



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Aprovechamiento de los residuos del fruto de café para el
desarrollo de una tisana y caracterización de sus polifenoles.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O
E N
A L I M E N T O S

P R E S E N T A:

MAYORGA NIETO CARLOS DANIEL

ASESOR: DRA. MARÍA GABRIELA VARGAS MARTÍNEZ
COASESOR: M. EN C. DAVID RODRIGO LÓPEZ SOTO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Aprovechamiento de los residuos del fruto de café para el desarrollo de una tisana y caracterización de sus polifenoles.

Que presenta el pasante: **Carlos Daniel Mayorga Nieto**
Con número de cuenta: **413110242** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Noviembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Gabriela Vargas Martínez	
VOCAL	Dra. María Guadalupe López Palacios	
SECRETARIO	I.A. Alberto Solís Díaz	
1er. SUPLENTE	Dra. Dolores Molina Jasso	
2do. SUPLENTE	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

The background features a large, semi-transparent watermark of the UNAM logo. The logo consists of a central shield with a sunburst at the top, flanked by two eagles. Above the shield is a banner with the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO'. Below the shield is a decorative base with various symbols, including a rabbit and a cactus.

Agradezco a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM. Por financiar el presente trabajo con el proyecto de Desarrollo Tecnológico para el Aprovechamiento Integral de Frutas y Hortalizas con el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT).

Quiero agradecer a mis padres y mi familia, por guiarme y apoyarme en este logro tan grande, han dado todo su esfuerzo por verme superarme, espero estén orgullosos como yo lo estoy de ellos.

A mis abuelos por estar pendiente de mí y de este paso tan relevante para mí como persona que me acerca más a mi plan de vida.

Agradezco a un niño que me enseñó lo duro que es la vida y la fortaleza con la que hay que enfrentarla, llegaste a la familia para dar alegría a nuestras vidas, gracias Ian Mayorga.

A mis buenos amigos; Christian Ortiz, Mauricio Martínez, Ignacio Robles, Lorena Reyes, Nahelli Lima, Irving Chávez que ante cualquier situación siempre creyeron en mí y me motivaron a no desistir, gracias amigos, sigan teniendo éxito, los quiero.

A Guillermo Castro, por estar conmigo en los momentos más difíciles, levantarme en momentos de desánimo, en las buenas y en las malas amigo, gracias.

A toda mi familia Nieto Alazañez y Mayorga Real por la paciencia y todos esos consejos que me han brindado, gracias.

A mis compañeros del Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales; Laura Mendoza, Felipe Terán, Yolanda Herrera, Gustavo Rojas, Natalie Villalobos, Bárbara González, Wendy Izquierdo, Yolanda Ríos, Jossafath Cárdenas, Mariely Saldaña, Masiel González por su apoyo incondicional, todos los momentos y experiencias juntas.

A mis compañeros y amigos de la universidad, Antonio Jaramillo, Aline Medina, Mike Reyna, Mary Carmen Martínez, Daniela Flores, Yenifer Piña, Yessely de Jesús, Gonzalo Vega, gracias, siempre los recuerdo con cariño, mucho éxito.

A Selene Pascual por su tiempo y paciencia dentro del laboratorio, su apoyo y orientación brindado fue esencial para la elaboración de este trabajo.

Gracias Dra. Andrea Trejo que fue un pilar importante en la formación de este trabajo, gracias por compartir sus conocimientos y todos los momentos en el CAT, usted me apoyo en un momento difícil de mi vida y gracias a usted pude realizar algunos sueños que tenía, los viajes que realice, solo se pudieron hacer realidad con su ayuda, gracias por la confianza, es una persona digna de admirar.

Quiero agradecer a mis asesores, por todo su esfuerzo, gracias David López por tu dedicación y consejos en todo momento, gracias Dra. Gabriela Vargas, por tu apoyo para realizar este

proyecto, estoy muy agradecido por todos los conocimientos que me compartiste en el Laboratorio de Química Analítica de la FES Cuautitlán.

A mis sinodales, Dra. Guadalupe Lopez, I.A. Alberto Solís, Dra. Dolores Molina y Dra. Adela Lira, gracias por el tiempo invertido en la revisión y mejora de esta tesis.

Quiero agradecer a todos los docentes de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por haberme llevado de la mano de principio a fin y por compartir sus conocimientos conmigo, me llevo un mucho conocimiento de cada uno de ellos.

A la Universidad Nacional Autónoma De México, por mi formación académica.

CONTENIDO

RESUMEN:	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Generalidades del café	4
2.1.1 Anatomía del fruto	5
2.1.2 Importancia económica	6
2.1.2.1 Producción mundial	8
2.1.2.2 Producción nacional	9
2.1.3 Procesamiento del fruto	10
2.1.3.1 Procesamiento del fruto por vía seca	10
2.1.3.2 Procesamiento del fruto por vía húmeda	11
2.1.4 Composición química proximal	14
2.1.4.1 Cafeína	16
2.1.4.2 Fenoles	17
2.1.4.3 Ácido clorogénico	18
2.1.4.4 Ácido cafeico	19
2.2 Infusiones y tisanas	20
2.3 Lixiviación	20
2.3.1 Infusión	22
2.3.2 Decocción	22
2.3.3 Percolado	22
2.4 Electroforesis capilar	23
3 OBJETIVOS	26
4 METODOLOGÍA	27
4.1 Cuadro metodológico	27
4.2 Tratamiento de la muestra	28
4.3 Obtención de los extractos a partir de la cascara de café	28
4.4 Elaboración de tisana con la cáscara del fruto de café	28
4.5 Técnicas analíticas	29
4.5.1 Evaluación de parámetros fisicoquímicos	30
4.5.2 Evaluación de parámetros químicos	30
4.5.3 Evaluación sensorial	31

4.6	Análisis estadístico	32
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1	Caracterización química y fisicoquímica de los residuos del fruto del café.....	33
5.2	Evaluación de la relación soluto: solvente.....	35
5.3	Evaluación química y el efecto que tiene los diferentes métodos de extracción y la temperatura.	36
5.4	Evaluación química en la tisana.....	42
5.4.1	Evaluación sensorial	45
6.	CONCLUSIONES.....	49
7.	PERSPECTIVAS	50
	REFERENCIAS	51
	ANEXOS	58

Índice de figuras.

Figura 1. Movimiento geográfico de la expansión del cultivo de café.	4
Figura 2. Anatomía de una cereza de café.....	6
Figura 3. Principales países productores de café.....	8
Figura 4. Estados productores de café cereza en México.....	9
Figura 5. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía seca.	10
Figura 6. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía húmeda.	11
Figura 7. Rendimientos del fruto de café fresco.	13
Figura 8. Estructura química de la cafeína.	16
Figura 9. Estructura química del fenol.	17
Figura 10. Estructura química del ácido clorogénico.....	18
Figura 11. Estructura del ácido cafeico.....	19
Figura 12. Cinética de lixiviación.	21
Figura 13. Número de artículos por área de investigación utilizando métodos de electroforesis capilar.....	24
Figura 14. Formato utilizado para la realización de la prueba sensorial.	32
Figura 15. Contenido de fenoles totales en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de decocción.....	35
Figura 16. Contenido capacidad antioxidante en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de decocción.....	36
Figura 17. Contenido capacidad antioxidante en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de infusión A), percolado B).	37
Figura 18. Contenido fenoles totales en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de infusión A), percolado B).	38
Figura 19. Contenido de ácido Clorogénico influenciado por la temperatura °C promediando los métodos de extracción en los extractos de cascarilla de café.....	40
Figura 20. Contenido de ácido Clorogénico influenciado por el método de extracción promediando las temperaturas en los extractos de cascarilla de café.....	40
Figura 21. Contenido de cafeína influenciado por la temperatura °C promediando los métodos de extracción en los extractos de cascarilla de café.	41
Figura 22. Contenido de cafeína influenciado por el método de extracción promediando las temperaturas en los extractos de cascarilla de café.	42
Figura 23. Contenido de capacidad antioxidante en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.....	43
Figura 24. Contenido de fenoles totales en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.....	43
Figura 25. Contenido de ácido clorogénico en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.....	44
Figura 26. Contenido de cafeína en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.	45
Figura 27. Prueba de aceptación I) y preferencia II) de las tisanas.	46
Figura 28. Gráficas (aspecto general, color, olor, sabor, cuerpo) de la prueba hedónica verbal.....	47

Figura 29. Electroferogramas de I) estándares y II) ejemplo de extracto de cascarilla de café obtenida por percolado a 90°C, sus 3 repeticiones y la adición de ácido clorogénico STD para su confirmación. 58

Índice de tablas

Tabla 1. Composición en un gramo de grano de café. 14
Tabla 2. Contenido de compuestos en el fruto del café..... 15
Tabla 3. Porcentaje de cafeína presente en el grano de café, en base seca y verde..... 16
Tabla 4. Formulación en por ciento de base seca de las tisanas de café. 29
Tabla 5. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de la cascarilla de café. 33
Tabla 6. Caracterización de los parámetros químicos de la cascarilla de café..... 34

RESUMEN:

El café es uno de los cultivos de mayor importancia económica en México, ubicándose el país en la décimo primera posición en el año 2017, con un producción del 2.1 % a nivel mundial. En la industrialización del café se estima que sólo el 5 % de la biomasa generada se utiliza en la elaboración de la bebida, mientras que el porcentaje restante son residuos o subproductos de su procesamiento. El objetivo de este trabajo es el aprovechamiento de los residuos del fruto de café para el desarrollo de una tisana, y de esta manera proponer una alternativa en la diversificación de estos residuos para la actividad cafetalera. La materia prima que se utilizó para el estudio fue la cascarilla (epicarpio) del fruto del café procedente del estado de Nayarit. Se seleccionó el volumen de disolvente (agua) a utilizar en las diferentes extracciones y se evaluaron dos métodos de lixiviación: infusión y percolado a tres temperaturas (70, 80, 90°C). A las bebidas extraídas por lixiviación se les realizó una evaluación del contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y una cuantificación de cafeína y ácido clorogénico mediante electroforesis capilar. Los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza ANOVA y comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5 % utilizando el programa estadístico IBM SPSS y Statgraphics Centurion XVI. Como resultado de la relación solvente: soluto, se determinó que a mayor cantidad de solvente se obtiene una mayor concentración de compuestos fenólicos en solución y de igual forma una mayor capacidad antioxidante, optando por una relación final de 1:12 soluto: solvente. En esta cantidad de disolvente se observó que se pueden extraer más compuestos fenólicos y antioxidantes benéficos para la salud. El factor de la temperatura resultó ser una variable importante en la obtención de los compuestos fenólicos, antioxidantes, contenido de ácido clorogénico y cafeína, siendo significativamente mayor la extracción de estos compuestos a 90 °C. Se confirmó la obtención de compuestos fenólicos, antioxidantes, contenido de ácido clorogénico y cafeína con los dos métodos de lixiviación, siendo el método de infusión el que presentó mayor concentración de los componentes de interés. Concluyendo que los residuos generados en la producción del café pueden ser una alternativa tecnológica para el desarrollo de una bebida tipo tisana, ya que su actividad antioxidante y contenido de fenoles pueden ser aprovechadas por el consumidor.

1. INTRODUCCIÓN

El café o cafeto pertenece a la familia de las rubiáceas, en la que se incluyen más de 500 géneros y alrededor de 800 especies. De todas las especies, solamente se cultivan 10, y dos de ellas han sido descritas como las más importantes por corresponder a más del 90 % de la producción mundial, éstas son: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*; esta última es conocida comúnmente como variedad robusta (Antiasarán *et al.*, 2000). Los cafetos producen frutos rojos, llamados cerezas de café, con dos núcleos que contienen cada uno un grano o semilla de café de color verde. Es importante mencionar que también se le nombra café a una de las bebidas de mayor consumo en el mundo, que se realiza mediante una infusión de los granos tostados y molidos del árbol del cafeto (Gotteland y Saturnino, 2007).

El 71.9 % de la producción mundial de café en el 2017 se concentró en cinco países: Brasil (34.9 %), Vietnam (16.6 %), Colombia (9.1 %), Indonesia (6.6 %) y Honduras (4.6 %). Entre los principales productores también resalta la participación de Etiopía (4.1 %), India (3.2 %) y Perú (2.6 %) (FIRA, 2017). De acuerdo a los pronósticos estadísticos de la Organización Internacional del Café, la producción mundial en el periodo de 2017-2018 sería de aproximadamente 158.78 millones de sacos, lo que representa un aumento del 0.7% frente a la del periodo anterior, 2016-2017, cuya cifra revisada aumentó a 157.69 millones de sacos (ICO, 2017). México se ubicó en la décimo primera posición en la tabla de producción mundial con respecto a este fruto, con una participación del 2.1 % de la producción mundial, lo que equivale a 840 mil toneladas al año. La oferta nacional está distribuida en 15 entidades, entre los estados más importantes en volumen de producción se encuentra Chiapas (40.1 %), Veracruz (24.0 %), Puebla (15.3 %), Oaxaca (7.9 %) y Guerrero (5.0 %) (SAGARPA, 2017). En la industrialización del café se estima que sólo el 5 % de la biomasa generada se utiliza en la elaboración de la bebida, mientras que el porcentaje restante son residuos o subproductos tales como hojas, ramas, tallos, frutos verdes, cáscara y pulpa. Estos residuos pueden llegar a ocasionar contaminación en agua, por lo cual es importante encontrar una alternativa de uso y aprovechamiento integral del fruto del café (Fonseca *et al.*, 2014).

En los últimos años han aumentado las propuestas tecnológicas de productos alimenticios con características fisiológicamente funcionales aprovechando los subproductos de la industria agroalimentaria. Diferentes investigaciones sugieren el empleo de los subproductos del café y su composición, ya que han demostrado una respuesta en la reducción de enfermedades crónicas y neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson (Fonseca *et al.*, 2014). Este efecto se ha debido a la presencia de compuestos con propiedades antioxidantes, éstos compuestos evitan que se produzcan daños tisulares ocasionados principalmente por radicales libres, al reducir su formación o eliminarlos una vez originados. Las moléculas antioxidantes ingresan al organismo a través de los alimentos que los contienen, por lo cual se ha recomendado un mayor consumo de vegetales y frutas ricas en

dichos compuestos y no solamente en las vitaminas antioxidantes, sino también en compuestos de naturaleza fenólica (Gutiérrez, 2002).

