %. Los granos de café secos se sometieron mediante el uso de una trilladora de laboratorio (ING-C-200, Quantik, Colombia) a una eliminación del pergamino. Los granos de café verde se almacenaron en una funda plástica de polietileno de baja densidad con cierre hermético. En la figura 15 se muestra el café cerezo procesado bajo el tratamiento post-cosecha honey hasta la obtención del grano de café verde.



**Figura 15:** Tratamiento post-cosecha honey

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

## 2.5. Tostado y molido

El tostado del café fue realizado por la empresa Hoja Verde, acorde al protocolo de SCAA (Specialty Coffee Association of America). Para el proceso de tostado se utilizó individualmente 100 g de café verde de cada uno de los tratamientos post-cosecha. El tiempo de tostado se manejó en un margen de 8 a 12 minutos, posterior al tostado el café se sometió a enfriamiento en un lapso de tiempo menor a 5 minutos y se dejó en reposo por 15 horas antes de su almacenamiento. Los parámetros controlados durante el tostado de cada uno de los tratamientos post-cosecha se muestran a continuación en la tabla 4.

**Tabla 4:** Parámetros de tostado

Tratamiento	Temperatura	Primer Crack		Finalización de Tostado	
		Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
Post-cosecha	Inicial de Tostado				
<b>Seco o Natural</b>	190 °C	8 minutos	167°C	10 minutos	176°C
<b>Lavado o Húmedo</b>	190°C	6 minutos	160°C	8 minutos	174°C
<b>Variación de Húmedo</b>	170°C	7 minutos	165°C	9 minutos	171°C
<b>Honey</b>	170°C	7 minutos	164°C	9 minutos	178°C

**Fuente:** Empresa Hoja Verde

**Elaborado por:** El autor

La molienda de los granos tostados se realizó mediante el uso de un molino de discos abrasivos (Bunn, Estados Unidos), utilizando una molienda fina de tipo Espresso. El café molido se almacenó en fundas doypack metalizadas con cierre hermético.

## 2.6. Micro-extracción en fase sólida

Para la extracción de los compuestos aromáticos del café, se hizo uso de una fibra bipolar de triple fase (Divinilbenceno/carboxeno/polidimetilsiloxano), 50/30  $\mu\text{m}$  (modelo 57348-U, Supelco Inc, USA). Después de cada ciclo de extracción-desorción, la fibra se limpió en el puerto inyector por 5 minutos.

Para el desarrollo de la extracción se pesó  $2 \pm 0,5$  g de muestra en un vial de 10 mL, conjunto se llenó el vial hasta la mitad de su capacidad con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 100%, inmediatamente sellado el vial, mediante el uso de un agitador magnético (Witeg, MSH-20 D) se sometió la muestra a un acondicionamiento de 10 minutos, manejando una velocidad de agitación de 1000 rpm y una temperatura constante de 90°C, posteriormente se insertó la fibra en el vial y se la expuso al espacio de cabeza por 21 minutos (figura 16). Una vez transcurrido el tiempo de extracción se retiró la fibra del vial y se la insertó en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases (figura 17), la desorción de los analitos se realizó a 250 °C por 10 minutos. Las extracciones para cada muestra se realizaron por triplicado, las condiciones utilizadas de concentración de cloruro de sodio (NaCl), tiempo de acondicionamiento y tiempo de extracción, fueron las condiciones determinadas durante la optimización.



**Figura 16:** Extracción de compuestos aromáticos mediante HS-SPME  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

## 2.7. Método cromatográfico

La separación y detección de los compuestos volátiles de las muestras se realizaron mediante el uso de un cromatógrafo de gases (Agilent, modelo 6890, Estados Unidos) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent, modelo 5973N). Se utilizó una columna HP-5 (5% fenil-95% polidimetilsiloxano) y helio a un flujo de 1 mL/min como gas de arrastre. La condición de temperatura programada para el horno del cromatógrafo consistió en utilizar como temperatura inicial 40°C (5 min) hasta 165°C con una pendiente de 3°C/min, luego a 230°C (5 min) con una pendiente de 10°C/min (Rychlik & Bosset, 2001).



**Figura 17:** Desorción de compuestos en el puerto de inyección  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

### 2.7.1. Identificación de compuestos

Los compuestos fueron identificados mediante la comparación de sus espectros de masas con espectros de referencia de la biblioteca Wiley, la cual dispone de 390 mil espectros y 316 mil compuestos. La confirmación de identidad se basó en: (i) índice de similitud y (ii) índice de Kovats.

- **Índice de similitud**

El índice de similitud (QM) se realizó mediante la comparación espectral de masas descritos anteriormente, se consideró identificado un compuesto al ser mayor a 80.

- **Índice de Kovats**

El cálculo del índice de Kovats y su comparación con los índices de Kovats de literatura, se consideró identificado cuando el índice de Kovats no variaba en  $\pm 20$  respecto a los encontrados en la bibliografía, para el cálculo de los índices de Kovats se utilizó como patrón un mezcla de hidrocarburos (C8-C22).

## **2.8. Análisis estadístico**

Para los análisis se hizo uso del paquete estadístico MINITAB versión 16, realizándose análisis de varianza y un test de rango múltiple (Tukey). Se planteó como hipótesis nula: “No existe diferencia significativa en la concentración de los compuestos aromáticos del café, al realizar diferentes tratamientos post-cosecha”, y se consideró como variable los tratamientos post-cosecha realizados: Seco o natural, húmedo o lavado, variación de húmedo y honey.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1. Caracterización del café cerezo

La determinación del estado de madurez del cerezo del café se realizó, mediante análisis físico-químicos, evaluándose el color, pH, sólidos solubles y acidez titulable. Los resultados obtenidos en conjunto con la humedad se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5:** Caracterización de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arabica* L.) var. Caturra

Color		pH	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez titulable (mL NaOH 0,1N/100 g)	Humedad (%)
Cartas de color	Colorímetro				
187-A "Greyed Purple Groups"	L*=19.3 ± 0.6 a*= 9.7 ± 2.7 b*=7.3 ± 0.7	4.4 ± 0.04	14.8 ± 0.1	9.2 ± 0.1	79.7 ± 0.3

N= 3 datos, expresados en promedio ± desviación estándar.

Fuente: Vicente (2018)

Elaboración: El autor

Los resultados obtenidos indicaron que el color más representativo del epicarpio del café cerezo seleccionado fue el 187-A "Greyed Purple Groups" acorde a las cartas de color de Royal Horticultural Society of London, encontrándose en la tonalidad ideal mencionada por Bertrand et al. (2012), en la cual se manifiesta que el café cerezo se encuentra en estado óptimo de maduración cuando el epicarpio se encuentra en un color púrpura. En relación al color de café cerezo se realizó también un análisis mediante el uso de un colorímetro digital, en el cual se midió el color en coordenadas CIELab, obteniéndose un índice psicométrico de luminosidad L\*:19.3 ± 0.6, encontrándose en una tonalidad oscura, además se obtuvo en las coordenadas de color a\* y b\* los siguientes valores: 9.7 y 7.3 respectivamente, los datos obtenidos se encuentran en relación al patrón Greyed Purple, debido a que Hurtado, Morales, González-Miret, Escudero-Gilete, and Heredia (2009) mencionan que las coordenadas a\* positivas representan (colores rojizos) y las coordenadas b\* positivas representan (colores amarillos).

Respecto a la determinación de pH, se obtuvo un valor de 4.4, encontrándose muy cercano al valor, determinado por Rojas, Verreth, Amato, and Huisman (2003), los cuales obtuvieron valores de 4.5 a 4.6 en una pulpa de café (*coffea arabica* L.) var. Caturra. Los análisis de acidez se encontraron en 9.2 ± 0.1 mL de NaOH 0.1N/100 g, ubicándose en relación con valores determinados por Figueroa and Vargas (2016), el cual indica una acidez de 8.3 mL de NaOH 0.1N/100g.

Los resultados de sólidos solubles indicaron una madurez del fruto recolectado, obteniéndose un valor de 14.8 °BRIX, resultados similares fueron encontrados por Castro

(2017), el cual reportó valores de  $13.96 \pm 1.66$  °BRIX en muestras de café (*coffea arabica* L.) var. Caturra.

El contenido de humedad determinado en el café cerezo se encontró en valores de  $79.3 \pm 0,3$ , ubicándose en el rango reportado por Gurrám et al. (2016), el cual menciona una humedad del café cerezo de  $77.9 \pm 4.4\%$ .

### 3.2. Determinación del grado de tostado del café

La caracterización del grado se la realizó mediante la determinación de su color, para lo cual se hizo uso de dos técnicas de medición: Un colorímetro digital Konica Minolta modelo CR-14 y cartas colorimétricas pertenecientes al SCAA (Specialty Coffee Association of America). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6:** Determinación del color del café tostado

Tratamiento post-cosecha	Colorímetro	
	L*	AGTRON SCAA
Seco / natural	25.1	#65 Light Medium
Húmedo / Lavado	31.0	#85 Light Medium
Variación de húmedo	30.2	#85 Light Medium
Honey	27.5	#65 Light Medium

**Fuente:** Vicente (2018)

**Elaboración:** El autor

Los resultados obtenidos mediante el colorímetro digital se expresaron en parámetros de color CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), utilizando únicamente el parámetro  $L^*$  (ligereza) para medir el grado de tostado (ligero, medio, oscuro, muy oscuro) (Cho, Park, Kim, Kim, & Han, 2014). En los cuatro tratamientos post-cosecha, el parámetro de color  $L^*$  del grano tostado de café se encontró en un rango mayor a 25 y menor de 35, caracterizándose como un tueste medio, en relación a lo mencionado por Sacchetti, Di Mattia, Pittia, and Mastrocola (2009), quien menciona que un tueste medio se debe encontrar en los siguientes rangos de ligereza ( $25 > L^* < 35$ ). Como comprobación en uso de las cartas de color pertenecientes al SCAA, se determinó que el tueste de los granos de café fue medio, caracterizándose el color de los tratamientos post-cosecha seco y honey con un disco de color # 65 light medium y para los tratamientos post-cosecha húmedo y variante de húmedo un disco de color # 85 light medium.