Algunas bebidas como el café, el té y el vino son asociadas a la presencia de antioxidantes así como recientemente las tisanas, que son bebidas de administración más simple y popular de preparaciones herbales y frutales. La presencia de polifenoles estas bebidas reportan múltiples efectos biológicos, tales como: actividad antioxidante (Agüero *et al.*, 2014). El 80 % de la población mexicana está habituada a preparar y consumir tisanas caseras, los mexicanos con un estilo de vida saludable son los principales consumidores por las características medicinales de las tisanas y a la experiencia placentera de las infusiones si el producto ofrece características de ambas (Guzmán, 2011). Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo generar una propuesta tecnológica para el aprovechamiento de los residuos obtenidos durante la etapa de beneficio para ofrecer una alternativa al productor que guíe a la reducción de pérdidas económicas, así como el impacto ambiental y social referente a la salud de los consumidores al desarrollar una tisana.

2. ANTECEDENTES

Son varias las leyendas y referencias urbanas que abordan sobre la historia de los orígenes del café y todas lo sitúan en Etiopía, donde fue descubierto por primera vez en el siglo X cuando se comenzó a cultivar y a consumir (Antiasarán *et al.*, 2000). Posteriormente su cultivo fue introducido en Yemen, Arabia y alcanzó a llegar a Egipto (Fonseca *et al.*, 2014). En el siglo XVI la semilla del café llegó a Europa por medio de las tropas turcas, en donde se popularizó su consumo únicamente ya que la planta del cafeto no se aclimató al suelo y clima europeo (Antiasarán *et al.*, 2000). Durante la conquista española se introdujo su cultivo a América, donde se permitió un mayor desarrollo de su cultivo y fue expandiéndose de un país a otro. En 1727 el café se introdujo primero a Brasil, como se muestra en la figura 1, después a Cuba en 1748, seguido de Colombia en 1750, a Puerto Rico en 1779, a Venezuela en 1784 y por último a México en 1790 (Salvador, 2014).



Figura 1. Movimiento geográfico de la expansión del cultivo de café.

2.1 Generalidades del café

Los cafetos son arbustos tropicales de hojas verdes que producen frutos carnosos rojos o púrpuras, llamados cerezas de café, con dos núcleos que contienen cada uno un grano o semilla de café de color verde. Este arbusto pertenece al género *Coffea* de la familia de las Rubiáceas y contienen una gran cantidad de compuestos químicos que le confieren cualidades sensoriales y efectos específicos sobre el organismo. Comúnmente se denomina

café a una de las bebidas de mayor consumo en el mundo, que se realiza mediante una infusión de los granos tostados y molidos del árbol del cafeto (Gotteland y Saturnino, 2007).

Los climas óptimos para el cultivo de café son los cálidos y semicálidos, con una temperatura media anual que oscila entre los 21 °C y 26 °C. Los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café, por su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrimentos y, por ser aptos para la mecanización (Saenz, 1990).

El fruto de café o la cereza de café es la baya del cafeto, que crece en grupos a lo largo de los tallos cortos de las plantas. Una cereza de café mide aproximadamente (1.5 cm) de largo y comienza la cosecha de los frutos de café con un criterio empírico sobre el color de la cereza, la cual al madurar presenta una mezcla de tonalidades verdes cuando la baya es inmadura, amarillas antes de volverse oscura de color rojo cereza/negro rojizo, ese es el momento en el que la fruta está lista para ser cosechada para los apreciados granos de café (Marín, *et al.*, 2003).

2.1.1 Anatomía del fruto

En la figura 2 se muestra las fracciones anatómicas del fruto en un corte longitudinal de la cereza. Se puede observar el grano de café o endospermo, la cáscara o epicarpio, una capa mucilaginososa o mesocarpio, y la pulpa o esocarpio. La semilla del café presenta una superficie plana que se encuentra con otra parte igual dentro del fruto. Cada mitad está recubierta por un delicado tejido conocido como película plateada. Estas dos fracciones se sostienen dentro del epicarpio, membrana conocida también con el nombre de pergamino, que es duro y quebradizo cuando se seca, y el cual rodea individualmente a cada una de las dos fracciones que constituyen al grano. La cascarilla, en cambio, está cubierta por una gruesa capa de células esponjosas que forman la pulpa. Esta capa tiene un espesor aproximado de 5 mm. Debido a la consistencia viscosa del mucílago, una leve presión sobre el fruto es suficiente para expulsar fuera de él las dos mitades que constituyen el grano. Esta característica ha sido aprovechada en el proceso hace largo tiempo cuando se empezó a utilizar para separar los granos del resto de los componentes estructurales del fruto (Braham y Bressani, 1978).

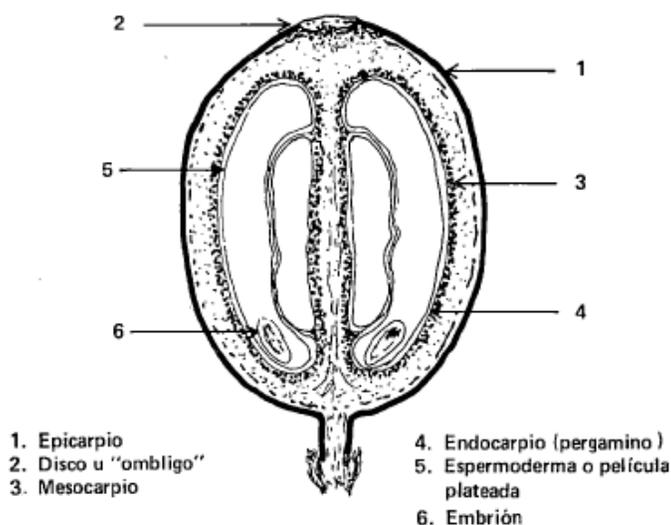


Figura 2. Anatomía de una cereza de café.

Fuente: INCAP (1978).

La industria del café, ofrece varios componentes estructurales del fruto que se pueden usar como fuente de sustancias funcionales, por ejemplo se ha estudiado que la pulpa del café funciona como sustituto en los concentrados para ganado lechero hasta en un 20 %, lo que representa un 30 % de ahorro en el costo de alimentación. También se ha evaluado el uso de los subproductos del café como fuente de energía renovable por ejemplo, la pulpa y el mucílago en la producción de biogás y bioetanol y el pergamino como combustible (Valencia y Zambrano, 2010).

En los últimos años se ha sugerido el uso de los subproductos del café como fuente promisoría de sustancias químicas funcionales y bioactivas para la industria alimenticia y farmacéutica, como los polifenoles y la cafeína. Se ha demostrado con anterioridad que la borra del café, un residuo de la preparación de la bebida, presenta capacidad de neutralizar o estabilizar radicales libres, siendo el ácido clorogénico un compuesto químico presente en todo el fruto (Puertas *et al.*, 2013). Los subproductos del café sin tostar (pergamino, pulpa y cáscara) registran presencia de fenoles totales y mostraron tener capacidad antioxidante, la pulpa contiene el mayor contenido de fenoles totales y la mayor capacidad antioxidante, seguida por el pergamino y la cáscara, en un valor aproximado de entre 1 % y 1.5 % (pulpa 1.5 %, cáscara 1.2 %) (Murthy y Madhava, 2012). Estos componentes estructurales del fruto también presentan una gran cantidad de cafeína, reportando valores entre 1.6 a 7.09 mg/g (Tello *et al.*, 2011).

2.1.2 Importancia económica

En la actualidad el café es una bebida con un gran valor económico y cultural, siendo uno de los pilares fundamentales de la economía de numerosos países en vías de desarrollo. El café se produce en más de 75 países, los cuales tienen en común que se encuentran situados entre

los trópicos de Cáncer y de Capricornio, lo que les otorga las condiciones ideales para su óptimo cultivo (Sánchez, 2015).

Son alrededor de 800 las especies que engloban al género *Coffea*, aunque sólo se cultivan 10 especies y dos de ellas son las más importantes por corresponder a más del 90 % de la producción mundial: *Coffea arabica* (65-70 % de la producción mundial), cultivado en Centroamérica, Sudamérica, Etiopía, Tanzania y Kenia y la especie *Coffea canephora* conocida comúnmente como variedad robusta (30-35 % de la producción mundial), cultivado en el sudeste asiático y el resto de los países africanos (Antiasarán *et al.*, 2000). Las principales diferencias que existen entre ambas especies de cafeto es el perfil aromático y el sabor dulce de la bebida obtenida de la especie arábica; mientras que en la especie robusta las bebidas obtenidas tienen un mayor contenido de cafeína, siendo el contenido de cafeína mayor en la especie robusta, por tal razón la infusión obtenida del grano de la robusta se le considera ser la de mayor perfil amargo, asemejándose a un sabor a madera (Salvador, 2014).

Las expectativas de crecimiento en la producción obedecen a la presencia de condiciones climatológicas favorables para el cultivo en países productores. La cafecultura representa una actividad fundamental en el sector agrícola, no sólo por el valor de su producción, sino además por ser un importante generador de divisas, además por las bondades que ofrece al ser un cultivo de gran relevancia ambiental, puesto que el 99 % de los predios cafetaleros se establecen bajo sombra (FIRA, 2017).

Cada año se incrementa un 1.6 % la producción mundial de café con respecto a la cosecha del ciclo previo, para ubicarse en 155.7 millones de sacos de 60 kg. Las exportaciones mundiales de café también aumentaron cifrándose en 9.93 millones de sacos en febrero de 2018 en comparación con los 9.89 millones de sacos correspondientes a febrero de 2017. Las expectativas de crecimiento en la producción obedecen a la presencia de condiciones climatológicas más favorables para el cultivo, principalmente en Brasil (ICO, 2018).

Por otra parte se prevé que el consumo mundial del café crezca a una tasa anual de 1.2 % para ubicarse en un nivel máximo histórico de 158.5 millones de sacos, impulsado por el crecimiento de la demanda principalmente en mercados que tradicionalmente no son consumidores de café (FIRA, 2017).

El auge de las bebidas a base de café se debe al alto consumo en el país y en el mundo. Cadenas importantes de café están introduciendo un formato de café frío embotellado y enlatado listo para servir, apostando a que los compradores de abarrotes adoptarán una forma más para obtener su dosis de cafeína. Cafeterías como Starbucks, basan sus ventas en mezclas de café helado con azúcar, como los frappuccinos, los cuales han sido populares desde hace algunos años; por otro lado los baristas y las cafeterías están viendo cómo aumenta la demanda por un café frío más sofisticado sobre todo en expresos y lattes. El mercado del café listo para beber ha estado creciendo anualmente a un ritmo de dos dígitos desde el año 2011,

en Estados Unidos se espera que el mercado ascienda a cerca de \$ 3.600 millones de dólares en el año 2020 (EL ESPECTADOR, 2016).

2.1.2.1 Producción mundial

La producción mundial de café en el 2017 se concentró el 71.9 % en cinco países: Brasil (34.9 %), Vietnam (16.6 %), Colombia (9.1 %), Indonesia (6.6 %) y Honduras (4.6 %). Como se muestra en la figura 6, entre los principales productores también está Etiopía (4 %), India (3.2 %) y Perú (2.6 %). México se ubicó en la décimo primera posición, con una participación del 2.1 % de la producción mundial (FIRA, 2017).

Durante el periodo 2007-2017, la producción de Brasil creció en promedio anual 3.0 %; la de Vietnam 6.1 %, la de Colombia 1.4 % y en Indonesia fue de 5.3 % (SAGARPA, 2017).

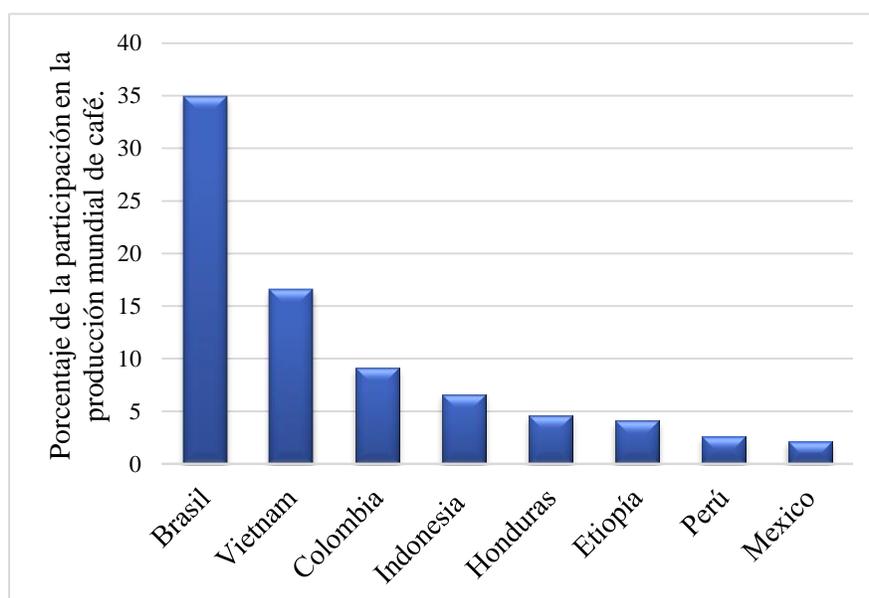


Figura 3. Principales países productores de café.

Fuente: Fideicomisos instituidos en la relación con la agricultura (2017).

Se calcula que la producción mundial de café en el periodo de 2017/18 sería de 159.66 millones de sacos, un 1.2 % más alta que la del periodo anterior 2016/17, así como un incremento del 0.4 % en las exportaciones mundiales respecto a la registrada en el ciclo anterior. La Unión Europea ocupa el primer lugar en importaciones de café, se estima un importe 45.5 millones de sacos de 60 kg (37 % del total importado en el mundo), ya que desde 2007 a 2017 las importaciones de esta región aumentan en promedio 0.5 % anualmente (ICO, 2018).

2.1.2.2 Producción nacional

México cuenta con condiciones ideales para el cultivo del café, con zonas montañosas en el sureste del país, así como temperaturas que van de los 17.5 a 25.3 °C. La cafecultura en el país representa una actividad fundamental en el sector agrícola con una producción anual de 840.0 miles de toneladas (FIRA, 2017). En México, aproximadamente el 94.5 % de la producción de café se obtiene de la especie arábica y el 5.5 % corresponde a variedad robusta, su cultivo es poco significativo y solo se ubica en ciertas zonas bajas de los estados de Chiapas, y Veracruz, su importancia estriba en el uso que hace de ella la industria productora de café soluble (INFOASERCA, 2002).