### 3.3. Identificación de compuestos volátiles

En la presente investigación se lograron identificar un total de 64 compuestos, de los cuales 49 se detectaron en todas las muestras (tabla 7). En el tratamiento seco se logró identificar

55 compuestos, en el húmedo 55 compuestos, en el húmedo variado 54 compuestos, y en el honey 53 compuestos. En el anexo 1 se puede encontrar los tiempos de retención de todos los compuestos encontrados.

**Tabla 7:** Identificación de compuestos mediante índice de Kovats e índice de coincidencia

#	Nombre del compuesto	CAS no.	IK(QM)					IK (bibliografía)		
			Seco / natural	Húmedo / lavado	Húmedo Variado	Honey	Valor	Columna	Referencia	
1	Acetaldehído	75-07-0	614(74)	614(74)	614(83)	614(74)	500	DB-5	(Qian & Reineccius, 2003)	
2	Etanol	64-17-5	621(90)	621(90)	621(83)	621(90)	649	DB-1	(Adedeji, Hartman, Rosen, & Ho, 1991)	
3	2-Propanona	67-64-1	627(80)	626(80)	628(80)	627(80)	509	HP-5	(Miyazaki, Plotto, Goodner, & Gmitter Jr, 2011)	
4	Acido fórmico, etil éster	109-94-4	631(91)	630(91)	631(91)	631(91)	610	HP-5	(Yuping, Jiming, Yan, Hui, & Wenlai, 2008)	
5	ácido acético, metil éster	79-20-9	633(90)	633(90)	634(90)	634(90)	531	DB-5	(Miyazaki et al., 2011)	
6	2-metilpropanal	78-84-2	642(90)	641(90)	642(91)	642(91)	662	DB-5	(Qian & Reineccius, 2003)	
7	2,3 butanodiona	431-03-8	651(83)	650(90)	651(83)	651(83)	623	DB-5	(Avsar et al., 2004)	
8	2-butanona	78-93-3	653(90)	652(83)	653(80)	653(90)	683	DB-1701	(Venkateshwarlu, Let, Meyer, & Jacobsen, 2004)	
9	2-Metilfurano	534-22-5	655(90)	654(90)	655(90)	655(90)	623	HP-5 ms	(Dong et al., 2013)	
10	Ácido acético	64-19-7	656(90)	657(90)	-----	658(90)	682	SLB-5	(Risticevic, Carasek, & Pawliszyn, 2008)	
11	Acetato de etilo	141-78-6	659(90)	658(90)	659(90)	659(90)	634	HP-5	(Bertrand et al., 2012)	
12	3-Metilbutanal	590-86-3	677(94)	677(94)	677(86)	677(95)	658	SLB-5	(Risticevic et al., 2008)	
13	2-Metilbutanal	96-17-3	681(91)	681(91)	681(91)	681(91)	670	SPB-5	(Piccino, Boulanger, Descroix, & Sing, 2014)	
14	2-pentanona	107-87-9	690(83)	690(85)	690(90)	690(83)	685	HP-5	(Siegmund & Murkovic, 2004)	
15	2,3-pentanodiona	600-14-6	695(90)	695(90)	695(86)	695(90)	697	SLB-5	(Risticevic et al., 2008)	

Tabla 7 continuación.

#	Nombre del compuesto	CAS no.	IK(QM)				IK (bibliografía)		
			Seco / natural	Húmedo / lavado	Húmedo Variado	Honey	Valor	Columna	Referencia
33	Furfurilformato	13493-97-5	891(90)	891(90)	891(86)	891(90)	875	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)
34	1-(2-Furanil)-Etanona	1192-62-7	891(91)	894(91)	894(91)	894(91)	888	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)
35	2,6-dimetilpirazina	123-32-0	897(90)	897(90)	897(91)	897(90)	885	HP-5	(Risticovic et al., 2008)
36	Etilpirazina	13925-00-3	900(91)	900(91)	900(91)	900(91)	917	HP-5ms	(Ho, Aida, Maskat, & Osman, 2007)
37	2,3-dimetilpirazina	5910-89-4	903(87)	903(87)	903(86)	903(87)	919	HP-5ms	(Ho et al., 2007)
38	2,5-dimetil-3(2-H)-Furanona	3658-77-3	940(91)	940(91)	940(90)	940(91)	924	DB-1	(Chen & Ho, 1999)
39	1-(2-Furil)-2-propanona	6975-60-6	945(86)	944(86)	945(90)	945(86)	952	DB-5	(Parker, Hassell, Mottram, & Guy, 2000)
40	5-Metil-2-Furanocarboxaldehído	620-02-0	956(94)	956(94)	956(94)	956(94)	964	HP-5ms	(Ho et al., 2007)
41	Benzaldehído	100-52-7	-----	-----	959(90)	-----	966	HP-5ms	(Alissandrakis, Tarantilis, Harizanis, & Polissiou, 2007)
42	2-Furanometanol Acetato	623-17-6	991(95)	991(95)	991(96)	991(95)	1004	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)
43	2-Etil,6-Metilpirazina	13925-03-6	998(86)	998(87)	998(91)	998(87)	992	HP-5ms	(Ho et al., 2007)
44	2-Etil,3-Metilpirazina	15707-23-0	1002(93)	1002(93)	1002(80)	1002(93)	1015	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)
45	2-etil-5-metil-pirazina	13360-64-0	1003(91)	1003(91)	1003(91)	1003(91)	1001	HP-5ms	(Ho et al., 2007)
46	1H-Pirrol-2-carboxaldehído,1-metil	1192-58-1	1005(94)	1005(94)	1005(94)	1005(94)	1020	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)
47	1-Propanona,1-(2-Furanil)	3194-15-8	1007(80)	1008(80)	1008(80)	1008(80)	1007	HP-5	(Yuping et al., 2008)
48	2-Etenil-6-metilpirazina	13925-09-2	-----	-----	-----	1025(80)	1019	HP-5	(Boylston & Vinyard, 1998)
49	2-Acetil-5-Metilfuran	1193-79-9	1036(83)	1036(83)	1036(80)	1036(86)	1042	HP-5	(Solina, Baumgartner, Johnson, & Whitfield, 2005)

Tabla 7 continuación.

#	Nombre del compuesto	CAS no.	IK(QM)				IK (bibliografía)			
			Seco / natural	Húmedo /lavado	Húmedo Variado	Honey	Valor	Columna	Referencia	
50	2'-Bifurano	5905-00-0	1041(51)	1041(51)	1041(76)	----	1047	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)	
51	1-(5-Metil-2-furil)-2-Propanona	ND	1047(64)	-----	-----	-----	1047	BP-5	(Whitfield & Mottram, 2001)	
52	Benceno, acetaldehído	122-78-1	1049(87)	1049(87)	1049(81)	1048(87)	1043	HP-5	(Kaseleht, Leitner, & Paalme, 2011)	
53	1-etil-2-formil pirrol	2167-14-8	1052(91)	1053(91)	1053(91)	1052(91)	1046	DB-5 MS	(Zhu, Li, & He, 2008)	
54	1-(2-Furil)-3-butanona	699-17-2	1073(90)	1073(90)	1073(90)	1073(90)	1089	BPX-5	(Ames, Guy, & Kipping, 2001)	
55	Etanona, 1-(1-metil-1H-Pirrol-2-yl)	932-16-1	-----	-----	-----	1077(90)	90	BPX-5	(Ames et al., 2001)	
56	3-etil-2,5-dimetilpirazina	13360-65-1	1078(94)	1078(94)	1078(94)	1079(94)	1082	HP-5ms	(Ho et al., 2007)	
57	2-etil-3,5-dimetilpirazina	13925-07-0	-----	-----	-----	1080(86)	1085	HP-5	(Boylston & Vinyard, 1998)	
58	2,2-methylenebis-furano	1197-40-6	1082(94)	1082(94)	1082(91)	1082(94)	1090	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)	
59	Guaiacol	90-05-1	1088(80)	1088(80)	----	----	1088	HP-5 MS	(Fanaro et al., 2012)	
60	2,3-dietil-5-metilpirazina	18138-04-0	-----	-----	1142(91)	1153(91)	1162	HP-5ms	(Ho et al., 2007)	
61	3,5-dietil-2-metilpirazina	18138-05-1	1157(91)	1157(91)	1156(90)	1157(87)	1166	HP-5MS	(Ho et al., 2007)	
62	5-metil-2-(2-furanilmetil)furano	13678-51-8	1178(93)	1178(93)	1178(92)	-----	1184	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)	
63	1-H-Pirrol, 1-(2furanilmetil)	1438-94-4	1181(86)	1181(86)	1181(90)	1181(86)	1189	SLB-5	(Risticovic et al., 2008)	
64	2,3-Dihidro-6-metilieno(2,3 c)furano	ND	1192(90)	1192(90)	1192(90)	1192(90)	1176	DB-5	(Methven, Tsoukka, Oruna-Concha, Parker, & Mottram, 2007)	

Fuente: El autor

Elaborado por: El Autor

Como se puede observar en la tabla 8 mediante la ejecución del tratamiento post-cosecha húmedo se puede obtener un mayor número de compuestos, sin embargo también se pudo determinar que en el tratamiento post-cosecha honey, a pesar de tener una menor cantidad de compuestos respecto a las demás muestras, también se obtuvo una mayor cantidad de compuestos distintos, registrándose 4 compuestos diferentes (Ácido butanoico-3-metil-etil éster, 2-etenil-6-metilpirazina, Etanona-1-1-metil-1H-pirrol-2-yl, 2-etil-3,5-dimetilpirazina), en la tabla 9, se puede observar las diferentes notas aromáticas que estos compuestos brindan al café procesado por este método, otorgando olores florales, afrutados y a frutos secos tostados (avellanas y nueces). En el caso de los tratamientos post-cosecha seco y húmedo, también se pudieron detectar compuestos diferentes, encontrándose el compuesto 1-5-metil-furil-2-propanona en la muestra de tratamiento seco y el compuesto piridina en el tratamiento húmedo, en el caso del compuesto del tratamiento seco, no se registró un aporte de olor, en consecuencia, no representa una influencia en la calidad organoléptica del café. Para el compuesto del tratamiento húmedo se registró un aroma identificativo al café, obteniéndose un aporte organoléptico adicional en este tratamiento post-cosecha.

**Tabla 8:** Detección de compuestos no compartidos por los tratamientos post-cosecha

N	Compuestos	Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey
26	1-H-Pirrol-1-etil	✓	✓	✓	
28	2-vinil-5-metilfuran	✓	✓	✓	
50	2'2-bifurano	✓	✓	✓	
62	5-metil-2-(2-furanilmetil)furano	✓	✓	✓	
22	Piridina	✓	✓		
59	Guaiacol	✓	✓		
60	2,3-dietil-5-metilpirazina			✓	✓
51	1-(5-Metil-2-furil)-2-Propanona	✓			
19	Pirazina		✓		
41	Benzaldehído			✓	✓
30	Ácido butanoico-3-metil-etil éster				✓
48	2-etenil-6-metilpirazina				✓
55	Etanona-1-1-metil-1H-pirrol-2-yl				✓
57	2-etil-3,5-dimetilpirazina				✓

**Fuente:** El autor

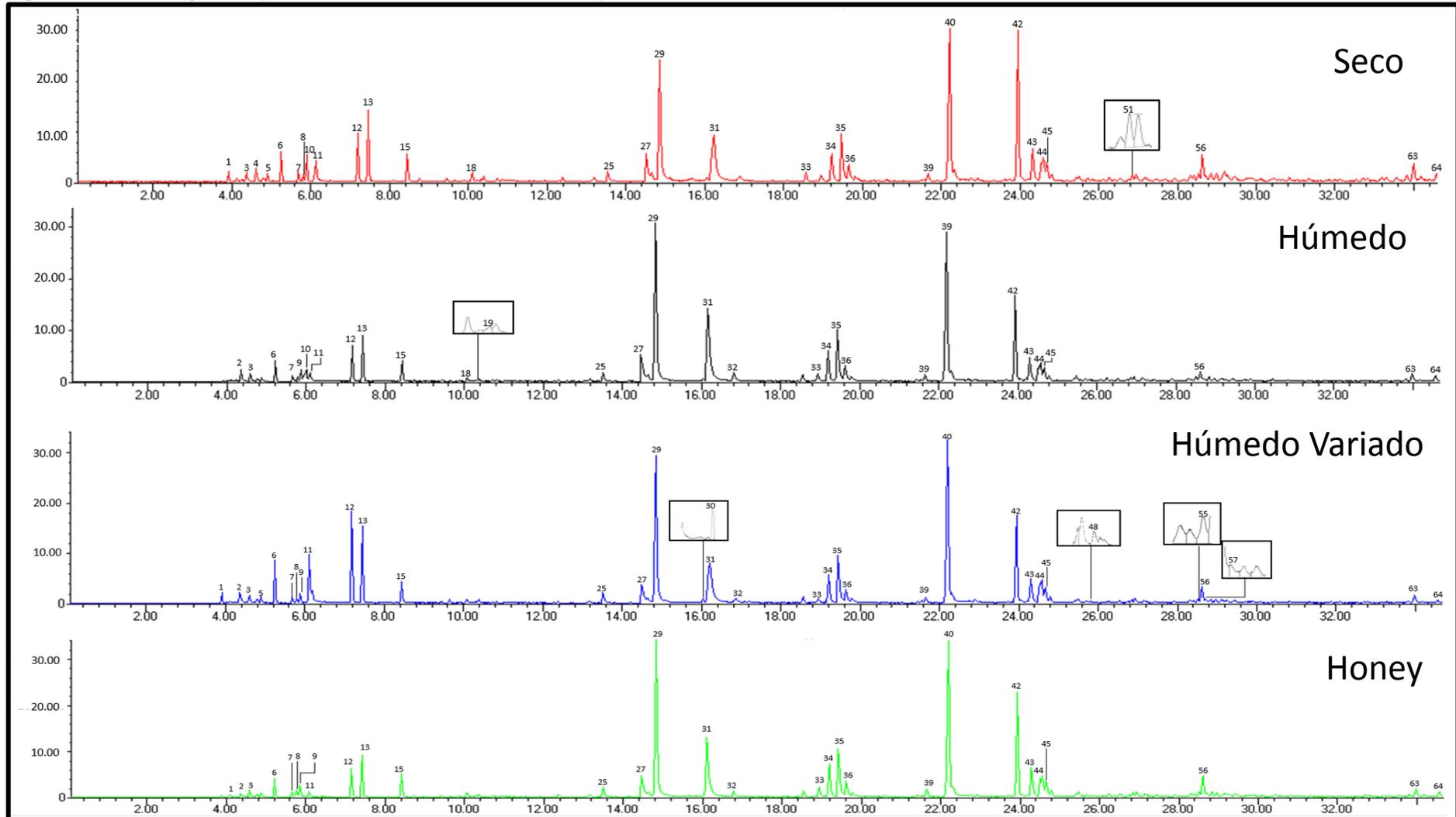
**Elaborado por:** El Autor

### 3.4. Comparación entre los diferentes tratamientos post-cosecha:

Durante esta investigación se compilo los compuestos identificados acorde a su grupo químico, de manera de simplificar la comparación de las diferentes muestras estudiadas. Los compuestos se dividieron en 10 diferentes grupos químicos: 1 alcohol, 7 aldehídos, 6 cetonas, 6 ésteres, 21 furanos, 1 fenol, 13 pirazinas, 1 piridina, 7 pirroles, 1 compuesto de azufre, mediante esta clasificación se puede observar que los grupos principales en término de mayoría numérica y cantidad fueron los furanos, las pirazinas y aldehídos, en la tabla 9 se puede apreciar la media y la desviación estándar de las áreas determinadas para cada uno de los tratamientos post-cosecha. El resultado encontrado respecto a los grupos químicos, coincide con lo reportado por González-Ríos et al. (2007a) quien determinó que los compuestos de café se encuentran conformados en su mayoría por Furanos. El contenido alto de furanos se da debido al proceso de caramelización de los azúcares, en el caso de las pirazinas su presencia ocurre debido a la reacción de maillard entre los azúcares y los aminoácidos del café, y la presencia de aldehídos se vincula a los procesos posteriores a la cosecha (González-Ríos et al., 2007b). En la figura 18 se muestran los cromatogramas de los diferentes tratamientos post-cosecha.

Con el objetivo de obtener una mejor comparación entre los diferentes tratamientos post-cosecha se detallan también los cinco compuestos con mayores áreas en cada una de las muestras, para los tratamientos post-cosecha seco, húmedo y húmedo variado los compuestos con mayores áreas fueron 2-furanocarboxaldehído, 5-metil-2-furanocarboxaldehído, 2-furanmetanol, 2-furanometanol Acetato, 2,5-dimetilpirazina. En el caso del tratamiento post-cosecha honey, los 4 componentes con mayor área son los mismos que en los demás tratamientos, sin embargo, para el quinto componente mayoritario, se presenta un cambio, ubicándose en este tratamiento el 3-metilbutanal como quinto componente con mayor área. Acorde a estos resultados se puede apreciar que el 2-furanocarboxaldehído presentó la mayor área en los cuatro tratamientos post-cosecha, seguido por 5-metil-2-furanocarboxaldehído y 2-furanmetanol. Acorde a Korhoňová et al. (2009) en su estudio sobre el aroma del café determinó que los tres compuestos mayoritarios en muestras de café arábigo son alcohol furfurílico, ácido acético y 2-furanocarboxaldehído, encontrándose estos resultados muy acorde a lo determinado en esta investigación, a excepción del ácido acético, el cual no se encuentra entre los compuestos mayoritarios. En la tabla 9 se puede observar que estos compuestos mayoritarios brindan notas aromáticas ha caramelo, almendras, floral y tostado, en el caso del compuesto 3-metilbutanal que se encuentra como quinto compuesto mayoritario en el tratamiento post-cosecha honey, este brinda notas aromáticas a malta y chocolate.

Figura 18. Cromatogramas pertenecientes de los 4 tratamientos post-cosecha



Fuente: El autor  
Elaboración: El autor

**Tabla 7:** Áreas de los diferentes compuestos identificados en los tratamientos post-cosecha de estudio.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha				Aroma	Referencia
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo Variado	Honey		
<b>Alcohol</b>							
2	Etanol	35.2 ± 7.7 b	57.4 ± 5.0 a	24.9 ± 5.6 b	68.7 ± 11.5 a	Dulce	(González-Ríos et al., 2007a)
	Suma	35.2 ± 7.7	57.4 ± 5.0	24.9 ± 5.6	68.7 ± 11.5	-----	-----
	%	0.5%	0.6%	0.2%	0.9%	-----	-----
<b>Aldehídos</b>							
1	Acetaldehído	7.9 ± 0.9 a	7.4 ± 1.0 a	2.6 ± 2.2 b	0.8 ± 0.22 c	Afrutado	(Caprioli, Cortese, Sagratini, & Vittori, 2015)
6	2-metilpropanal	48.8 ± 14.1 c	41.4 ± 47.7 b	64.5 ± 43.5 b	142.6 ± 15.2 a	Vino, malta	(Dong et al., 2013)
12	3-metilbutanal	145.5 ± 9.9 b	166.6 ± 6.6 b	159.8 ± 12.1 b	375.0 ± 30.9 a	Chocolate, malta	(Piccino et al., 2014)
13	2-metilbutanal	161.5 ± 54.6 b	216.9 ± 10.5 b	230.6 ± 16.4 b	316.4 ± 27.0 a	Chocolate	(Piccino et al., 2014)
24	2,4-dimetil,3-pentanona	17.7 ± 0.9 a	6.7 ± 6.0 b	17.2 ± 2.6 a	10.1 ± 1.1 b	Agradable	(González-Ríos et al., 2007b)
52	Benceno, acetaldehído	22.8 ± 0.1 c	30.7 ± 5.6 bc	43.6 ± 14.3 a	38.7 ± 3.8 ab	Verde, miel	(Dong et al., 2013)
41	Benzaldehído	-----	-----	116.2 ± 12.7 a	110.7 ± 5.7 b	Almendra	(González-Ríos et al., 2007b)
	Suma Total	404.2 ± 24.2	626.9 ± 10.6	539.8 ± 33.6	883.6 ± 0.2	-----	-----
	%	6.3%	10.1%	7.0%	10.5%	-----	-----
<b>Cetonas</b>							
3	2-Propanona	41.3 ± 5.1 a	45.0 ± 0.6 a	46.9 ± 2.5 a	48.5 ± 5.0 a	Afrutado	(Pérès, Viallon, & Berdagué, 2001)
7	2,3-butanodiona	18.5 ± 3.1 b	24.4 ± 2.3 ab	25.7 ± 3.6 a	25.0 ± 1.7 ab	Mantequilla	(Caprioli et al., 2015)
8	2-butanona	89.3 ± 31.6 a	18.0 ± 0.5 b	54.3 ± 13.2 ab	16.7 ± 1.5 b	Dulce	(Kaseleht et al., 2011)
14	2-pentanona	6.2 ± 0.8 ab	5.3 ± 0.6 b	8.3 ± 1.4 a	5.8 ± 0.6 b	Dulce, afrutado	(Kaseleht et al., 2011)
15	2,3-pentanodiona	87.3 ± 17.7 c	108.9 ± 3.0 b	142.7 ± 7.4 a	105.0 ± 7.6 bc	Mantequilla	(González-Ríos et al., 2007b)