En el periodo de 2016 a 2017 se produjo café cereza en 15 entidades; en cinco de éstas se concentró el 93.7 por ciento de la oferta nacional, siendo los estados de Chiapas (40.1 %), Veracruz (24.0 %), Puebla (15.3 %), Oaxaca (7.9 %) y Guerrero (5.0 %) como se muestra en la última barra de la figura 7 (SAGARPA, 2017).

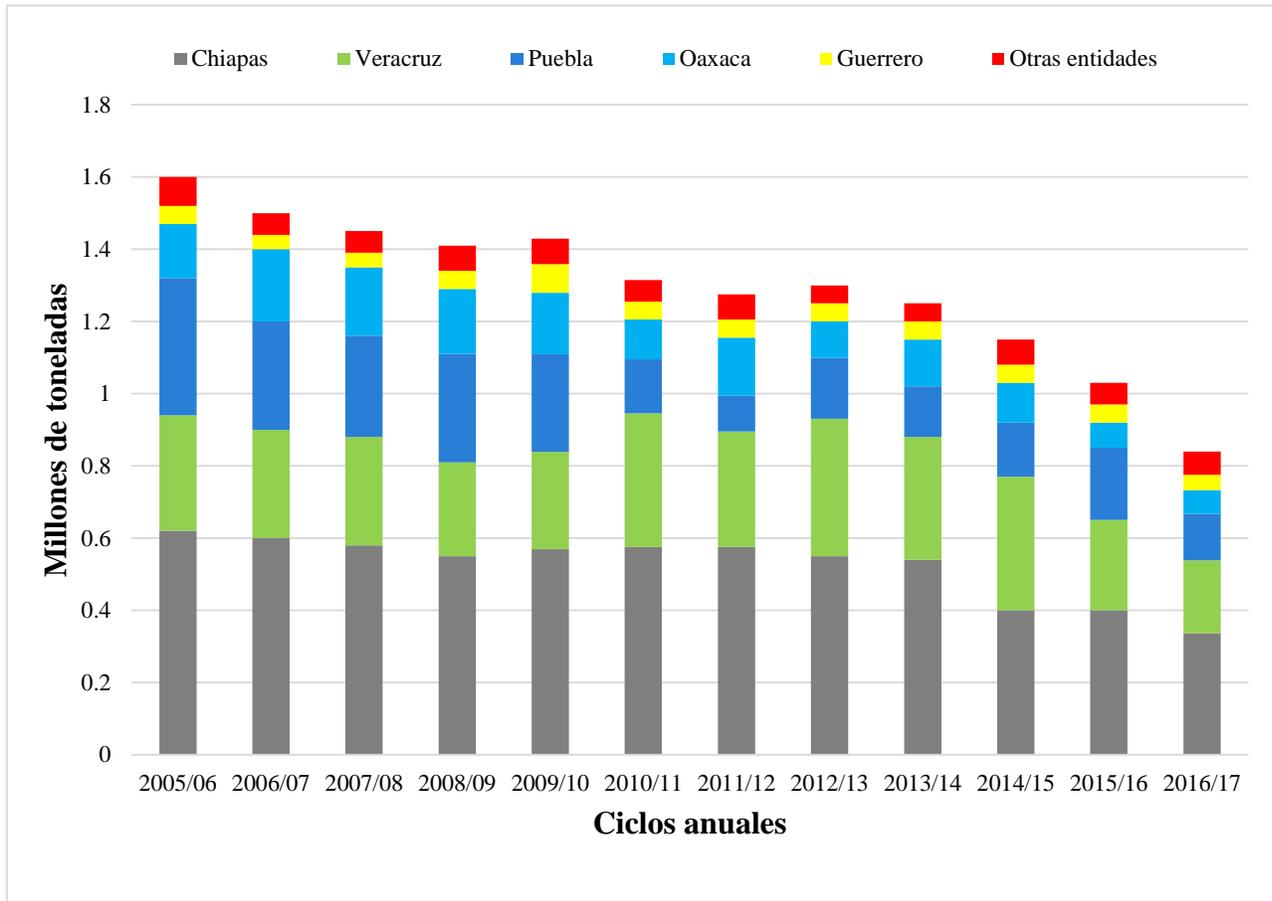


Figura 4. Estados productores de café cereza en México.

Fuente: SAGARPA-SIAP 2017.

México participa en el mercado cafetalero con el 1.5 % del volumen de las exportaciones mundiales, por lo cual se ubica en el lugar 12 entre los países exportadores; México envía café a 42 países, sin embargo más del 50 % de las ventas están dirigidas a Estados Unidos. (SAGARPA, 2017).

2.1.3 Procesamiento del fruto

El café verde se obtiene a partir de las bayas maduras del árbol del café, éstas son recolectadas comúnmente de forma manual y procesadas para extraer los granos, su procesamiento comprende una serie de operaciones relativamente complejas para extraer los granos del fruto y secarlos. El procesamiento o beneficio del café puede realizarse por vía seca (secado al sol), o por vía húmeda, el beneficio consiste en el aislamiento de la semilla, mediante la eliminación de las diversas capas que rodean la baya y su secado hasta que el contenido en humedad de la semilla verde de café sea inferior al 12 % (Antiasarán *et al.*, 2000).

2.1.3.1 Procesamiento del fruto por vía seca

Utilizar el procesamiento por vía seca, caracteriza en la bebida con una gran calidad en aroma, sabor y cuerpo cuando se tienen los controles adecuados en el beneficio del grano (Figura 3) (Antiasarán *et al.*, 2000).

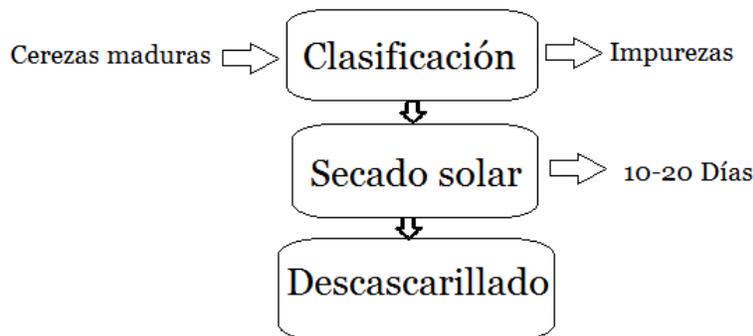


Figura 5. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía seca.

Fuente: Antiasarán *et al.* (2000).

En la etapa de clasificación se separan las cerezas que no están maduras de las que están demasiado maduras y de las que están dañadas, para quitar la suciedad, la tierra, las ramas y las hojas. Esto se realiza mediante una inspección visual y regularmente a mano por los trabajadores (ICO, 2013).

Durante la operación de secado, los granos se extienden al sol, o bien en patios grandes de cemento o ladrillo, también se pueden colocar en esteras alzadas hasta una altura de 60 cm del suelo sobre caballetes. A medida que las cerezas se secan, éstas se rastrillan o se les da vuelta a mano para que el secado sea lo más homogéneo posible. El secado es la etapa más importante del proceso (nivel máximo de un contenido de humedad del 12 %), puesto que

afecta a la calidad final del café verde. Un café que haya secado demasiado se volverá quebradizo y dará demasiados granos quebrados (Sinclair *et al.*, 2007).

El descascarillado se realiza enviando el fruto seco al molino, donde se criban, se separan, se clasifican y se meten en sacos. La descascaradora quita de una vez todas las capas exteriores de la cereza seca (ICO, 2013).

El método por vía seca se usa en casi toda la variedad robusta o en su gran mayoría, países como Brasil, Etiopía, Haití y Paraguay se benefician con ese método aproximadamente para el 90 % que se produce del café de la especie *Coffea arábica*. Este método no es práctico en zonas muy lluviosas, en las que la humedad atmosférica es demasiado elevada o en las que llueve con frecuencia durante la cosecha (ICO, 2013).

2.1.3.2 Procesamiento del fruto por vía húmeda

El proceso por vía húmeda ayuda a reducir y endulzar las notas intensas de fruta, amargura y produce una bebida suave. En la figura 4 se muestra el diagrama de proceso por vía húmeda.

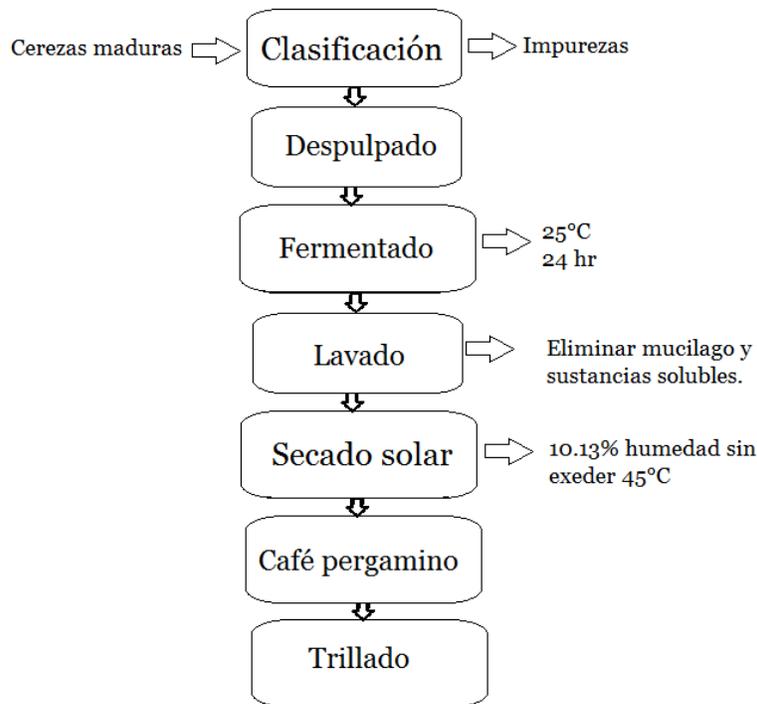


Figura 6. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía húmeda.

Fuente: Antiasarán *et al.* (2000).

La cosecha de café debe clasificarse, lo cual consiste en recolectar solo las cerezas maduras, evitando el quiebre de las ramas y la destrucción de las yemas florales y las hojas. El siguiente

paso consiste en eliminar la pulpa usando maquinas despulpadoras el mismo día de la cosecha (Duicela *et al.*, 2010).

En el proceso de fermentación, el mucílago adherido al café es degradado por enzimas endófitas de la cereza del café y que son sintetizadas por la microbiota del producto natural. Después de la fermentación, el mucílago es removido mediante lavado, permitiendo un secado rápido de los granos y una mejora en la apariencia de los mismos, resultando una relación directa en la calidad final de la bebida. Cuando la fermentación de café es prolongada por mucho tiempo, se produce una condición de sobre-fermentación y la influencia de microorganismos se acentúa y comienza el proceso de producción de compuestos responsables de sabores indeseables (Duicela *et al.*, 2010).

El lavado se realiza para eliminar todo el mucílago y sustancias solubles que se forman durante la fermentación. En el caso de los cafés fermentados naturalmente se requiere alrededor de 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco (Mendoza y Calva, 2010).

El café pergamino se seca para disminuir su humedad hasta el 12 %, se extienden los granos en capas de entre 2 cm y 10 cm en superficies grandes y lisas de ladrillo o de cemento que se llaman patios, o en mesas de alambre de malla fina y se les da vuelta con frecuencia para conseguir un secado uniforme. El tiempo del secado al sol depende de las condiciones climáticas de la región, del espesor de la capa de café y de la frecuencia con la que se remueva el grano, puede combinarse con métodos mecánicos, por ejemplo el uso de máquinas de secado por convección para acelerar el proceso. No obstante, el proceso requiere mucho cuidado para lograr un secado satisfactorio y económico sin dañar la calidad del grano de café. (ICO, 2013).

Una vez secada la semilla, se obtiene el grano de café verde contenido dentro de la cubierta de pergamino (Mendoza y Calva, 2010).

El trillado consiste en separar el pergamino del grano verde o almendra en máquinas piladoras o trilladoras. El café pergamino debe estar seco y fresco antes de ser pilado. La máquina piladora debe ajustarse de acuerdo a la clase de café que se va a procesar (Duicela *et al.*, 2010).

El beneficio por el método de vía húmeda se usa en general para todos los cafés de la variedad *Coffea arabica*, a excepción de lo que se producen en el Brasil y en los países productores de especie *Coffea arabica* que usan el método de vía seca. Se usa rara vez para los cafetos del genero robusta. (ICO, 2013).

2.1.3.3 Residuos del fruto de café

Se estima que por cada kilogramo de café cereza procesada por vía húmeda se genera cerca de 50 % de pulpa. Cuando el procesamiento del café se realiza por vía seca (beneficio seco), se denomina como cáscara de café y sólo se generan cerca de 10 % de residuos (Pandey *et al.*, 2000).

Como se observa en la figura 5, los residuos de café son desechados, los procesos agroindustriales constituyen un elemento importante que puede alterar el equilibrio ambiental y poner en peligro la calidad del aire y vida del ser humano ya que estos residuos como hojas, ramas, tallos, frutos verdes, cascara y pulpa pueden ocasionar contaminación en agua Fonseca *et al.*, 2014).

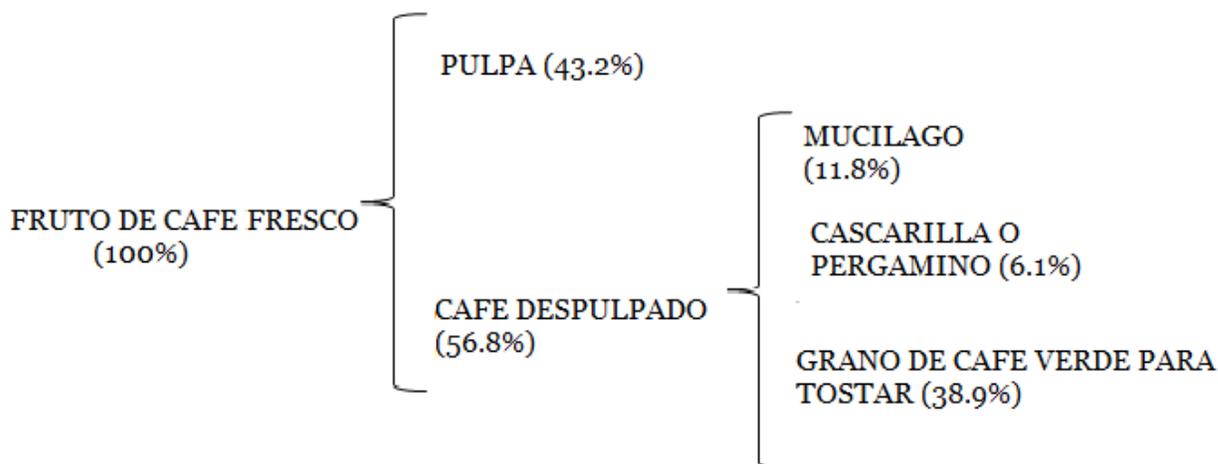


Figura 7. Rendimientos del fruto de café fresco.

Fuente: INCAP (1978).

La contaminación del agua se genera debido a los lixiviados que se realizan durante el beneficio, debido a que las mieles al entrar en contacto con la pulpa arrastran los fenoles, los cuales al tener contacto con el aire toman una coloración negra la cual es característica de los lavados. El potencial contaminante de la mezcla de pulpa y mucílago presenta un valor de demanda química de oxígeno (DQO) de 115.100 mg.kg-1 de café cereza (Ramírez *et al.*, 2015).

Al despulpar y transportar la pulpa con agua durante el beneficio del café por vía húmeda, se genera cerca del 72 % de carga contaminante, correspondientes a un valor de DQO de 82.080 mg.kg-1 de café cereza, y el 28 % restante de la contaminación corresponden a un valor de DQO 31.920 mg.kg-1 de café cereza, y es ocasionada por las mieles de lavado. El menor consumo específico de agua se da con la fermentación natural, por cada 4.17 litros de agua se obtiene un kilogramo de café pergamino, generando efluentes con un promedio de

contaminación cercana a 26.500 ppm de DQO por kilogramo de café pergamino (Ramírez *et al.*, 2015).

El proceso de industrialización del café resulta ser uno de los contaminantes más agresivos de las montañas debido a emisiones importantes de aguas residuales que posteriormente constituyen focos de vectores que reducen la calidad del medio (Alfaro *et al.*, 1994).

2.1.4 Composición química proximal

En la tabla 1 se presenta el contenido nutricional del grano de café, éste no destaca por su valor energético, sino por la presencia de minerales en el grano; además está descrito que también es rico en algunas vitaminas como la niacina (vitamina B3) (Prada, 2010).

Tabla 1. Composición en un gramo de grano de café.

Energía	2.4 Kcal
Hidratos de carbono	0.415 g
Proteínas	0.1 g
Grasas	0.005 g
Potasio	35.6 mg
Magnesio	3.3 mg
Fósforo	3 mg
Calcio	1.42 mg
Hierro	0.04 mg
Zinc	0.003 mg

Fuente: (Prada, 2010).

La pulpa de café es un material fibroso mucilaginoso que corresponde cerca del 50 % del total del fruto, el contenido de humedad es muy alto, cerca del 80 %. En realidad, el nivel de agua de este material representa una de las mayores desventajas en su utilización y logística, desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y uso directo en la alimentación animal. Sin embargo, el material ya deshidratado es rico en carbohidratos cerca del 50% de azúcares totales, los cuales son azúcares fermentables, principalmente fructosa (10-15 %), sacarosa (2.8- 3.2 %) y galactosa (1.9- 2.4 %), además contiene cerca de 10 % de proteína

cruda, 21 % de fibra cruda, 8 % de cenizas, 2.4% de grasa y 10 % de humedad (Pandey *et al.*, 2000).

La cascarilla de café (epicarpio) es la capa de fruta exterior de la cereza del café, considerada por lo general un producto de desecho, la piel exterior de la baya del café se caracteriza químicamente porque es rico en carbohidratos 35 %, proteínas 5.2 %, fibras 30.8 % y minerales 10.7 % (Brand *et al.*, 2001).Otros compuestos orgánicos de interés que están presentes en el fruto del café se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de compuestos en el fruto del café.

Compuesto	Base seca (%)
Taninos	1.8 -8.56
Sustancias pecticas totales	6.5
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2
Cafeína	1.3

Fuente: (Braham y Bressani, 1978).

Con respecto al contenido de los compuestos fenólicos de ácido clorogénico y cafeico en el fruto, los valores reportados en la literatura han sido 2.71 % y 0.31 % (Molina *et al.*, 1974), mientras que otros autores han reportado valores de 2.6 % y 1.6 % para estos mismos compuestos, respectivamente (Bressani *et al.*, 1972).

El mucílago el cual está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano de café representa alrededor del 5 % del peso seco de éste y constituye una capa de aproximadamente 1/2 a 2 mm de espesor. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas (éstas pueden estar en forma de gel soluble termorreversible), azúcares (procedentes principalmente del agua del despulpe reciclada, en su mayor parte monosacáridos, glucosa, galactosa, ramnosa y arabinosa) y ácidos orgánicos formando un sistema coloidal líquido, liofílico, por lo tanto, un hidrogel. El mucilago también contiene compuestos antioxidantes y flavonoides, los cuales son principalmente de antocianinas, pero también contienen todos los demás polifenoles tales como el ácido clorogénico y cafeína. (ICO, 2005).

La cafeína es el componente no nutritivo más conocido del grano de café, presente también en los residuos después del beneficio, la cafeína es el motivo de mayor peso para el consumo de café. (Sánchez, 2015).

2.1.4.1 Cafeína

La cafeína es un alcaloide del grupo de las xantinas (1, 3, 7-trimetilxantina) (figura 8) que actúa como una droga psicoactiva y estimulante debido a su acción antagonista no selectiva de los receptores de adenosina. Es por ello que a la cafeína se la puede considerar la sustancia estimulante de mayor consumo y mejor aceptación social a nivel mundial, además de ser la que confiere un 10 % del característico sabor amargo de la bebida de café (Prada, 2010). El contenido de cafeína en el fruto puede ser de 0.51 % con base al peso seco, aunque otros autores como Bressani *et al.*, 1972; han indicado valores de 1.3 %, éstos también calculados en base seca.

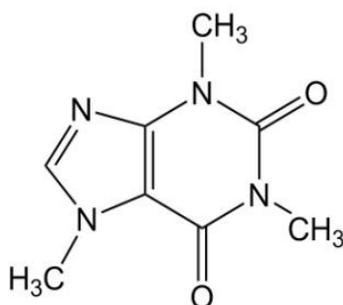


Figura 8. Estructura química de la cafeína.

En estado sólido es un polvo cristalino blanco, de sabor amargo, que presenta una densidad de 1.23 g/l, con un punto de fusión de 237 °C y su constante de acidez es de 10.4 a 40 °C. Es soluble en agua, en un ml de agua a 25 °C se disuelven 22 mg de cafeína, a 80 °C, se disuelven 180 mg y a 100 °C se disuelven 670 mg, tiene mayor afinidad por algunos disolventes orgánicos, como son el cloroformo y el diclorometano (Bravo, 2003).

Como se observa en la tabla 3, el porcentaje de cafeína presente en los granos de café, es claramente superior en las semillas de variedad robusta; estos cafés contienen el doble de cafeína que las otras variedades. (Antiasarán *et al.*, 2000).

Tabla 3. Porcentaje de cafeína presente en el grano de café, en base seca y verde.

Variedad	Cafeína %
Arábica café tostado	0.8 – 1.5
Arábica café verde	0.6 – 1.0
Robusta café tostado	2.12 – 3.16
Robusta café verde	1.16 – 2.27

Fuente: Salvador (2014).

Los efectos del consumo de café en el organismo son varios, pero el principal es de estimulación sobre el sistema nervioso central que aumenta la actividad orgánica y agiliza las funciones mentales y corporales (Prada, 2010).

El uso de la cafeína está relacionado al tratamiento terapéutico de apnea infantil (suspensión de la respiración), estimulante bronquial y cardíaco, tratamiento del acné, así como el tratamiento de la migraña. También se le encuentra en productos farmacéuticos como: analgésicos, diuréticos, control de peso y estimulantes (Salinas, 2011).

2.1.4.2 Fenoles

En la naturaleza existe una amplia variedad de compuestos que presentan una estructura molecular caracterizada por la presencia de anillos aromáticos con sustituyentes hidroxilos, como se muestra en la figura 9 (Quiñones *et al.*, 2012).

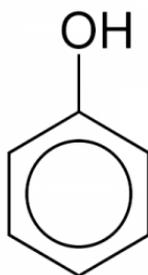


Figura 9. Estructura química del fenol.

Estos compuestos están presentes en la naturaleza y se originan principalmente en las plantas, que los sintetizan en gran cantidad, como producto de su metabolismo secundario. Algunos de estos compuestos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales; mientras que la mayoría participan en funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (hídrico, luminoso, etc.) (Fennema, 2000).

Los polifenoles o compuestos fenólicos son un conjunto heterogéneo de moléculas que comparten la característica de poseer en su estructura química dos o más grupos fenólicos, están presentes en vegetales (tomates, pimentones, cebollas, brócoli, lechuga, papas, jícama, zanahoria, espárrago, aceitunas), frutas (cítricos, manzanas, uvas, fresas, cerezas, peras, frambuesas, mangos) y también están presentes en el aceite de oliva, centeno, avena, salvado de trigo, cebada, arroz, semillas de mostaza, té, vino, chocolate negro y café (Amarowicz *et al.*, 2009).

Los niveles de estos compuestos pueden variar considerablemente dentro de la misma especie, e incluso entre sus variedades, debido a factores genéticos y ambientales que condicionan la germinación, el crecimiento y calidad de los cultivos. El papel importante de los polifenoles en la naturaleza es la defensa de la planta, contra insectos, microorganismos

y herbívoros ayudando a preservar su integridad continuamente amenazada por la exposición a factores ambientales (radiaciones ultravioleta y altas temperaturas) (Ferrer, 2008).

Antiguamente, algunos investigadores consideraban a los polifenoles como antinutrientes porque tenían la peculiaridad de precipitar macromoléculas como proteínas, carbohidratos y enzimas digestivas, reduciendo la digestibilidad de algunos alimentos. Sin embargo, en la década de los 90's aumentó el interés por los polifenoles debido a sus posibles efectos beneficiosos para la salud. Actualmente se ha estudiado que al extraerlos y consumirlos, pueden prevenir enfermedades degenerativas, incluyendo cánceres, estos compuestos son en su mayoría potentes antioxidantes, ya que poseen una estructura química ideal para la actividad antioxidante como donadores de electrones e hidrógenos, tienen la capacidad de consumir radicales libres o estabilizar el electrón desapareado (Mendoza y Calva, 2010).

El café, como el té y el vino, contiene importantes antioxidantes fenólicos, tales como los ácidos clorogénico y cafeico, en algunos aspectos similares a las epicatequinas y taninos del té o las quercetinas del vino tinto, pero con diferentes estructuras químicas y, por tanto, distintas funciones metabólicas (Gutiérrez, 2002).

2.1.4.3 Ácido clorogénico

La denominación de ácidos clorogénicos sólo es aplicable al ácido 5-cafeoilquínico (Figura 10), siendo éste el más importante en la naturaleza y en el café particularmente. Se encuentran en las plantas como metabolitos secundarios y se asocian frecuentemente como protectores contra los ataques de insectos y microorganismos (Antiasarán *et al.*, 2000).

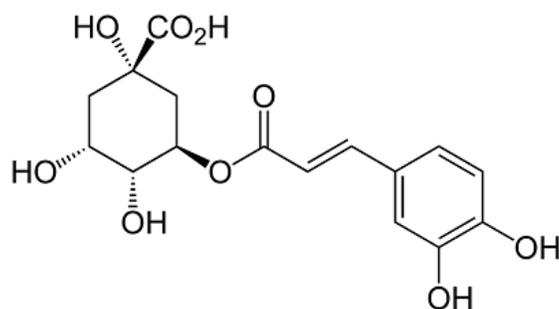


Figura 10. Estructura química del ácido clorogénico.

Están presentes en gran cantidad en el grano de café verde, en forma de sales de potasio, en igual porcentaje que la cafeína, en el café de variedad Arábica se encuentran entre el 6 y 7 %, incrementándose en la maduración y decreciendo en la germinación. Por lo que se ha propuesto como un indicador del estado de maduración del grano. Los ácidos clorogénicos son los responsables de la percepción organoléptica del amargor y astringencia (Antiasarán *et al.*, 2000).

Los ácidos cuantitativamente más importantes del café son los ácidos clorogénicos, el contenido de estos ácidos es mucho mayor en el grano que en el resto de la planta. La cantidad del ácido clorogénico varía con el grado de maduración, la especie y otros factores asociados a la calidad del café, tal como la altura y la presencia o ausencia de sombra e inclusive se les relaciona a la resistencia a algunas enfermedades (Solís *et al.*, 2005).

El ácido clorogénico se ha cuantificado también en los granos de café tostados, mostrando tener un efecto directo sobre el contenido de fenoles en las muestras de café, observándose una disminución del ácido clorogénico conforme aumenta el grado de tostado, por ende la actividad antioxidante de los granos de café tiende a disminuir conforme aumenta el nivel de tostado (Lazcano, 2015).

2.1.4.4 Ácido cafeico

El ácido cafeico (Figura 11) es el ácido hidroxicinámico de mayor distribución en la naturaleza. Los hidroxinámicos pertenecen al grupo de compuestos fenólicos simples (C3-C6) que tienen un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo (OH) (Gutiérrez, 2002).

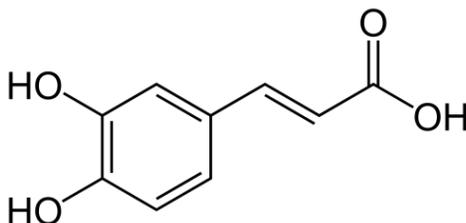


Figura 11. Estructura del ácido cafeico.

Se ha evaluado el ácido cafeico durante el tostado, se pudo cuantificar hasta los niveles más altos de tostado ya que para este compuesto no existe ninguna tendencia al aumento o disminución del ácido cafeico con el nivel de tostado. Curiosamente una concentración alta de ácido clorogénico, implica que habrá una concentración baja de ácido cafeico al comparar granos con el mismo nivel de tostado (Lazcano, 2015).