Tabla 9 continuación.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha				Aroma	Bibliografía
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey		
23	3-hexanona	4.0 ± 1.1 ab	2.8 ± 0.4 b	4.7 ± 0.9 a	2.6 ± 0.3 b	-----	-----
	Suma	246.7 ± 42.0	204.5 ± 7.3	282.8 ± 2.0	203.8 ± 15.3		
	%	3.80%	3.3%	3.7%	2.9%		
<b>Ésteres</b>							
10	Ácido Acético	46,9 ± 9,5 b	29,6 ± 1,2 c	-----	82.5 ± 1.0 a	Agrio	(González-Ríos et al., 2007b)
4	Acido fórmico, etil éster	14,2 ± 3,2 ab	19,1 ± 0,5 a	11.1 ± 2.6 b	13.0 ± 0.7 b	-----	-----
5	Ácido acético, metil éster	20,3 ± 5,9 a	19,2 ± 3,9 a	26.5 ± 5.7 a	31.1 ± 4.2 a	Agradable	(González-Ríos et al., 2007b)
11	Acetato de etilo	45.0 ± 12.3 b	43.5 ± 19.0 b	41.4 ± 6.9 b	209.9 ± 30.7 a	Piña	(Dong et al., 2013)
32	1-acetiloxi-2-propanona	105.5 ± 40.0 a	74.5 ± 7.9 a	57.9 ± 4.7 a	64.9 ± 5.8 a	Desagradable	(González-Ríos et al., 2007b)
30	Ácido butanoico,3-metil-,etil éster	-----	-----	-----	33.9 ± 3.9	Afrutado	(Théron et al., 2010)
	Suma	184.9 ± 11.2	156.3 ± 11.0	136.9 ± 9.5	319.1 ± 3.5	-----	-----
	%	2.9%	2.5%	1.8%	4.4%	-----	-----
<b>Furanos</b>							
9	2-metilfurano	46.6 ± 1.2 ab	55.8 ± 5.5 ab	79.5 ± 25.0 a	39.6 ± 3.6 b	Chocolate	(Dong et al., 2013)
16	2,5-dimetilfurano	8.9 ± 0.3 ab	7.2 ± 1.4 ab	11.9 ± 2.6 a	5.3 ± 0.9 b	Café	(González-Ríos et al., 2007b)
17	2-vinilfurano	11.3 ± 3.4	8.9 ± 0.8	13.2 ± 2.5	6.4 ± 0.8	Verde	(Yang et al., 2016)
25	3(2H)-Furanona,dihidro-2-metil	62.3 ± 15.2	50.8 ± 15.0	70.8 ± 5.6	68.6 ± 1.3	Mohoso	(López-Galilea et al., 2006)
29	2-Furanocarboxaldehído	892.5 ± 42.5 c	1031.0 ± 132.0 b	1317.0 ± 49.0 a	1200.0 ± 461.0 ab	Almendra	(González-Ríos et al., 2007b)
31	2-furanmethanol	890.0 ± 6.9 a	832.4 ± 47.0 a	711.1 ± 18.0 b	683.2 ± 65.3 b	Caramelo	(Piccino et al., 2014)
33	Furfurilformato	92.1 ± 11.6 a	50.5 ± 9.5 b	93.4 ± 13.0 a	38.9 ± 5.9 b	Floral	(González-Ríos et al., 2007b)
34	1-(2-Furanil)-Etanona	208.6 ± 0.8 b	201.1 ± 18.0 b	259.5 ± 12.0 a	213.5 ± 4.0 b	Picante	(González-Ríos et al., 2007b)
38	2,5-dimetil-3(2H)-Furanona	21.2 ± 6.7 a	14.5 ± 0.4 ab	15.4 ± 3.5 ab	11.3 ± 0.3 b	Afrutado	(Bressanello et al., 2017)
39	1-(2-furil)-2-propanona	53.6 ± 0.8 b	40.8 ± 5.1 c	63.0 ± 2.8 a	42.9 ± 0.8 c	Agradable	(González-Ríos et al., 2007b)

Tabla 9 continuación.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha				Aroma	Bibliografía
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey		
40	5-metil-2-furanocarboxaldehído	944.2 ± 127.0 b	1013.0 ± 80.8 b	1281.7 ± 57.0 a	1267.9 ± 64,2 a	Caramelo	(Bressanello et al., 2017)
42	2-furanometanol Acetato	600.1 ± 112.0 ab	407.8 ± 95.8 b	747.4 ± 49.0 a	524.9 ± 7,2 b	Floral, herbal	(Caporaso, Genovese, Canela, Civitella, & Sacchi, 2014)
47	1-Propanona,1-(2-Furanil)	45.8 ± 7.5 c	48.4 ± 5.5 bc	56.3 ± 17.0 a	57.1 ± 2,2 ab	-----	-----
54	1-(2-furil)-3-butanona	18.8 ± 0.3 b	23.3 ± 5.2 b	33.6 ± 7.4 a	25.9 ± 3 b	Picante, caramelo	(Kivançlı & Elmacı, 2016)
49	2-acetil-5-metilfuran	26.0 ± 1.2 ab	19.9 ± 4.1 ab	28.17 ± 13.0 a	15.9 ± 1,5 b	Nuez, cocoa	(Chin, Eyres, & Marriott, 2011)
58	2,2-methylenebis-furano	45.4 ± 7.7 a	23.1 ± 3.8 b	52.4 ± 2.2 a	27.4 ± 3 b	Amargo	(Kivançlı & Elmacı, 2016)
64	2,3-dihidro-6-metiltieno(2,3 c)furano	12.0 ± 1.6 c	37.6 ± 7.7 b	57.9 ± 9.3 a	26.9 ± 3,4 b	Asado, ahumado	(Steen, Waehrens, Petersen, Münchow, & Bredie, 2017)
28	2-Vinil-5-metilfurano	58.4 ± 8.3 a	50.4 ± 10.2 a	58.3 ± 15.0 a	-----	Café	(González-Ríos et al., 2007b)
50	2'2-bifuran	18.9 ± 4.3 ab	15.4 ± 3.1 b	26.9 ± 11.0 a	-----	Aromático, medicinal	(Kivançlı & Elmacı, 2016)
51	1-(5-metil-2-furil)-2-propanona	34.1 ± 3.7	-----	-----	-----	-----	-----
62	5-metil-2-(2-furanilmetil)furano	48.4 ± 38.0 a	12.9 ± 2.1 a	26.2 ± 4.1 a	-----	Zeta	(Bressanello et al., 2017)
	Suma	3978.7 ± 101	3865.9 ± 273.0	4892.5 ± 42.0	4255.9 ± 166	-----	-----
	%	61.9%	62.2%	63.5%	59.6%	-----	-----
<b>Fenoles</b>							
59	Guaiacol	27.1 ± 3.5 a	30.1 ± 10.9 a	-----	-----	Picante	(Bressanello et al., 2017)
	Suma	27.1 ± 3.5	30.1 ± 10.9	-----	-----	-----	-----
	%	0.4%	0.5%	-----	-----	-----	-----

Tabla 9 continuación.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha				Aroma	Bibliografía
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey		
<b>Pirazinas</b>							
27	2-Metilpirazina	228.7 ± 49.5 a	204.9 ± 29.4 a	219.3 ± 14.8 a	157.3 ± 6.3 a	Tostado	(González-Ríos et al., 2007b)
35	2,6-dimetilpirazina	379.4 ± 52.2 a	364.6 ± 26.9 a	385.4 ± 18.3 a	351.5 ± 11.9 a	Nuez	(González-Ríos et al., 2007b)
36	Etilpirazina	135.4 ± 16.6 a	120.6 ± 14.4 a	141.6 ± 6.6 a	117.4 ± 2.4 a	Tostado	(González-Ríos et al., 2007b)
37	2,3-dimetilpirazina	64.7 ± 9.4 a	53.8 ± 3.3 a	59.6 ± 5.4 a	54.6 ± 0.9 a	Tostado	(González-Ríos et al., 2007b)
43	2-etil-6-metilpirazina	204.9 ± 15.4 b	173.5 ± 20.1 b	254.9 ± 7.5 a	203.9 ± 5.7 b	Tostado	(González-Ríos et al., 2007b)
44	2-etil-3-metilpirazina	108.3 ± 20.7 ab	77.8 ± 2.9 b	122.8 ± 7.2 a	103.8 ± 8.7 ab	Nuez	(González-Ríos et al., 2007b)
45	2-etil-5-metilpirazina	122.5 ± 11.4 b	118.6 ± 12.5 b	157.4 ± 4.9 a	169.1 ± 6.2 a	Tostado	(González-Ríos et al., 2007b)
56	3-etil-2,5-dimetilpirazina	105.2 ± 41.3 b	67.9 ± 8.1 b	166.1 ± 11.5 a	115.7 ± 17.2 ab	Tostado	(Piccino et al., 2014)
61	3,5-dietil-2-metilpirazina	10.9 ± 1.9 b	2.6 ± 0.7 c	15.0 ± 6.4 a	10.2 ± 2.2 b	Tostado	(López-Galilea et al., 2006)
19	Pirazina	-----	12.3 ± 1.8	-----	-----	Café	
48	2-etenil-6-metilpirazina	-----	-----	-----	18.9 ± 2.5	Avellana	(Chin et al., 2011)
57	2-etil-3,5-dimetilpirazina	-----	-----	-----	30.3 ± 1.2	Avellana Tostadas	(Piccino et al., 2014)
60	2,3-dietil-5-metilpirazina	-----	-----	7.5 ± 3.1 a	4.9 ± 0.9 a	Papa, carne, tostado	(Kaseleht et al., 2011)