La actividad antioxidante del café no sólo es asociada a estos constituyentes del café como son los ácidos fenólicos (derivados del ácido clorogénico y cafeico), estudios recientes indican también como antioxidantes a los compuestos formados durante la reacción de Maillard llamadas melanoidinas (Yanagimoto *et al.*, 2004). Las melanoidinas se forman durante la última etapa de la reacción de Maillard, son compuestos poliméricos de color café, estas influyen en el color, sabor y textura de los alimentos sometidos a temperaturas altas. Entre algunas actividades biológicas importantes de las melanoidinas se encuentran la actividad antioxidante y la quelante (Tagliacruzchi *et al.*, 2010).

Los antioxidantes de los alimentos pueden ser definidos como cualquier sustancia que es capaz de aplazar, retardar o prevenir el desarrollo de ranciedad en el alimento u otro deterioro que se produzca como consecuencia de la oxidación. (Pokorny *et al.*, 2001).

Estos evitan que se produzcan daños tisulares por radicales libres, actuando al reducir su formación o eliminarlos una vez originados. De esta forma, se pueden reducir las enfermedades asociadas al estrés oxidativo celular como la diabetes, la neurodegeneración, las enfermedades hepáticas, cardiovasculares y cáncer (Penckofer *et al.*, 2002).

2.2 Infusiones y tisanas

Algunas bebidas como el café, el té y el vino son asociadas a la presencia de antioxidantes así como recientemente las infusiones y tisanas, las cuales constituyen probablemente la forma de administración líquida más simple y popular de preparaciones herbales. Son el resultado de la acción del agua sobre los productos vegetales (López, 2002).

Las tisanas son bebidas asociadas a la presencia de polifenoles, este grupo de compuestos reportan múltiples efectos biológicos, tales como: actividad antioxidante (Agüero *et al.*, 2014). El 80 % de la población mexicana está habituada a preparar y consumir tisanas caseras, los mexicanos con un estilo de vida saludable son los principales consumidores por las características medicinales de las tisanas y a la experiencia placentera de las infusiones si el producto ofrece características de ambas (Guzmán, 2011).

Las tisanas e infusiones en México son un producto de importancia económica y medicinal, la popularización del consumo de infusiones en la última década, particularmente como resultado de la llegada de *Starbucks* al país: actualmente, el 40 % de las ventas de infusiones corresponden a esta cadena. México no produce cantidades significativas de materia prima para infusiones y tisanas debido a las condiciones del suelo y el clima. Sin embargo, dado que por herencia cultural y como resultado de la globalización la ingesta de estas bebidas es popular, el mercado mexicano ofrece condiciones muy propicias para la importación de dichos productos (Guzmán, 2011).

Para prepararlas se suele recurrir a uno de los siguientes procesos extractivos como la extracción sólido-líquido (infusión, decocción y maceración). Por cualquiera de estos procesos, se obtendrá una solución acuosa extemporánea que debe ser consumida inmediatamente, por ser un medio óptimo para el desarrollo de microorganismos. En ellas se pueden agrupar varias hierbas con el fin de potenciar su acción (López, 2002).

2.3 Lixiviación

La lixiviación o extracción sólido-líquido es un proceso de separación en el cual se usa un fluido para extraer un soluto de un sólido, donde la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida (soluto A) se separa por contacto con un disolvente

líquido (solvente = B). (Sólidos inertes= C) (Geankoplis, 1998). Como se muestra en la figura 12.

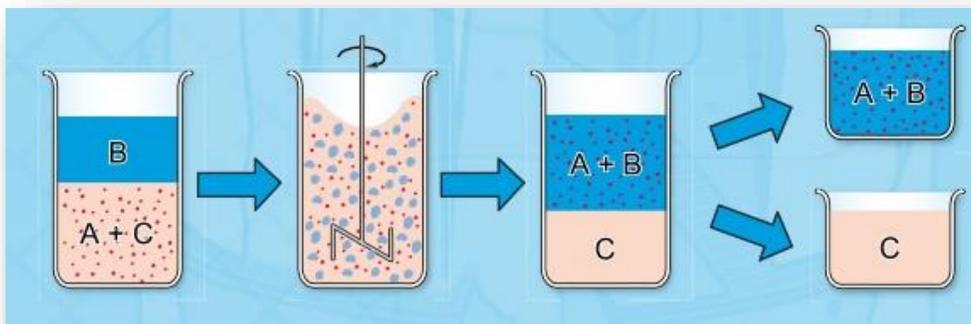


Figura 12. Cinética de lixiviación.

Existen varias aplicaciones de la operación de extracción sólido-líquido en diferentes sectores de la industria de procesos, tales como en la industria alimentaria (aceites vegetales se lixivian de otros productos biológicos, como cacahuete, semillas de algodón y semillas de girasol, la sacarosa soluble se lixivia con agua caliente a partir de azúcar de caña y de remolacha), minera (lixiviación de oro, plata y cobre en minerales sólidos por medio de ácido sulfúrico), farmacéutica y cosmética (extractos de hojas, raíces y tallos de las plantas) y en la industria química (lixiviación de aceites esenciales por medio de disolventes orgánicos como el hexano y perfumes) incluso se usa para eliminar la contaminación en el suelo mediante la lixiviación con agua de los sedimentos o lodos, así extraer químicos nocivos que se adhieren a ellos, tales como aceite y grasa que no se disuelven en el agua (Geankoplis, 1998).

La eficiencia en el proceso de extracción del soluto depende de varios factores, principalmente del tamaño de partícula, del tipo de solvente y la temperatura, mientras que tiempo y tipo de contacto del solvente con los sólidos puede presentarse en tres maneras diferentes: infusión (inmersión total del soluto), drenaje intermitente (salida intermitente del solvente) y percolación (permite gotear a través del soluto continuamente), este último es de los más utilizados en la industria, ha demostrado rendimientos por encima del 90 % (Palacios y Sánchez, 2008).

Para cada proceso tecnológico en donde está involucrada la operación de extracción, existen diversos sistemas o equipos destinados especialmente para cada uso, ya que no todos los productos son tratados de la misma manera, en especial si se trata de alimentos. Estos van desde extractores de contacto simple, batch, semibatch, continuo, hasta sistemas múltiples de contacto con lecho estático, continuo de lecho móvil y contracorriente (Cataldo, 2015).

2.3.1 Infusión

Una infusión es utilizada principalmente en la industria farmacéutica y alimentaria, es un método de extracción vertiendo el sólido en el disolvente casi siempre caliente a una temperatura próxima de ebullición, dejando en inmersión total durante un periodo de tiempo que va desde 3-5 minutos hasta horas dependiendo del material. (Carrión y García, 2010).

La infusión es el procedimiento más adecuado para obtener extractos de las partes delicadas de las plantas: hojas, flores, sumidades y tallos tiernos, ya que con ella se extrae suficiente cantidad de sustancias activas de la planta, con muy poca alteración de su estructura química, ya que se minimiza el efecto destructivo del calor sobre éstas, el resultado de la mayoría de estas infusiones son medicinales y se pueden utilizar tanto por vía interna como por vía externa. (López, 2002). Este puede un proceso lento, el solvente puede saturarse lo cual ocasiona una incompleta extracción, pero existe una reducción de uso de solventes por lo que es bajo el costo de la operación (Carrión y García, 2010).

2.3.2 Decocción

La decocción se utiliza en la industria farmacéutica y de alimentos para extraer algunos compuestos a base de partes duras de las plantas (raíces, cortezas, semillas), que precisan del factor temperatura a punto de ebullición mantenida para liberar sus principios activos, este método de contacto consiste en poner en inmersión total la mezcla sólida con el disolvente y el conjunto se mantiene a dicha temperatura de ebullición durante un período variable que suele oscilar de 5 a 30 minutos y se deja en maceración durante 15 minutos más (López, 2002).

Una vez enfriado se filtra y se exprime el residuo. La decocción o cocimiento presenta el inconveniente de que algunos de los principios activos pueden degradarse por la acción prolongada del calor (López, 2002), este puede ser un proceso costoso en tema de eficiencia térmica al mantener siempre la temperatura de ebullición, sin embargo podría llegar a tener una alta concentración de compuestos debido a la evaporación parcial del solvente (Carrión y García, 2010).

2.3.3 Percolado

Es un método que consiste en que el solvente atraviesa la masa sólida de soluto pulverizada siempre en un solo sentido, alcanzando concentraciones crecientes de tal modo que el equilibrio entre el solvente dentro y fuera del marco nunca se alcanza, es un método de los más efectivos por lo que es el más usado en toda la industria (prácticamente se obtiene hasta el 95 % de sustancias extraíbles) por que el soluto es bañado siempre por nuevas proporciones de solvente y acaba por ceder todos sus componentes solubles de manera progresiva, no produce saturación del solvente y requiere menor tiempo de extracción, el percolado presenta

el inconveniente de ser un proceso costoso debido al alto consumo de solventes (Carrión y García, 2010).

Éste tipo de extracción se realiza en recipientes (percoladores) cilíndricos o cónicos que poseen dispositivos de carga y descarga lográndose una extracción total de los principios activos, se debe tomar en cuenta la relación existente entre el soluto y el solvente (cantidad de disolvente), son factores decisivos dentro de la percolación incluyendo el tamaño de partícula ya que cabe mencionar que la percolación es el método extractivo menos adecuado en el caso de mezclas solidas muy voluminosas (Carrión y García, 2010).

2.4 Electroforesis capilar

La electroforesis capilar es una técnica analítica de separación que ha sido utilizada y reportada innumerables veces en distintas áreas de investigación. Con esta metodología se puede separar las diferentes moléculas presentes en una disolución de acuerdo a la relación masa/carga de las mismas, esto amplía su campo de aplicación en la industria, especialmente en la química, bioquímica, farmacéutica, medicina, criminalística, industria alimentaria etc. (Martínez, 2015).

La separación se lleva a cabo en un tubo hueco de diámetro muy pequeño, de ahí que reciba el nombre de capilar. Dentro de este capilar se encuentran la disolución que contiene los analitos o las moléculas a separar y el amortiguador o medio electrolítico que es el encargado de conducir la corriente (Martínez, 2015).

Esta técnica de separación consiste en introducir en el capilar un electrolito, soporte o buffer, donde una mezcla de especies (cargadas o neutras) se separan en la diferente velocidad de migración de las distintas especies bajo la acción de un campo eléctrico. La separación se lleva a cabo en un capilar de sílice fundida de diámetro muy pequeño (10-200 μ m). El uso de estos capilares conlleva múltiples ventajas, entre las principales están las siguientes (Casares, 2010):

- Los capilares son anticonvectivos en sí mismos y, por tanto, no es necesaria la utilización de un gel soporte como medio.
- El calor generado al pasar la corriente eléctrica, efecto Joule, que daría lugar a problemas de gradientes de temperatura no uniformes, cambios locales de viscosidad, es fuertemente reducido, ya que la disipación de calor es muy efectiva.
- En consecuencia, pueden aplicarse altos voltajes y, por tanto, se consigue una reducción del tiempo de análisis y altas eficiencias.
- Se tiene la posibilidad de realizar la detección en columna

La electroforesis capilar es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad, se usa para identificación y cuantificación de compuestos siendo su mayor área de impacto el análisis de biomoléculas, entre estas se encuentra la determinación de polifenoles, los cuales principalmente están contenidos en extractos vegetales y alimentos. Esta metodología presenta la principal ventaja de que es una técnica con gran poder de separación, generalmente se obtienen tiempos de análisis bastante bajos si se compara con otras técnicas analíticas como la cromatografía de gases o la de líquidos, es rápida, barata y con un consumo mínimo de muestra y disolventes, la versatilidad de esta técnica reside en los elementos del equipo que se pueden controlar; como la polaridad de los electrodos, diámetro interno y longitud del capilar, el tipo de introducción de la muestra y uso de diferentes detectores como un detector UV, de fluorescencia, un espectrómetro de masas, etc (Cervantes, 2012).

Hasta ahora la electroforesis capilar ha sido utilizada como técnica analítica en diferentes campos de aplicación, siendo en la industria química y farmacéutica donde se han desarrollado la mayor parte de las investigaciones como puede observarse en la Figura 13. Se puede utilizar en tantas áreas ya que sólo pequeñas diferencias entre compuestos son suficientes para su separación electroforética, la electroforesis capilar separa en función del tamaño, carga y forma (Carpio, 2015).

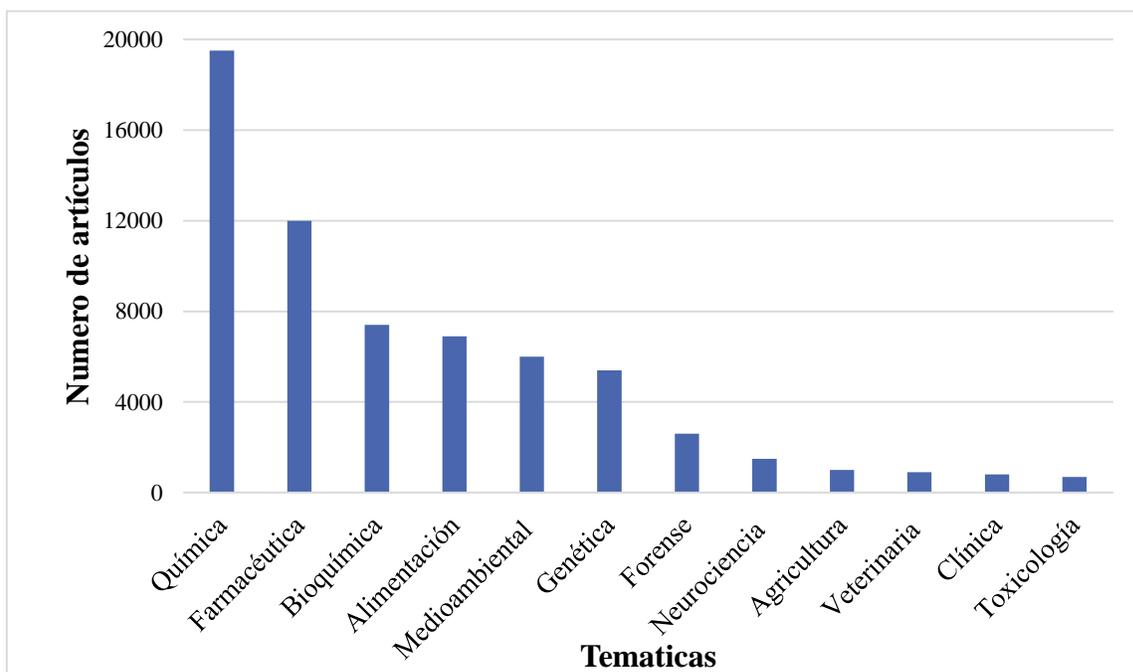


Figura 13. Número de artículos por área de investigación utilizando métodos de electroforesis capilar.

Fuente: Carpio (2015).

Un ejemplo de investigación realizada en el área de alimentos fue publicada en la revista *Electrophoresis* por Sánchez, *et al.*, 2014, en dónde se utilizó la electroforesis capilar para el estudio y desarrollo de un método para el análisis de polifenoles en vinos blancos que permite

la clasificación de éstos en base a su variedad de uva (verdejo y airén), de esta forma, a partir de un análisis rápido (no más de 25 min) y directo de un determinado vino es posible conocer los polifenoles presentes en él, determinar su concentración y predecir el tipo de uva empleado en su producción, este estudio se realizó en la universidad autónoma de Madrid, España (UAM) muy útil en la industria alimentaria o vitivinícola ya que sirve para la clasificación de vinos y detección de fraudes y para el seguimiento de producción del vino en base a los perfiles electroforéticos (Sánchez, *et al.*, 2014).

3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una formulación de tisana a partir de la cascarilla del fruto de café generados durante el beneficio, brindando una propuesta tecnológica de aprovechamiento integral para reducir las pérdidas económicas, el impacto ambiental y de beneficiar la salud del consumidor.

Objetivo Particular 1. Caracterizar la cáscara del fruto de café (epicarpio) evaluando las propiedades químicas (fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína, polifenoles) y fisicoquímicas (pH, sólidos solubles), para conocer el uso potencial del residuo del fruto.

Objetivo Particular 2. Evaluar el volumen de disolvente (agua) midiendo las propiedades químicas (fenoles totales, capacidad antioxidante) para seleccionar la proporción donde se obtenga mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Objetivo Particular 3. Identificar y cuantificar los compuestos polifenólicos presentes en los extractos de la cáscara de café por medio de electroforesis capilar para conocer los compuestos con posible efecto benéfico en la salud de consumidor.

Objetivo Particular 4. Evaluar el efecto del método de extracción en la cáscara (epicarpio) empleando diferentes temperaturas (70, 80, 90° C) y tipos de extracción (infusión, percolado) para seleccionar las condiciones donde se obtengan la mayor cantidad de fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína y ácido clorogénico.

Objetivo Particular 5. Elaborar una formulación de tisana con la cáscara del fruto de café (epicarpio), evaluando diferentes porcentajes (50, 60, 70 %) de cáscara para seleccionar las condiciones donde se obtengan la mayor cantidad de fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína, polifenoles y aceptación del consumidor, y así aprovechar los residuos del fruto del café.

4 METODOLOGÍA
4.1 Cuadro metodológico

Problema: Aprovechamiento de los residuos del fruto de café para el desarrollo de una tisana y caracterización de sus polifenoles.

OBJETIVO GENERAL. Desarrollar una formulación de tisana a partir de la cascarilla del fruto de café generados durante el beneficio, brindando una propuesta tecnológica de aprovechamiento integral para reducir las pérdidas económicas, el impacto ambiental y de beneficiar la salud del consumidor.

Actividad preliminar:

*Determinación del % de humedad en la cascarilla.

Objetivo Particular 1.
Caracterizar la cáscara del fruto de café (epicarpio) evaluando las propiedades químicas (fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína, polifenoles) y fisicoquímicas (pH, sólidos solubles), para conocer el uso potencial del residuo del fruto.

VI: Parámetros de calidad.
VD: Parámetros químicos y fisicoquímicas.
VR: Fenoles totales, Capacidad antioxidante, Cafeína, polifenoles, pH, sólidos solubles.

Objetivo Particular 2.
Evaluar el volumen de disolvente (agua) midiendo las propiedades químicas (fenoles totales, capacidad antioxidante) para seleccionar la proporción donde se obtenga mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante.

VI: Relación Soluto:Solvente
VD: Parámetros químicos.
NV: 1:4, 1:8, 1:12
VR: Fenoles totales, Capacidad antioxidante.

Objetivo Particular 3.
Identificar y cuantificar los compuestos polifenólicos presentes en los extractos de la cáscara de café por medio de electroforesis capilar para conocer los compuestos con posible efecto benéfico en la salud de consumidor.

VI: Temperatura, Tipo de extracción.
VD: Parámetros químicos.
NV: T°(70, 80, 90 °C), Infusión, Percolado.
VR: Fenoles totales, Capacidad antioxidante, Cafeína, polifenoles.

Objetivo Particular 4.
Evaluar el efecto del método de extracción en la cáscara (epicarpio) empleando diferentes temperaturas (70, 80, 90° C) y tipos de extracción (infusión, percolado) para seleccionar las condiciones donde se obtengan la mayor cantidad de fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína y ácido clorogénico.

VI: Temperatura, Tipo de extracción.
VD: Parámetros químicos.
NV: T°(70, 80, 90 °C), Infusión, Percolado.
VR: Fenoles totales, Capacidad antioxidante, Cafeína, polifenoles.

Objetivo Particular 5.
Elaborar una formulación de tisana con la cáscara del fruto de café (epicarpio), evaluando diferentes porcentajes (50, 60, 70 %) de cáscara para seleccionar las condiciones donde se obtengan la mayor cantidad de fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína, polifenoles y aceptación del consumidor, y así aprovechar los residuos del fruto del café.

VI: Formulación
VD: Parámetros químicos, parámetros sensoriales.
NV: Cascarilla (50, 60, 70 %)
VR: Fenoles totales, Capacidad antioxidante, Cafeína, polifenoles, Color, Olor, Sabor, cuerpo.

Análisis estadístico de varianza ANOVA

Análisis y resultados

Conclusiones

4.2 Tratamiento de la muestra

La materia prima que se utilizó para el presente trabajo fue la cascarilla del fruto del café (epicarpio) obtenida por el proceso de vía húmeda procedente del estado de Nayarit, México. Una vez obtenida se seleccionó y eliminaron impurezas como ramas y hojas, posteriormente se procedió a reducir el tamaño de partícula empleando un molino de café marca Hamilton Beach. Una vez molida la cáscara se homogeneizó el tamaño de partícula a un promedio de 1 mm con ayuda de un tamiz de malla número 18, así favorecer la extracción para su posterior análisis.

4.3 Obtención de los extractos a partir de la cascarilla de café

Para el método de infusión, se utilizó una relación de 1:12 soluto: solvente, es decir 8.33 g de muestra en 100 ml de agua a diferentes temperaturas (70, 80, 90 °C). La muestra se pesó dentro de unos sobres hechos con porta-filtros de una cafetera, los sobres con muestra se pusieron en contacto con el agua caliente (70, 80, 90 °C) durante 10 minutos. Posteriormente los sobres fueron retirados, el líquido se dejó enfriar y se realizó la cuantificación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, contenido de ácido clorogénico y cafeína (descritos en los puntos 4.5.2).

En cuanto al método de percolación se utilizó la misma relación 1:12, 8.33 g de muestra se pesaron en porta-filtros de una cafetera, en una base simulando una cafetera se vertieron por la parte superior 100 ml de agua a diferentes temperaturas (70, 80, 90 °C), atravesando el lecho de solutos. El líquido se dejó enfriar para posteriormente realizar la cuantificación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, contenido de ácido clorogénico y cafeína (descritos en los puntos 4.5.2).

4.4 Elaboración de tisana con la cáscara del fruto de café

Una vez seleccionado el método de extracción se procedió a hacer las formulaciones de tisanas. La cascarilla de café se utilizó en 3 proporciones (50, 60, 70 %) del total de la formulación en base seca. La tabla 4 muestra los porcentajes de la mezcla de compuestos presentes en la tisana.

Cabe señalar que estos porcentajes de cascarilla de café se emplearon debido al objetivo del trabajo, aprovechar estos residuos obtenidos durante la etapa de beneficio, generando una alternativa que guíe a la reducción de desechos así como ayudar a la salud de los consumidores al desarrollar una tisana.

Tabla 4. Formulación en por ciento de base seca de las tisanas de café.

FORMULACIÓN		
Cascarilla %	Jamaica %	Arándano %
50	2	48
60	2	38
70	2	28

En cuanto al porcentaje de jamaica en la bebida se eligió por sus propiedades antioxidantes, así como proporcionar un color rojo oscuro característico de esta flor de cáliz, además del sabor y acidez relacionada a esta flor. El porcentaje de arándano tuvo el mismo fin, potenciar su acción antioxidante de la bebida, adicionalmente aporta aroma y dulzor lo que la hace más atractiva para el consumidor.

Cada componente de la formulación fue pesado por separado y mezclado dentro de sobres hechos con porta-filtros de una cafetera, los sobres con tisanas se pusieron en contacto con el agua caliente (90 °C) durante 10 minutos, se dejó enfriar y se realizó la cuantificación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, contenido de ácido clorogénico y cafeína (descritos en los puntos 4.5.2). A estas tres formulaciones se les realizó una evaluación sensorial mediante una prueba hedónica verbal descrita en el punto 4.5.3

4.5 Técnicas analíticas

A continuación se describen las técnicas analíticas utilizadas en toda la experimentación del presente proyecto. En la sección 4.5.1 y 4.5.2 se presentan la evaluación fisicoquímica y la evaluación química tanto de la caracterización de la cascarilla hasta las extracciones con agua.

Para la actividad preliminar se tomó en cuenta que todos los alimentos cuentan con cierto porcentaje de humedad, la cascarilla de café fue sometida a esta prueba, el porcentaje de agua dentro de la cascarilla de café fue un aspecto importante al ser un factor que afecta a todos los alimentos desde el aspecto a la susceptibilidad de microorganismos, un tratamiento térmico puede prevenir el ataque de estos, y así acabar con el exceso de humedad pero podría dañar algunas estructuras dentro de su composición química (Syumey, 2017).

Determinación de humedad: A la materia prima se le midió el porcentaje de humedad por el método de termobalanza, la cual consiste la pérdida de peso de la muestra al secarla con una lámpara infrarroja, el cual emplea en una balanza de torsión sensible para pasar la muestra y la pérdida de humedad, un gramo de cascarilla de café fue pesada directamente en la balanza, la lectura fue determinada por medición directa del equipo (NMX-F-428-1982).

4.5.1 Evaluación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos (pH, sólidos solubles) se evaluaron con la finalidad de caracterizar la materia prima y de esta manera conocer las propiedades que presenta la cascarilla del café.

Determinación de pH: Esta prueba se hizo basándose en la determinación de la actividad de iones hidrógeno, empleando un instrumento llamado potenciómetro, la materia prima fue pesada, 10 g en un vidrio de reloj y mezclados con 90 ml de agua destilada, se agito y posteriormente se filtró, de este se tomaron 10 ml y se procedió a introducir el potenciómetro previamente calibrado en el líquido, registrando la medición directamente del instrumento (NMX-F-317-S-1978).

Determinación de sólidos solubles Este método se realizó basándose en el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación, con ayuda de un refractómetro, la materia prima fue pesada, 10 g en un vidrio de reloj y mezclados con 90 ml de agua destilada, se agito y posteriormente se filtró, la lectura fue determinada por medición directa en el refractómetro, utilizando una gota del líquido filtrado (NMX-F-103-1982).

4.5.2 Evaluación de parámetros químicos

Los parámetros químicos (Fenoles totales, capacidad antioxidante, cafeína y ácido clorogénico) se evaluaron en todos los objetivos, desde la caracterización de la cascarilla hasta las extracciones con agua y las tisanas.

Fenoles totales La concentración de fenoles totales en extractos de cascarilla de café fue medida utilizando un espectrofotómetro marca Velab modelo 5600UV, basándose en una reacción colorimétrica de óxido reducción, esta reacción consiste una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico (pH 10) con la finalidad de que se genere un ion fenolato que reduce al reactivo Folin-Ciocalteu y genera la formación de una coloración azul cuya absorbancia se mide a una longitud de onda de 765 nm (Fogliano *et al.*, 1999).

El contenido de fenoles totales se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva estándar de ácido gálico en un rango de 0 a 1 mg/mL, expresándose como mg de ácido gálico/g de muestra.

Capacidad antioxidante La capacidad antioxidante se basa en la decoloración del radical catiónico ABTS⁺ como resultado de la transferencia de un átomo de hidrogeno de un compuesto antioxidante. El radical libre fue producido mediante la reacción que se obtiene tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final) incubados a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) y en la oscuridad durante 16 h. Para la curva patrón se realizaron soluciones preparadas del estándar Trolox. Que fueron leídas a una

absorbancia de 734nm en un espectrofotómetro marca Velab modelo 5600UV. Una vez formado el radical ABTS•+ se diluye con etanol hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.70 (± 0.1) a 754 nm. El antioxidante sintético de referencia, Trolox que reaccionará con el radical ABTS•+, se ensaya a una concentración de 0-15 μM . Los resultados se expresaron en μmol equivalentes de Trolox/g de muestra (Re *et al.*, 1999).

Cafeína y ácido clorogénico. La cuantificación del ácido clorogénico y la cafeína se realizó en un equipo de Electroforesis Capilar P/ACE MDQ, marca Beckman Coulter Capillar y Electrophoresis system (Fullerton, CA, USA). Las mediciones se realizaron utilizando capilares de sílice fundida de 50 μm de diámetro interno, 54 cm de longitud total y 43.5 cm de longitud efectiva, la detección se realizó a 200 nm, a un voltaje aplicado de 26.8 KV. Las corrientes obtenidas fueron alrededor de 80 μA . El buffer de corrida o separación, consistió en un buffer de boratos 50 mM (a partir de tetraborato de sodio) y como disolvente agua desionizada a pH 9.4. Para la cuantificación del ácido clorogénico, el buffer de corrida o separación para la cuantificación de cafeína, consistió en un buffer de acetatos 50 mM (a partir de ácido acético) y como disolvente agua desionizada a pH 4.7 (Gatea *et. al* 2015).