Tabla 9 continuación.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha			Aroma	Bibliografía
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Variación Húmedo		
	Suma	1359.9 ± 4.2	1184.4 ± 8.6	1522.1 ± 55	1283.4 ± 12.1	-----
	%	21.2%	19.0%	19.8%	17.9%	-----
<b>Piridinas</b>						
22	Piridina	14.9 ± 3,1 a	1.1 ± 2.3 b	-----	-----	Quemado (González-Ríos et al., 2007b)
	Suma	9.9	2.2 ± 2.3	-----	-----	-----
	%	0.2%	0.1%	-----	-----	-----
<b>Pirroles</b>						
18	1-metil-1H-Pirrol	31.6 ± 6.9 a	23.4 ± 1.7 ab	31.5 ± 3.8 a	19.0 ± 1.4 b	Café (González-Ríos et al., 2007b)
21	1-H-pirrol	14.2 ± 0.6 a	7.3 ± 0.9 b	12.1 ± 1.9 a	8.7 ± 0.9 b	Tostado (González-Ríos et al., 2007b)
46	1-H-pirrol-2-carboxaldehído,1-metil	120.4 ± 22 a	107.0 ± 11 a	138.9 ± 4.4 a	126.2 ± 5.8 a	Galleta, canguil (Chin et al., 2011)
53	1-etil-2-formilpirrol	11.7 ± 3 c	34.0 ± 3.7 a	24.7 ± 1.9 b	16.9 ± 1.4 c	-----
63	1-H-Pirrol-1-(2-furanilmetil)	22.3 ± 3.5 c	51.5 ± 6.5 b	78.8 ± 7.9 a	68.9 ± 11.1 ab	Cocoa, tostado (Afoakwa, Paterson, Fowler, & Ryan, 2009)
26	1-Etil-1-H-pirrol	5.3 ± 0.5 b	6.1 ± 1.2 b	7.5 ± 3.5 a	-----	-----
55	Etanona.1-(1-metil-1H-Pirrol-2-yl)	-----	-----	-----	28.9 ± 2.9	Floral, nuez (Caporaso et al., 2014)
	Suma	200.2 ± 3.2	223.3 ± 13	285.9 ± 3.7	239.7 ± 3.3	-----
	%	3.1%	3.6%	3.7%	3.4%	-----

Tabla 9 continuación.

N°	Componente	Tratamiento post-cosecha				Aroma	Bibliografía
		Seco o natural	Húmedo o lavado	Variación Húmedo	Honey		
<b>Compuesto de azufre</b>							
20	Disulfuro dimetil	15.4± 2.3 b	14.9± 7.7 b	19.9± 1.9 ab	24.1± 1.7 a	Repollo	(Qian & Reineccius, 2003)
	Suma	15.4±2.3	14.9 ± 7.7	19.9± 1.9	24.1± 1.7		
	%	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%		

Las medias que no comparten una letra en una misma columna, son significativamente diferentes

Los tratamientos se encuentran expresados en abundancia de área x 1E +5.

Los valores se encuentran expresados en unidades arbitrarias

Los valores expresados representan la media con la desviación estándar de tres réplicas experimentales

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

### 3.4.1. Análisis de varianza

Para determinar que tratamiento post-cosecha permite una mayor abundancia de los compuestos aromáticos en las muestras de café, se aplicó una prueba de análisis de varianza (anexo 2), en la cual se hizo uso de 6 compuestos marcadores: ácido acético, 2-metilpirazina, 2-furanocarboxaldehído, Alcoholfurfurílico, 2,6-dimetilpirazina y 5-metilfurfural, la selección de estos compuestos se la realizó en base a lo estudiado por Korhoňová et al. (2009), quién en su estudio del aroma de café determinó que estos compuestos proveen la suficiente información para diferenciar 30 muestras de café. En la tabla 10 se pueden observar los resultados del análisis de varianza simple realizado.

**Tabla 8:** Análisis de varianza en función a los tratamientos post-cosecha aplicados

Compuesto	Seco o natural	Húmedo o lavado	Húmedo variado	Honey
Ácido acético	47 ± 10 b	30±1 c		82±10 a
2-metilpirazina	229 ± 50 a	205±29 a	219±15 a	157±6 a
2-furanocarboxaldehído	893 ± 43 c	1031±132 b	1317±49 a	1200±461 ab
2-Furanometanol	891 ± 7 a	832±47 a	711±18 b	683±65 b
2,6-dimetilpirazina	379 ± 52 a	365±27 a	385±18 a	352±12 a
5-metil-2-furanocarboxaldehído	944 ± 127 b	1013±81 b	1282±57 a	1268±64 a

Los tratamientos se encuentran expresados en abundancia de área x 1E +5

Los valores se encuentran expresados en unidades arbitrarias

Los valores expresados representan la media con la desviación estándar de tres réplicas experimentales

Las medias que no comparten una letra en una misma columna, son significativamente diferentes

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** El autor

El ácido acético obtiene una mayor área en el tratamiento post-cosecha seco, además se comprobó que para este compuesto se presenta una diferencia significativa en su contenido en todos los tratamientos, en el caso del tratamiento húmedo variado, no se detectó presencia de ácido acético, debido a que en este tratamiento no se realizó fermentación, por motivos de la extracción del mucilago, posterior al despulpado. Para el 2-metilpirazina se presenta un área mayor en el tratamiento post-cosecha húmedo variado, sin embargo, no existe diferencia significativa en su abundancia en ninguno de los tratamientos post-cosecha. En el caso del compuesto 2-furanocarboxaldehído se determinó que el tratamiento post-cosecha húmedo variado permitió la obtención de áreas mayores para este compuesto, presentándose una diferencia significativa en la abundancia de este compuesto con los tratamientos seco y húmedo, no obstante, no existe diferencia significativa con el tratamiento honey. Para el alcohol furfurílico se obtuvo una mayor abundancia en el tratamiento post-cosecha seco, siendo esta significativamente diferente a los tratamientos post-cosecha húmedo variado y honey, no se encontró diferencia significativa con el tratamiento post-cosecha húmedo. En el compuesto 2,6-dimetilpirazina no existió una diferencia significativa en su abundancia en ninguno de los tratamientos post-cosecha. Para el compuesto 5-metilfurfural se pudo observar la obtención de mayores áreas en los tratamientos post-

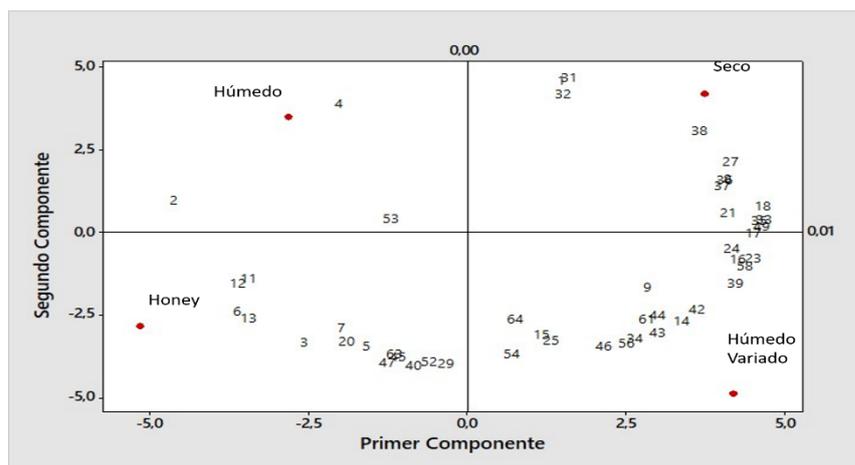
cosecha húmedo variado y honey, no existiendo diferencia significativa entre ellos, para los tratamientos post-cosecha seco y húmedo existió, una diferencia significativa respecto al área de los otros tratamientos, siendo estas menores.

### **3.4.2. Análisis de componentes principales (ACP)**

Para determinar la capacidad de los tratamientos post-cosecha, respecto a la abundancia de los componentes aromáticos obtenidos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) mediante dos variables a) Compuestos identificados por todos los tratamientos post-cosecha y b) los compuestos marcadores indicados por Korhoňová et al. (2009).