4.5.3 Evaluación sensorial

Prueba hedónica verbal La prueba sensorial se le realizó a las tisanas con los 3 diferentes porcentajes o cantidad de cascarilla de café (50, 60, 70 %), la evaluación sensorial consistió en pedirle a los panelistas que den su informe sobre el grado de satisfacción que tienen del producto o la bebida de tisana al presentársele una escala hedónica o de satisfacción, la escala verbal utilizada fue desde 5= me gusta mucho, hasta 1= me disgusta mucho, entonces la escala con un punto intermedio 3= ni me gusta ni me disgusta (Hernández, 2005).

A continuación se presenta el formato utilizado por los panelistas usando una prueba hedónica. La figura 14, muestra las instrucciones de la prueba y los cinco aspectos a evaluar, los cuales fueron, aspecto general, color, olor, sabor y cuerpo de la bebida, así como una pregunta de aceptación.

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____

A continuación se presenta un set de tres muestras, evalúe de izquierda a derecha cada una de acuerdo a la escala.

5= Me gusta mucho
 4= Me gusta
 3= Ni me gusta ni me disgusta
 2= Me disgusta
 1= Me disgusta mucho

	590	368	247
Aspecto general			
Color			
Olor			
Sabor			
Cuerpo			

¿Compraría usted alguna tisana del set que acaba de probar? SI ¿Cuál? _____ No

Comentarios: _____

Figura 14. Formato utilizado para la realización de la prueba sensorial.

4.6 Análisis estadístico

Para los parámetros químicos, fenoles totales y capacidad antioxidante, se aplicó un análisis de varianza ANOVA y comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5% por el programa estadístico IBM SPSS.

Para el método de electroforesis capilar y la evaluación sensorial se aplicó un análisis de ANOVA aplicando un nivel de significancia del 5% por el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados obtenidos a partir de la experimentación realizada en el presente proyecto. En la sección 5.1 se presenta la discusión de los resultados de la caracterización química y fisicoquímica de los residuos del fruto del café. En la sección 5.2 se presenta la evaluación de la relación soluto: solvente, los resultados obtenidos de los diferentes métodos de lixiviación realizados en el punto 5.3 y finalmente en el punto 5.4 los resultados de la bebida elaborada a partir de la cascarilla, así como la evaluación sensorial realizada a esta tisana.

5.1 Caracterización química y fisicoquímica de los residuos del fruto del café.

La caracterización de la cascarilla del café se realizó para conocer los parámetros fisicoquímicos (pH, sólidos solubles), éstos se evaluaron como parte del objetivo número uno con la finalidad de caracterizar la materia prima, y obtener una vista preliminar de la cascarilla del café haciendo una comparación con el producto de valor en el fruto como lo es el grano de café.

En la tabla 5 podemos observar un rango similar de pH entre la cascarilla y el grano de café; los sólidos solubles presentes en la cascara dan un valor de 4.73 °Brix contra 1.25 de los granos, esto puede deberse a que la cáscara tiene mayor contenido de azúcares con respecto al grano (Puerta, 2011); por otro lado el contenido de humedad se analizó como actividad preliminar, anteriormente se mencionó que el grano de café debe secarse hasta un contenido de humedad entre 10% y 12% debido a que el contenido de agua del grano influye en todos los procesos del café, en particular en la germinación, crecimiento, fermentación, secado, almacenamiento, transporte, trilla y tostación. La cascarilla durante el secado solar llegó a una humedad final de 14 % lo cual nos permite trabajar con ella, analizarla y utilizarla en la elaboración de una bebida tipo tisana.

Tabla 5. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de la cascarilla de café.

	Cáscara	Grano de Café*
pH	4.55 ± 0.01	4 – 5*
Sólidos solubles [°Brix]	4.73 ± 0.46	1.25*
Humedad [%]	14.42 ± 0.39	10-12*

*Los valores obtenidos del grano de café corresponden a Puerta (2011).

Por otro lado, los parámetros químicos se midieron con fines cuantitativos en este objetivo, la materia prima se utilizó una extracción con metanol en dos fases, 0.1 g de muestra

mezclados con 1 ml de metanol al 80 % centrifugados durante 15 minutos a 10 000 rpm, posteriormente, el líquido sobrenadante se recuperó y se mezcló con la segunda extracción que consistió en una mezcla de la materia prima con 0.5 ml de metanol al 100 % centrifugados durante 15 minutos a 10 000 rpm, se aforo a 2 ml y se procedió a realizar la cuantificación de parámetros químicos, estos resultados se compararon entre dos variedades de grano (Arábica y Robusta) y la cáscara de café proveniente de la variedad arábica, en la tabla 6 se observa principalmente un aumento de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácido clorogénico en el grano de café de variedad arábica.

Tabla 6. Caracterización de los parámetros químicos de la cascarilla de café.

	Cáscara (Arábica)	Grano verde (Arábica)*	Grano verde (Robusta)*
FENOLES TOTALES [mgAG/g]	55.91 ± 1.54	65.19 ± 3.74*	56.73 ± 2.82*
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE [µmol eq trolox/g]	67.15 ± 4.69	209.29 ± 6.72*	196.48 ± 4.94*
ÁCIDO CLOROGÉNICO [mg/g]	1.0 ± 0.31	90.81 ± 4.22*	43.86 ± 1.80*
CAFEÍNA [mg/g]	1.8 ± 0.41	15.64 ± 0.72*	15.68 ± 0.10*

*Los valores obtenidos del grano de café verde corresponden a Pérez *et al.* (2013).

En cuanto a los subproductos, la cascarilla mostró un poder antioxidante e inhibición del radical ABTS (67.15 µmol equivalentes trolox /g de muestra) atribuido principalmente al contenido de fenoles totales (55.91 mg ácido gálico/g de muestra) que reaccionaron con el reactivo de Folin-Ciocalteu. Comparando estos compuestos en las extracciones de la cáscara con la concentración en el grano, se observa que corresponde a una cuarta parte en cuanto a capacidad antioxidante, esto se puede deber al gran contenido de melanoidinas presentes en mayor concentración en los granos que en la cascarilla, ya que los fenoles totales no hay un incremento tan marcado entre grano y cáscara (Budryn *et al.*, 2009).

Por otra parte, la cafeína se mantiene con un valor diez veces menor en comparación con el grano verde en ambas variedades (1.8 mg/g), en cambio, en el ácido clorogénico existe una amplia diferencia, desde 40 hasta 90 veces menos comparado con el grano verde de variedad robusta y arábica respectivamente (1.0 mg/g).

5.2 Evaluación de la relación soluto: solvente

Fue necesario evaluar la proporción de cascarilla a utilizar en las posteriores extracciones, proponiendo tres relaciones, 1:4, 1:8, 1:12 peso: volumen (cascara: agua), las muestras se sometieron a una extracción por decocción durante diez minutos en contacto con agua a temperatura de ebullición (93 °C). Posteriormente se dejó enfriar y se filtró antes de realizarse la cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (descritos en los puntos 4.5.2), para seleccionar la relación o cantidad de cascarilla a utilizar en el método de infusión y percolado se tomaron en cuenta la cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, esto con el objetivo de seleccionar la relación con mayor contenido de compuestos bioactivos. En la figura 15 se presentan los resultados obtenidos en el contenido de fenoles totales.

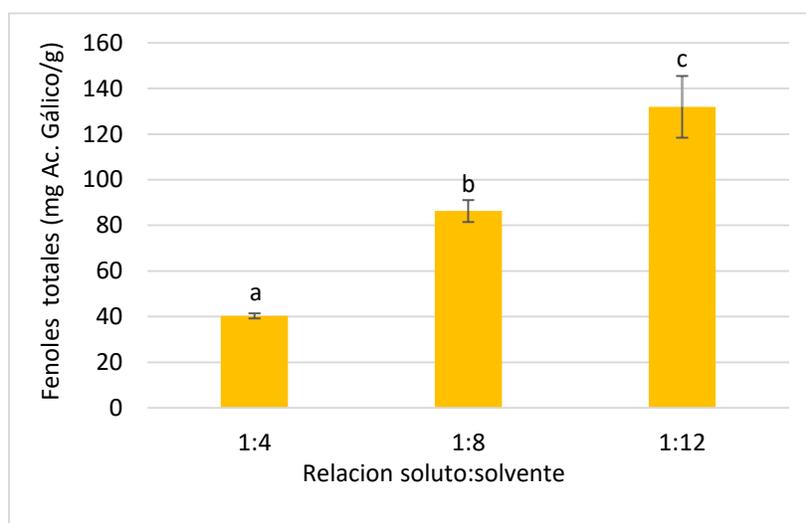


Figura 15. Contenido de fenoles totales en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de decocción.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En la figura 15 se observa que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la cantidad de fenoles totales de las tres relaciones, debido a que en la cinética de lixiviación existe un equilibrio, el soluto requiere de cierta cantidad de solvente para la extracción, este comportamiento se debe a la mayor cantidad que el solvente limpio puede arrastrar más compuestos sin llegar a un equilibrio (Fonseca *et al.* 2014). Por lo que se observa que en la relación de 1:12 soluto: solvente hay mayor cantidad de fenoles siendo 131 mg de ácido gálico/g de muestra, con este volumen de solvente se extrae aproximadamente el 70 % más fenoles que los extraídos en la relación 1:4 y 35 % más con la relación 1:8, existiendo una relación directamente proporcional, a mayor cantidad de solvente, mayor es la concentración de fenoles en los extractos.

Fonseca *et al.* en el 2014 reportaron una concentración de fenoles de 97 a 52 mg AG/ g, en una muestra de cáscara de café, la diferencia en estas concentraciones puede estar dada por las variedades empleadas, factores ambientales, así como el tipo de beneficio al que sea sometida la cascarilla.

En la figura 16 se muestran los resultados obtenidos de los extractos de cascarilla de café en cuanto a la capacidad antioxidante. En donde se observa una tendencia similar a lo encontrado para la concentración de fenoles presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

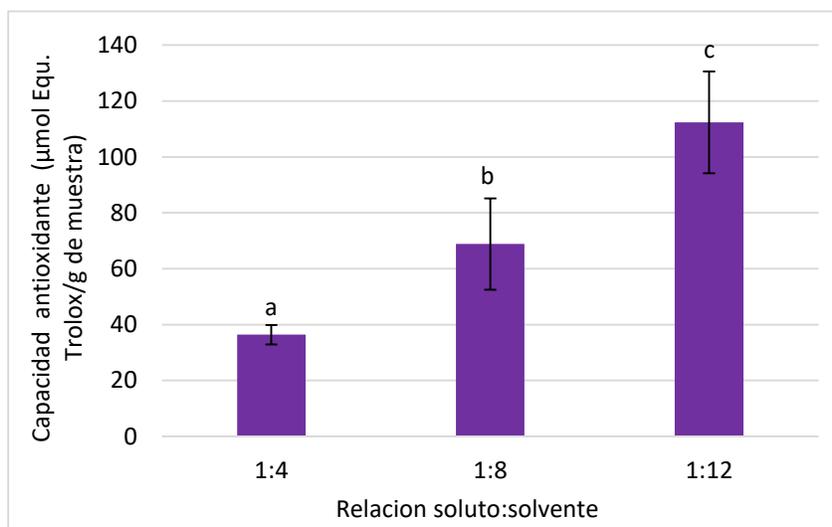


Figura 16. Contenido capacidad antioxidante en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de decocción.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En cuanto a los resultados de capacidad antioxidante se observa que a mayor cantidad de disolvente, mayor capacidad antioxidante, esto ayuda a solubilizar estos compuestos dando el mayor valor (131.97 mg ácido gálico/g de muestra) para fenoles totales y (112.34 µmol equivalentes trolox /g) en capacidad antioxidante, la extracción con una relación 1:12 fue la que se seleccionó y fue empleada en los siguientes métodos de extracción ya que existió 67 % mayor capacidad antioxidante que los extraídos en la relación 1:4 y 39 % más respecto a la relación 1:8. Vignoli *et al.* (2009), reportaron valores de capacidad antioxidante de 71 a 128 µmol equivalentes trolox/g en cáscara de café.

5.3 Evaluación química y el efecto que tiene los diferentes métodos de extracción y la temperatura.

Para determinar con qué método de preparación de la tisana se puede obtener mayor contenido de compuestos fenólicos así como mayor actividad antioxidante, se procedió a evaluar dos métodos de lixiviación, en donde se determinó el efecto de la temperatura (70,

80, 90° C) y los métodos de extracción (infusión, percolado) seleccionando el que presente la mayor concentración de los compuestos de interés.

En cuanto a la capacidad antioxidante (figura 17 “A”) a diferentes temperaturas por el método de infusión, se observa que no presentan diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la concentración de este compuesto en las infusiones obtenidas a las temperaturas de 70 y 80°C, sin embargo, la infusión preparada a 90°C sí mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$), los compuestos antioxidantes tienen mayor solubilidad en el empleo de altas temperaturas que favorecen la extracción de estos compuestos, presentando alrededor de 30 % más capacidad antioxidante comparada con las otras dos condiciones siendo aproximadamente de 73.02 μmol equivalentes trolox/g de muestra. El incremento de temperatura favorece la a solubilización de compuestos y también puede contribuir a la activación de enzimas que participan de la descomposición de los compuestos complejos que forman puentes de hidrógeno con los compuestos fenólicos, facilitando la extracción de éstos (Muñoz, *et al.*, 2015).