#### **a) Análisis de componentes identificados en todos los métodos post-cosecha**

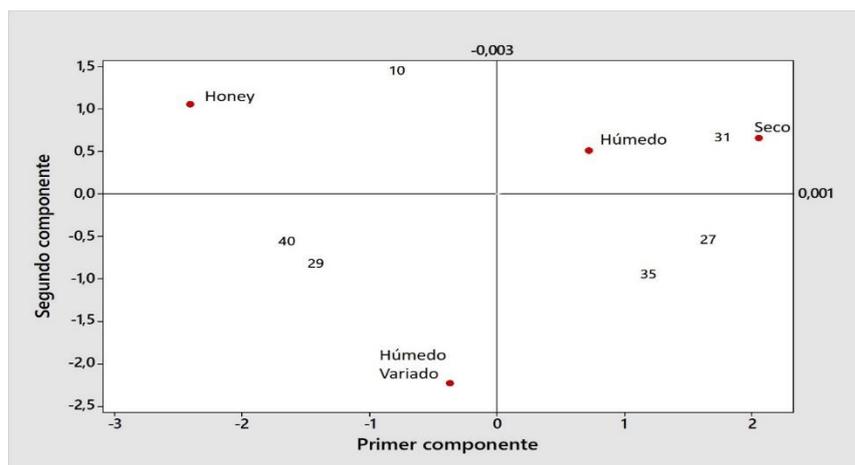
En el análisis de componentes principales realizado con los compuestos identificados presentes en todos los tratamientos post-cosecha, se obtuvo que dos componentes proporcionan el 86,7 % de la información respecto a la influencia de los tratamientos post-cosecha sobre el perfil aromático del café. El primer componente contribuye con un 44,8 % de la información, y se encuentra correlacionado positivamente con la mayoría de los compuestos a excepción de los componentes 4, 3, 53, 12, 11, 6, 13, 3, 7, 20, 5, 47, 63, 45, 40, 52 y 29. El segundo componente principal contribuye con un 41,9 % de la información y se correlaciona positivamente con 16 compuestos (2, 4, 53, 1, 31, 32, 38, 27, 36, 37, 8, 33, 18, 21, 49,35). En la figura 19 se puede observar que el perfil aromático obtenido en los 4 tratamientos post-cosecha son diferentes, encontrándose que el tratamiento post-cosecha honey logra obtener una mayor afinidad con los compuestos 11, 12, 6, 13, 3, 7, 20, 5, 45, 47, 63, 40, 52 y 29. El tratamiento post-cosecha húmedo variado logra obtener mayor afinidad con los compuestos 64, 54, 15, 25, 46, 56, 34, 61, 44, 43, 9, 14, 42, 39, 58, 24,16, 23. En el tratamiento post-cosecha húmedo se obtiene una mayor afinidad con los compuestos 2, 4, 53. Finalmente en el caso del tratamiento post-cosecha seco se encuentra en mayor afinidad con los compuestos 1, 31, 32, 38, 27, 8, 36, 37, 21, 18, 33, 35, 49. Mediante este análisis se puede observar que los tratamientos post-cosecha húmedo variado y honey, presentan afinidad con un mayor número de compuestos, en relación a los demás tratamientos.



**Figura 19:** Gráfico de doble proyección de los compuestos identificados  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

### b) Análisis de componentes principales con los 6 compuestos marcadores

En el análisis de componentes principales obtenidos con los 6 compuestos marcadores mencionados por Korhoňová et al. (2009), se obtuvo que los dos constituyentes principales otorgan un 97 % de la información, el primer componente otorga un 59.2 % de la información, encontrándose correlacionado positivamente con los componentes 2-furanometanol, Metilpirazina y 2,5-dimetilpirazina. El segundo componente principal brinda un 38 % de la información y se correlaciona positivamente con el ácido acético, en la figura 20 se puede observar que los tratamientos post-cosecha húmedo y seco obtienen componentes con abundancias similares, encontrándose en afinidad con el compuesto 2-furanometanol, los tratamientos honey y húmedo variado no presentan similitudes con ninguno de los tratamientos, observándose en el tratamiento húmedo variado presenta una diferencia pronunciada respecto a los demás tratamientos. El tratamiento post-cosecha honey presenta una mayor afinidad con el compuesto ácido acético, y el tratamiento post-cosecha húmedo variado, presenta una mayor afinidad con los compuestos 5-metil-2-furanocarboxaldehído y 2-furanocarboxaldehído. Se logra evidenciar una diferencia notoria en los comportamientos de los tratamientos y la composición final obtenida mediante los análisis de componentes principales con 49 compuestos y 4 compuestos (figura 21 y figura 22). Por lo tanto a diferencia de la investigación realizada por Korhoňová et al. (2009) en la cual se logra determinar que los compuestos ácido acético, 2-metilpirazina, 2-furanocarboxaldehído, alcoholfurfurílico, 2,5-dimetilpirazina y 5-metilfurfural, contienen la suficiente información para diferenciar 30 muestras de café. En nuestra investigación estos compuestos no lograron explicar el comportamiento de los 4 tratamientos post-cosecha.



**Figura 20:** Grafico de doble proyección obtenida con los 6 compuestos marcadores  
**Fuente:** El autor  
**Elaborado por:** El autor

### 3.4.3. Análisis organolépticos

Para reforzar los resultados encontrados sobre las diferencias de perfiles aromáticos de los 4 tratamientos post-cosecha realizados a nivel analítico, se analizó los resultados otorgados por un estudio de nuestro grupo de investigación (Vicente, 2018), en el cual se utilizó muestras de café (*Coffea arabica* L) procesadas bajo los 4 tratamientos post-cosecha (seco, húmedo, húmedo variado y honey) para su análisis a nivel sensorial. Los resultados obtenidos se expresan en la tabla 11:

**Tabla 9: Resultados sensoriales tratamientos post-cosecha.**

Atributos	Tratamientos			
	Seco o natural	Húmedo / lavado	Húmedo Variado	Honey
<b>Aroma</b>	8.25	7.5	7.75	8
<b>Sabor</b>	8	7.75	7.5	7.75
<b>Sabor Residual</b>	7.75	7.5	7.5	7.75
<b>Acidez</b>	8	8	7.75	7.75
<b>Cuerpo</b>	7.75	7.5	7.5	7.5
<b>Balance</b>	7.75	7.75	7.5	7.5
<b>Dulzura</b>	10	10	10	10
<b>Uniformidad</b>	10	10	10	10
<b>Taza Limpia</b>	10	10	10	10
<b>Puntaje Catador</b>	8	7.75	7.75	7.75
<b>Puntaje Final</b>	85.5	83.75	83.25	84

**Fuente:** (Vicente (2018))  
**Elaborado por:** El autor

En la tabla 11 se puede observar que los tratamientos post-cosecha seco y honey presentan puntuaciones mayores a los demás tratamientos, obteniendo para estas muestras puntajes de 85.5 y 84, perteneciendo la puntuación más alta al tratamiento post-cosecha seco. Los resultados sensoriales además brindan que el tratamiento post-cosecha seco otorgo notas aromáticas a mora, ciruela y uva, a diferencia el tratamiento post-cosecha honey quien presentó notas licorosas a vino espumante. Las dos muestras restantes húmedo y húmedo variado obtuvieron puntajes de catación de 83.75 y 83.25, correspondiendo el valor más bajo al tratamiento post-cosecha húmedo variado, describiéndose que este tratamiento post-cosecha brinda notas aromáticas frutales y a malta. Para el tratamiento post-cosecha húmedo se detectaron notas aromáticas a cereza y avellana. En referencia a los resultados de los métodos analíticos se puede apreciar que existen diferencias, mostrándose en los análisis sensoriales que los tratamientos seco y honey presentan mejores características organolépticas, a diferencia los análisis cromatográficos en referencia a la abundancia de cada compuesto, demostraron que los tratamientos post-cosecha honey y húmedo variado fueron las muestras con mejor perfil aromático. Mediante estos dos análisis se puede observar que a pesar que el tratamiento post-cosecha húmedo variado es el método de procesamiento con mayor abundancia de área, a nivel sensorial este tratamiento no presenta el mejor perfil aromático, a diferencia la muestra de honey tanto a nivel analítico y sensorial, obtuvo un buen perfil aromático, determinándose que las notas licorosas a vino espumante otorgadas por el compuesto 2-metipropanal en el cual este tratamiento obtuvo el doble de área que los demás métodos, son muy apreciadas por catadores de café de especialidad.

## CONCLUSIONES

- En los tratamientos post-cosecha estudiados se detectaron 64 compuestos, siendo los grupos químicos mayoritarios los furanos, pirazinas y aldehídos; y sus compuestos químicos 2-furanocarboxaldehído(furfural), 5-metil-2-furanocarboxaldehído, 5-metil-2-furanocarboxaldehído, 2-furanometanol (alcohol furfurílico), 2-furanometanol acetato los que presentaron mayor abundancia de área.
- El tratamiento post-cosecha húmedo permitió obtener un mayor número de compuestos, no obstante, el tratamiento post-cosecha honey, obtuvo una mayor cantidad de compuestos distintos (Ácido butanoico-3-metil-etil éster, 2-etenil-6-metilpirazina, Etanona-1-1-metil-1H-pirrol-2-yl, 2-etil-3,5-dimetilpirazina), los cuales aportan aromas florales, afrutados y frutos secos (avellanas y nueces).
- Con los tratamientos post-cosecha seco y húmedo, se lograron obtener componentes con abundancias muy similares, que presentan una mayor afinidad con compuestos como el 2-furanometanol, el cual otorga notas aromáticas acarameladas.
- Los tratamientos post-cosecha húmedo variado y honey, obtienen compuestos con abundancias superiores a los demás tratamientos, y el tratamiento húmedo variado, presenta diferencias muy marcadas con los demás tratamientos.
- A nivel sensorial y analítico el tratamiento post-cosecha honey, obtuvo un perfil aromático de excelencia, con notas aromáticas licorosas a vino espumante, muy apreciado a nivel de consumidores de café de especialidad, calidad aromática que es otorgada por el compuesto 2-metilpropanal, el cual se encuentra con el doble de abundancia en el tratamiento post-cosecha honey.

## RECOMENDACIONES

- Analizar mediante cromatografía de gases muestras de café (verde y tostado) procesados bajo diferentes tratamientos post-cosecha, con el objetivo de lograr comparar el efecto del procesamiento sobre el perfil aromático del café verde y tostado, consiguiendo obtener una información más completa.
- Realizar los diferentes tipos de procesamiento post-cosecha honey (rojo, negro y amarillo) en variación de contenido (%) de mucílago, para su análisis mediante cromatografía de gases. De manera de lograr determinar el efecto de estos tratamientos post-cosecha sobre el perfil aromático del café.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adedeji, J., Hartman, T. G., Rosen, R. T., & Ho, C. T. (1991). Free and glycosidically bound aroma compounds in hog plum (*Spondias mombins* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 39(8), 1494-1497.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2009). Matrix effects on flavour volatiles release in dark chocolates varying in particle size distribution and fat content using GC–mass spectrometry and GC–olfactometry. *Food Chemistry*, 113(1), 208-215.
- Alissandrakis, E., Tarantilis, P. A., Harizanis, P. C., & Polissiou, M. (2007). Comparison of the volatile composition in thyme honeys from several origins in Greece. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(20), 8152-8157.
- Ames, J. M., Guy, R. C., & Kipping, G. J. (2001). Effect of pH, temperature, and moisture on the formation of volatile compounds in glycine/glucose model systems. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(9), 4315-4323.
- Avallone, S., Brillouet, J. M., Guyot, B., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2002). Involvement of pectolytic micro-organisms in coffee fermentation. *International journal of food science & technology*, 37(2), 191-198.
- Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J.-M., Olguin, E., & Guiraud, J.-P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current microbiology*, 42(4), 252-256.
- Avsar, Y., Karagul-Yuceer, Y., Drake, M., Singh, T., Yoon, Y., & Cadwallader, K. (2004). Characterization of nutty flavor in Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 1999-2010.
- Balasubramanian, S., & Panigrahi, S. (2011). Solid-phase microextraction (SPME) techniques for quality characterization of food products: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(1), 1-26.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Coffee, tea, cocoa. *Food chemistry*, 938-970.
- Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food chemistry*, 135(4), 2575-2583.
- Boylston, T. D., & Vinyard, B. T. (1998). Isolation of volatile flavor compounds from peanut butter using purge-and-trap techniques *Developments in Food Science* (Vol. 39, pp. 225-243): Elsevier.

- Brando, C. H. (2004). Harvesting and green coffee processing. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, 604-715.
- Brando, C. H. (2008). Harvesting and green coffee processing. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, 604-715.
- Bressanello, D., Liberto, E., Cordero, C., Rubiolo, P., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., & Bicchi, C. (2017). Coffee aroma: Chemometric comparison of the chemical information provided by three different samplings combined with GC–MS to describe the sensory properties in cup. *Food Chemistry*, 214, 218-226.
- Bröhan, M., Huybrighs, T., Wouters, C., & Van der Bruggen, B. (2009). Influence of storage conditions on aroma compounds in coffee pads using static headspace GC–MS. *Food Chemistry*, 116(2), 480-483.
- Buffo, R. A., & Cardelli-Freire, C. (2004). Coffee flavour: an overview. *Flavour and fragrance journal*, 19(2), 99-104.
- Caporaso, N., Genovese, A., Canela, M. D., Civitella, A., & Sacchi, R. (2014). Neapolitan coffee brew chemical analysis in comparison to espresso, moka and American brews. *Food Research International*, 61, 152-160.
- Caprioli, G., Cortese, M., Sagratini, G., & Vittori, S. (2015). The influence of different types of preparation (espresso and brew) on coffee aroma and main bioactive constituents. *International journal of food sciences and nutrition*, 66(5), 505-513.
- Castro-Vázquez, L., Pérez-Coello, M., & Cabezudo, M. (2003). Analysis of volatile compounds of rosemary honey. Comparison of different extraction techniques. *Chromatographia*, 57(3-4), 227-233.
- Castro, V. M. M. (2017). EVALUATION OF THE COMPOSITION EFFECT OF HARVESTED COFFEE IN THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF COFFEE DRINK. *Vitae*, 24(1), 59-67.
- Clarke, R., & Macrae, R. (1987). *Coffee Technology*, Vol., 2: Elsevier Applied Science, London, UK.
- Chen, J., & Ho, C.-T. (1999). Comparison of Volatile Generation in Serine/Threonine/Glutamine– Ribose/Glucose/Fructose Model Systems. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(2), 643-647.
- Chin, S.-T., Eyres, G. T., & Marriott, P. J. (2011). Identification of potent odourants in wine and brewed coffee using gas chromatography-olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1218(42), 7487-7498.

- Cho, A. R., Park, K. W., Kim, K. M., Kim, S. Y., & Han, J. (2014). Influence of Roasting Conditions on the Antioxidant Characteristics of Colombian Coffee (*Coffea arabica* L.) Beans. *Journal of food biochemistry*, 38(3), 271-280.
- Dong, L., Piao, Y., Zhang, X., Zhao, C., Hou, Y., & Shi, Z. (2013). Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC–MS. *Food Research International*, 51(2), 783-789.
- Engewald, W., & Dettmer-Wilde, K. (2014). Theory of gas chromatography *Practical Gas Chromatography* (pp. 21-57): Springer.
- Eskes, A., & Leroy, T. (2004). Coffee selection and breeding. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, 57-86.
- Fanaro, G. B., Duarte, R., Santillo, A. G., e Silva, M. P., Purgatto, E., & Villavicencio, A. (2012). Evaluation of  $\gamma$ -radiation on oolong tea odor volatiles. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(8), 1152-1156.
- FAO. (2016). Producción de café verde en Ecuador. from Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FAO. (2017). Producción de café verde en Ecuador. from Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Figueroa, J. G., & Vargas, L. F. (2016). EVALUACIÓN DE DES, FSC Y SPME/CG-MS PARA LA EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS RESPONSABLES DEL AROMA DE CAFÉ TOSTADO DE VILCABAMBA-ECUADOR. *Química Nova*, 39(6), 712-719.
- González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007a). Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: II. Roasted coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 297-307.
- González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007b). 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), 289-296.
- Gurram, R., Al-Shannag, M., Knapp, S., Das, T., Singasaas, E., & Alkasrawi, M. (2016). Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(1), 269-278.
- Harris Daniel, C. (2006). Quantitative chemical analysis: WH Freeman.
- Ho, C., Aida, W. W., Maskat, M. Y., & Osman, H. (2007). Changes in volatile compounds of palm sap (*Arenga pinnata*) during the heating process for production of palm sugar. *Food Chemistry*, 102(4), 1156-1162.

- Hurtado, N. H., Morales, A. L., González-Miret, M. L., Escudero-Gilete, M. L., & Heredia, F. J. (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food chemistry*, *117*(1), 88-93.
- Jackels, S. C., & Jackels, C. F. (2005). Characterization of the coffee mucilage fermentation process using chemical indicators: A field study in Nicaragua. *Journal of food science*, *70*(5), C321-C325.
- Kaseleht, K., Leitner, E., & Paalme, T. (2011). Determining aroma-active compounds in Kama flour using SPME-GC/MS and GC-olfactometry. *Flavour and fragrance journal*, *26*(2), 122-128.
- Kivançlı, J., & Elmacı, Y. (2016). Characterization of Turkish-Style Boiled Coffee Aroma by Gas Chromatography and Mass Spectrometry and Descriptive Analysis Techniques. *International journal of food properties*, *19*(8), 1671-1686.
- Korhoňová, M., Hron, K., Klimčíková, D., Müller, L., Bednář, P., & Barták, P. (2009). Coffee aroma—Statistical analysis of compositional data. *Talanta*, *80*(2), 710-715.
- López-Galilea, I., Fournier, N., Cid, C., & Guichard, E. (2006). Changes in headspace volatile concentrations of coffee brews caused by the roasting process and the brewing procedure. *Journal of agricultural and food chemistry*, *54*(22), 8560-8566.
- Lou, D.-W., Lee, X., & Pawliszyn, J. (2008). Extraction of formic and acetic acids from aqueous solution by dynamic headspace-needle trap extraction: temperature and pH optimization. *Journal of Chromatography A*, *1201*(2), 228-234.
- Menéndez, J. F., Sánchez, M. F., Uria, J. S., Martinez, E. F., & Sanz-Medel, A. (2000). Static headspace, solid-phase microextraction and headspace solid-phase microextraction for BTEX determination in aqueous samples by gas chromatography. *Analytica Chimica Acta*, *415*(1-2), 9-20.
- Methven, L., Tsoukka, M., Oruna-Concha, M. J., Parker, J. K., & Mottram, D. S. (2007). Influence of sulfur amino acids on the volatile and nonvolatile components of cooked salmon (*Salmo salar*). *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(4), 1427-1436.
- Miyazaki, T., Plotto, A., Goodner, K., & Gmitter Jr, F. G. (2011). Distribution of aroma volatile compounds in tangerine hybrids and proposed inheritance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(3), 449-460.
- Mondello, L., Costa, R., Tranchida, P. Q., Dugo, P., Lo Presti, M., Festa, S., . . . Dugo, G. (2005). Reliable characterization of coffee bean aroma profiles by automated headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry with the support of a dual-filter mass spectra library. *Journal of separation science*, *28*(9-10), 1101-1109.

- Moreira, I., & Scarminio, I. S. (2013). Chemometric discrimination of genetically modified *Coffea arabica* cultivars using spectroscopic and chromatographic fingerprints. *Talanta*, *107*, 416-422.
- Parker, J. K., Hassell, G. M., Mottram, D. S., & Guy, R. C. (2000). Sensory and instrumental analyses of volatiles generated during the extrusion cooking of oat flours. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(8), 3497-3506.
- Pérès, C., Viallon, C., & Berdagué, J.-L. (2001). Solid-phase microextraction-mass spectrometry: a new approach to the rapid characterization of cheeses. *Analytical Chemistry*, *73*(5), 1030-1036.
- Piccino, S., Boulanger, R., Descroix, F., & Sing, A. S. C. (2014). Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications. *Food Research International*, *61*, 264-271.
- Poltronieri, P., & Rossi, F. (2016). Challenges in Specialty Coffee Processing and Quality Assurance. *Challenges*, *7*(2), 19.
- Qian, M., & Reineccius, G. (2003). Potent aroma compounds in Parmigiano Reggiano cheese studied using a dynamic headspace (purge-trap) method. *Flavour and fragrance journal*, *18*(3), 252-259.
- Risticvic, S., Carasek, E., & Pawliszyn, J. (2008). Headspace solid-phase microextraction–gas chromatographic–time-of-flight mass spectrometric methodology for geographical origin verification of coffee. *Analytica chimica acta*, *617*(1-2), 72-84.
- Rojas, J. U., Verreth, J., Amato, S., & Huisman, E. (2003). Biological treatments affect the chemical composition of coffee pulp. *Bioresource Technology*, *89*(3), 267-274.
- Rychlik, M., & Bosset, J. O. (2001). Flavour and off-flavour compounds of Swiss Gruyere cheese. Identification of key odorants by quantitative instrumental and sensory studies. *International Dairy Journal*, *11*(11-12), 903-910.
- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. (2009). Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, *90*(1), 74-80.
- Shimoda, M., & Shibamoto, T. (1990). Isolation and identification of headspace volatiles from brewed coffee with an on-column GC/MS method. *Journal of agricultural and food chemistry*, *38*(3), 802-804.
- Siegmund, B., & Murkovic, M. (2004). Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 2: volatile compounds). *Food Chemistry*, *84*(3), 367-374.
- Silva, C. F., Schwan, R. F., Dias, E. S., & Wheals, A. E. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *International journal of food microbiology*, *60*(2-3), 251-260.

- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of instrumental analysis: Cengage learning*.
- Solina, M., Baumgartner, P., Johnson, R. L., & Whitfield, F. B. (2005). Volatile aroma components of soy protein isolate and acid-hydrolysed vegetable protein. *Food Chemistry*, *90*(4), 861-873.
- Steen, I., Waehrens, S. S., Petersen, M. A., Münchow, M., & Bredie, W. L. (2017). Influence of serving temperature on flavour perception and release of Bourbon Caturra coffee. *Food Chemistry*, *219*, 61-68.
- Théron, L., Tournayre, P., Kondjoyan, N., Abouelkaram, S., Santé-Lhoutellier, V., & Berdagué, J.-L. (2010). Analysis of the volatile profile and identification of odour-active compounds in Bayonne ham. *Meat science*, *85*(3), 453-460.
- Tran, H. T., Vargas, C. A. C., Lee, L. S., Furtado, A., Smyth, H., & Henry, R. (2017). Variation in bean morphology and biochemical composition measured in different genetic groups of arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree genetics & genomes*, *13*(3), 54.
- Venkateshwarlu, G., Let, M. B., Meyer, A. S., & Jacobsen, C. (2004). Chemical and olfactometric characterization of volatile flavor compounds in a fish oil enriched milk emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(2), 311-317.
- Vicente, C. (2018). *Efecto del beneficio seco, húmedo, semi seco y honey sobre la concentración de compuestos bioactivos del café (Coffea arabica L) mediante espectrofotometría UVvisible*.
- Whitfield, F. B., & Mottram, D. S. (2001). Heterocyclic volatiles formed by heating cysteine or hydrogen sulfide with 4-hydroxy-5-methyl-3 (2 H)-furanone at pH 6.5. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(2), 816-822.
- Wintgens, J. N. (2008). *The coffee plant*. Wiley Online Library.
- Yang, N., Liu, C., Liu, X., Degn, T. K., Munchow, M., & Fisk, I. (2016). Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. *Food Chemistry*, *211*, 206-214.
- Yilmaz, B., Acar-Tek, N., & Sözlü, S. (2017). Turkish cultural heritage: a cup of coffee. *Journal of Ethnic Foods*.
- Yuping, Z., Jiming, L., Yan, X., Hui, D., & Wenlai, F. (2008). Extraction, preparation and identification of volatile compounds in Changyu XO brandy. *Chinese Journal of Chromatography*, *26*(2), 212-222.
- Zhang, Z., & Pawliszyn, J. (1993). Headspace solid-phase microextraction. *Analytical chemistry*, *65*(14), 1843-1852.

Zhu, M., Li, E., & He, H. (2008). Determination of volatile chemical constituents in tea by simultaneous distillation extraction, vacuum hydrodistillation and thermal desorption. *Chromatographia*, 68(7-8), 603-610.

**ANEXOS**

**Anexo 1.-** Tabla de tiempos de retención de los compuestos identificados

#	Nombre del compuesto	CAS no.	Tiempo de retención(min)
1	Acetaldehído	75-07-0	4.12
2	Etanol	64-17-5	4.36
3	2-Propanona	67-64-1	4.59
4	Acido fórmico, etil éster	109-94-4	4.78
5	ácido acético, metil éster	79-20-9	4.89
6	2-metilpropanal	78-84-2	5.24
7	2,3 butanodiona	431-03-8	5.68
8	2-butanona	78-93-3	5.80
9	2-Metilfurano	534-22-5	5.88
10	Ácido acético	64-19-7	6.03
11	Acetato de etilo	141-78-6	6.10
12	3-Metilbutanal	590-86-3	7.18
13	2-Metilbutanal	96-17-3	7.44
14	2-pentanona	107-87-9	8.10
15	2,3-pentanodiona	600-14-6	8.44
16	2,5-dimetilfurano	625-86-5	8.75
17	2-vinilfurano	1487-18-9	9.45
18	1-Metil-1H-Pirrol	96-54-8	10.09
19	Pirazina	290-37-9	10.29
20	Disulfuro dimetil	624-92-0	10.38
21	1H Pirrol	23326-27-4	10.73
22	Piridina	110-86-1	10.86
23	3-Hexanona	589-38-8	12.29
24	2,4-dimetil,3-pentanona	565-80-0	12.39
25	3(2H)-Furanona, dihidro-2- metil	565-80-0	13.52
26	1-etil-1H-Pirrol	617-95-5	13.67
27	Metilpirazina	109-08-0	14.49
28	2-Vinil-5-metilfurano	10504-13-9	14.64

#	Nombre del compuesto	CAS no.	Tiempo de retención(min)
29	2-Furanocarboxaldehído	98-01-1	14.85
30	Ácido butanoico,3-metil-,etil éster	108-64-5	16.05
31	2-Furanmetanol	98-00-0	16.21
32	1-acetiloxi-2-propanona,	592-20-1	16.87
33	Furfurilformato	13493-97-5	18.95
34	1-(2-Furanil)-Etanona	1192-62-7	19.21
35	2,6-dimetilpirazina	123-32-0	19.44
36	Etilpirazina	13925-00-3	19.63
37	2,3-dimetilpirazina	5910-89-4	19.79
38	2,5-dimetil-3(2-H)-Furanona	3658-77-3	21.45
39	1-(2-Furil)-2-propanona	6975-60-6	21.66
40	5-Metil-2-Furanocarboxaldehído	620-02-0	22.21
41	Benzaldehído	100-52-7	22.32
42	2-Furanometanol Acetato	623-17-6	23.94
43	2-Etil,6-Metilpirazina	13925-03-6	24.30
44	2-Etil,3-Metilpirazina	15707-23-0	24.52
45	2-etil-5-metil-pirazina	13360-64-0	24.58
46	1H-Pirrol-2-carboxaldehído,1-metil	1192-58-1	24.67
47	1-Propanona,1-(2-Furanil)	3194-15-8	24.80
48	2-Etenil-6-metilpirazina	13925-09-2	25.71
49	2-Acetil-5-Metilfuran	1193-79-9	26.25
50	2'2-Bifurano	5905-00-0	26.53
51	1-(5-Metil-2-furil)-2-Propanona	ND	26.84
52	Benceno, acetaldehído	122-78-1	26.94
53	1-etil-2-formil pirrol	2167-14-8	27.15
54	1-(2-Furil)-3-butanona	699-17-2	28.32
55	Etanona,1-(1-metil-1H-Pirrol-2-yl)	932-16-1	28.52
56	3-etil-2,5-dimetilpirazina	13360-65-1	28.61
57	2-etil-3,5-dimetilpirazina	13925-07-0	28.70
58	2,2-methylenebis-furano	1197-40-6	28.84

#	Nombre del compuesto	CAS no.	Tiempo de retención(min)
59	Guaiacol	90-05-1	29.18
60	2,3-dietil-5-metilpirazina	18138-04-0	32.52
61	3,5-dietil-2-metilpirazina	18138-05-1	32.71
62	5-metil-2-(2-furanilmetil)furano	13678-51-8	33.82
63	1-H-Pirrol,1-(2furanilmetil)	1438-94-4	33.98
64	2,3-Dihidro-6-metiltieno(2,3 c)furano	ND	34.56

## Anexo 2.- Análisis estadísticos de los compuestos volátiles.

A continuación, se presenta como ejemplo los análisis de varianza individuales de 6 compuestos marcadores: ácido acético, 2-metilpirazina, 2-furanocarboxaldehído, 2-furanometanol, 2,6-dimetilpirazina y 5-metilfurfural.

### One-way ANOVA: ácido acético versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	3	10682,1	3560,70	293,90	0,000
Error	8	96,9	12,12		
Total	11	10779,0			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Honey	3	82,49	A
Seco	3	46,94	B
Húmedo	3	29,637	C
Húmedo Variado	3	0,000000	D

### One-way ANOVA: 2-metilpirazina versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	3	7538	2512,8	3,64	0,064
Error	8	5517	689,6		
Total	11	13055			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Húmedo Variado	3	219,3	A
Seco	3	228,7	A
Húmedo	3	204,9	A
Honey	3	157,3	A

### One-way ANOVA: 2-furanocarboxaldehído versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	3	323103	107701	25,17	0,000
Error	8	34231	4279		
Total	11	357334			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Húmedo variado	3	1317,2	A
Honey	3	1200,3	A B
Húmedo	3	1030,6	B

Seco	3	892,5	C
------	---	-------	---

### One-way ANOVA: 2-furanometanol versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	3	87363	29121	16,98	0,001
Error	8	13722	1715		
Total	11	101085			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Seco	3	890,7	A
Húmedo	3	832,6	A
Húmedo Variado	3	711,1	B
Honey	3	683,2	B

### One-way ANOVA: 2,6-dimetilpirazina versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	3	1763	587,7	0,78	0,538
Error	8	6029	753,6		
Total	11	7792			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Húmedo Variado	3	385,4	A
Seco	3	379,4	A
Húmedo	3	364,6	A
Honey	3	351,5	A

### One-way ANOVA: 5-metil-2-furanocarboxaldehído versus Tratamientos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	3	305345	101782	16,55	0,001
Error	8	49209	6151		
Total	11	354553			

### Tukey Pairwise Comparisons

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Húmedo variado	3	1281,7	A
Honey	3	1268,0	A
Húmedo	3	1013,0	B
Seco	3	944,2	B