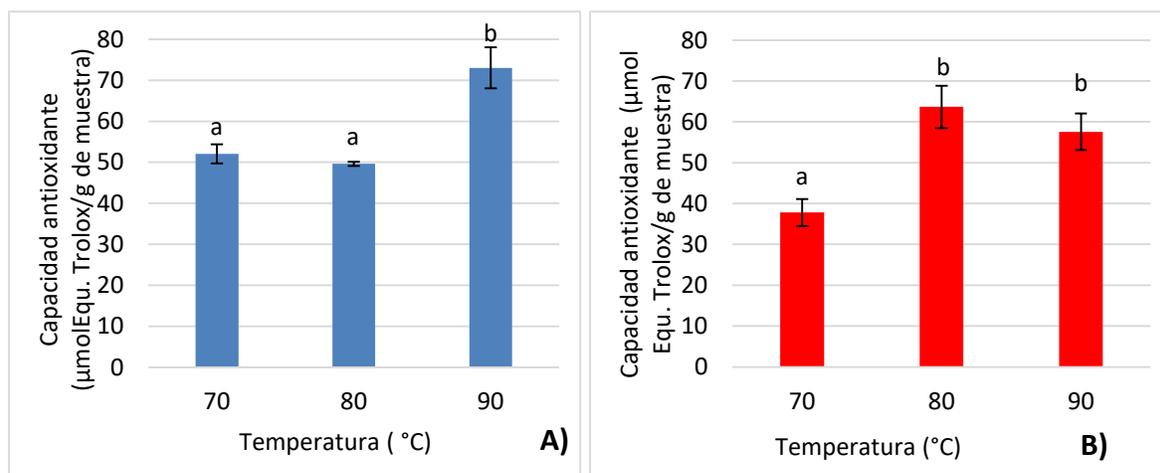


Figura 17. Contenido capacidad antioxidante en los extractos de cascarrilla de café obtenidos por el método de infusión A), percolado B).

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

El contenido de capacidad antioxidante obtenido por el método de percolado (figura 17 “B”), se observa que las temperaturas altas del solvente favorecen la extracción, las muestras tratadas a 80 y 90°C presentaron mayor actividad antioxidante, 63.6 y 57.5 μmol equivalentes trolox/g de muestra respectivamente, no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre estas temperaturas, mientras que los extractos obtenidos con el tratamiento a 70°C presentaron una capacidad antioxidante de 37.8 μmol equivalentes trolox/g de muestra, la cual fue aproximadamente la mitad a lo encontrado en los otros tratamientos (80 y 90°C) mostrando diferencia significativa en este parámetro ($p \leq 0.05$).

Los valores del contenido de capacidad antioxidante fueron comparados entre métodos de extracción, por un lado el mayor valor obtenido por infusión (90 °C 73.02 μmol equivalentes

trolox/g de muestra) y el mayor valor obtenido por el método de percolado (80 °C 63.6 μ mol equivalentes trolox/g), estos resultados muestran que por el método de infusión presenta la mayor cantidad de antioxidantes, aproximadamente 15 % más de capacidad antioxidante. Vignoli *et al.* (2009), estudiaron granos de café tostado, mostrando una tendencia similar, la temperatura o en el caso del tostado hay un incremento en la actividad antioxidante en los granos de café conforme aumenta el nivel de tostado.

La capacidad antioxidante de las infusiones de café se pueden mantener o incrementar durante el procesamiento, la acción de alta temperatura puede reducir la actividad antioxidante, debido a la degradación del ácido clorogénico y otros compuestos fenólicos, sin embargo, se ha encontrado que la actividad antioxidante se puede mantener debido a la formación de los productos de la reacción de Maillard (Budryn *et al.*, 2009).

Por otro lado en la figura 18 A) se presentan los resultados del contenido de fenoles analizado en las infusiones de cascarilla de café a diferentes temperaturas, se observa que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la concentración de fenoles obtenida de los extractos a las tres diferentes temperaturas, sin embargo se observa que los extractos obtenidos a 90 °C presentaron aproximadamente un 11 % más contenido de estos compuestos siendo aproximadamente de 70.4 mg ácido gálico/g de muestra.

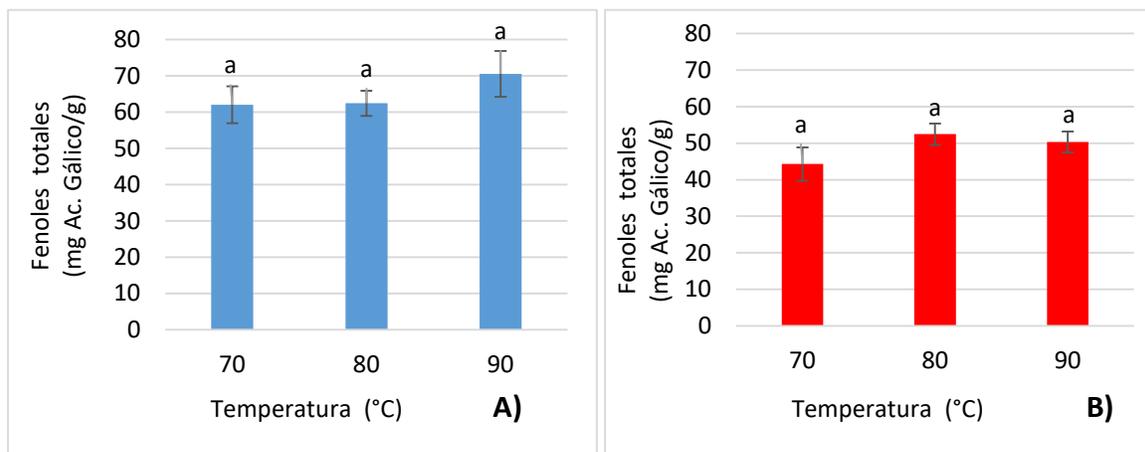


Figura 18. Contenido fenoles totales en los extractos de cascarilla de café obtenidos por el método de infusión A), percolado B).

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En la figura 18 B) se presentan los resultados obtenidos del contenido de fenoles totales a partir de la extracción por percolado, en la cual se observa que no presenta diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de fenoles por efecto de la temperatura, siendo los tratamientos a 80 y 90°C los que obtuvieron mayor contenido de estos compuestos con 52.5 y 50.3 mg de ácido gálico/g respectivamente. Mientras que los extractos preparados a 70°C mostraron un contenido de 12 % menos fenoles (44.3 mg de ácido gálico/g), mostrando una

tendencia similar a los extractos obtenidos por el métodos de infusión, siendo importante destacar que el empleo de altas temperaturas favorece la extracción de los compuestos antioxidantes, que en este caso se verían representados por los fenoles presentes en la muestra. (Muñoz, *et al.*, 2015).

Los valores del contenido de fenoles totales fueron comparados entre métodos de extracción, el mayor valor obtenido por el método de infusión (90 °C 70.4 mg ácido gálico/g de muestra) presenta alrededor de 35 % más cantidad de fenoles totales que los valores obtenidos por el método de percolado (80 °C 52.5 mg ácido gálico/g de muestra).

Está relacionada la capacidad antioxidante con el contenido de fenoles, lo cual se observa en los resultados presentados, observando que en ambos casos el método de infusión extrae mayor compuestos fenólicos y antioxidantes, así como la temperatura de 90° C favorece a la extracción, mientras mayor sea la temperatura de extracción mayor será la concentración de dichos compuestos, esta temperatura ayuda a solubilizar los fenoles totales mostrando que al aplicar calor en la extracción, se favorece la transferencia de masa del soluto al solvente (Muñoz, *et al.*, 2015).

La cuantificación del ácido clorogénico y cafeína se realizó por la técnica de electroforesis capilar, para lo cual se realizó previamente la identificación de las señales de cada compuesto en los electroferogramas adicionando estándares, la cuantificación de las señales se realizó seleccionando el área bajo la curva como la propiedad mas adecuada, que es proporcional a la concentración de cafeína y ácido clorogénico en los extractos, esto se puede observar en el Anexo I.

Como se puede observar en la figura 19, no existe diferencia significativa entre las temperaturas de 80 y 90 °C, reflejando un aumento de la concentración de este compuesto con la temperatura, teniendo el mayor contenido a 90°C, esto puede deberse a la solubilidad de este compuesto a altas temperaturas, podemos confirmar esto al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo II, sin embargo una temperatura mayor como es en el caso del tueste de los granos, la tendencia muestra que la concentración del ácido clorogénico disminuye conforme avanza el nivel de tostado, la reducción de este compuesto no sólo se da por la degradación atribuída a la acción de la alta temperatura, sino porque también participa como sustrato en la formación de melanoidinas (Budryn *et al.*, 2009).

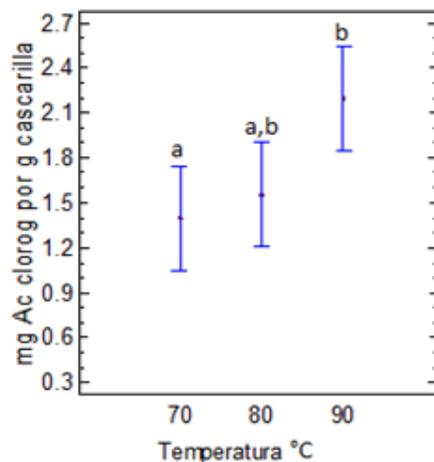


Figura 19. Contenido de ácido Clorogénico influenciado por la temperatura °C promediando los métodos de extracción en los extractos de cascarilla de café.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En la figura 20 se observa el contenido específico de ácido clorogénico en los métodos de extracción. La concentración de este compuesto puede variar por diferentes factores como la variedad del grano, las condiciones de procesamiento, en este caso el método de extracción, el cual muestra que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) mostrando que el contenido es mayor, alrededor de 35%, si se utiliza la infusión como método de extracción. Esto se puede confirmar en el Anexo II mediante la prueba de hipótesis y el análisis de varianza.

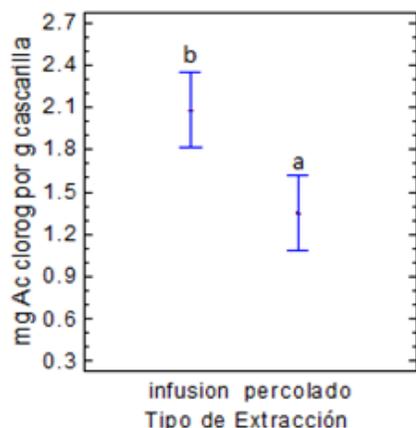


Figura 20. Contenido de ácido Clorogénico influenciado por el método de extracción promediando las temperaturas en los extractos de cascarilla de café.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Por otro lado, en la figura 21 se muestra la extracción de cafeína, podemos observar que la cafeína solo aumenta al realizarse a 90°C, siendo aproximadamente 36 % mayor que las condiciones de temperatura menores, esto debido a que ha mostrado tener mayor solubilidad a altas temperaturas (Bravo, 2003). El Anexo II se muestra el análisis de varianza y la prueba

de rangos múltiples el cual comprueba una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) a esta temperatura.

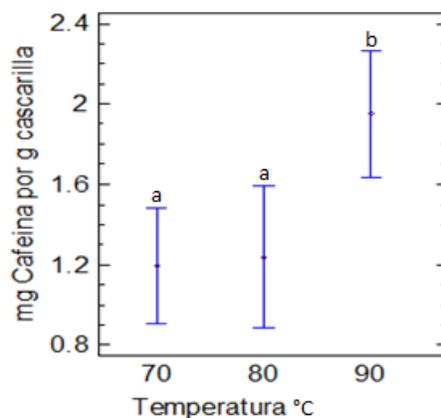


Figura 21. Contenido de cafeína influenciado por la temperatura °C promediando los métodos de extracción en los extractos de cascarilla de café.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

El contenido de cafeína en los granos de café también se ve influenciado por la temperatura, se encuentra menor concentración de cafeína en los granos de café en verde, conforme aumenta el nivel de tostado existe mayor disponibilidad de la cafeína, esto influye directamente en el grado de tueste ya que la cafeína es una sustancia química termoestable, y sólo sufre una pequeña pérdida por sublimación a 179°C, algunos otros factores que podrían aumentar el contenido de cafeína durante el tostado es la pérdida de peso que se origina durante el tostado y la baja difusión del vapor de cafeína a través del grano (Antiasarán *et al.*, 2000).

En cuanto a la influencia del método de extracción para la cafeína (figura 22) se pueden considerar iguales ambos tipos de extracción utilizados, ya que no se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sin embargo, el valor más alto de extracción de cafeína se obtuvo con la caracterización de la cascarilla en una extracción con metanol, debido a que este compuesto ha mostrado mayor solubilidad en solventes orgánicos como el metanol y el cloroformo (Bravo, 2003). El Anexo II muestra el análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples el cual comprueba que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre métodos de extracción.

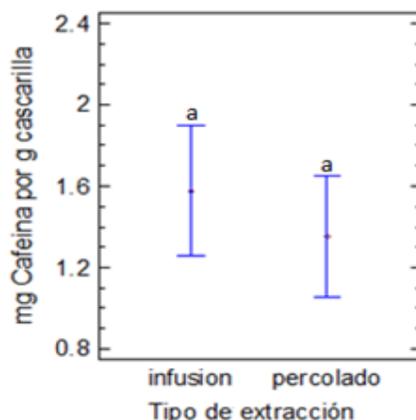


Figura 22. Contenido de cafeína influenciado por el método de extracción promediando las temperaturas en los extractos de cascarilla de café.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los resultados de electroforesis capilar concuerdan y confirman los resultados obtenidos a las mismas condiciones con los métodos anteriores, fenoles totales y capacidad antioxidante. El efecto que tiene la temperatura de 90 °C en la extracción por infusión muestra que los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante aumentan conforme se incrementa la temperatura, además de que el tiempo de contacto (10 minutos) soluto: solvente ayuda a concentrar significativamente los compuestos solubles como los fenoles incluyendo el ácido clorogénico y también la cafeína, como consecuencia, la actividad antioxidante aumenta.

5.4 Evaluación química en la tisana

El té, con esta denominación se incluye a las tisanas e infusiones, aunque no sean derivadas de las hojas de té, es una de las bebidas más consumidas por el hombre alrededor del mundo tanto como el agua, la leche, el café y el vino (Guzmán, 2011). Se considera que en los países industrializados las bebidas del tipo del café suponen un gran aporte de antioxidantes y pueden proteger frente al daño por oxidación de los radicales libres formados en el propio organismo o derivados de agentes oxidantes externos (Franco y Lizarraga, 2015).

La capacidad antioxidante en las tisanas elaboradas con la cascarilla de café (figura 23) a diferentes porcentajes de cascarilla (50, 60, 70 %) por el método de infusión, podemos observar que no presentan diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de capacidad antioxidante las tisanas con 50 y 60 %, sin embargo, la infusión preparada con mayor cantidad de cascarilla (70 %) sí mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) presentando 30 % más capacidad antioxidante comparada con las otras dos condiciones, mostrando que al aumentar el porcentaje de cascarilla en la bebida aumenta este valor, siendo aproximadamente de 39.32 μmol equivalentes trolox/g de muestra.

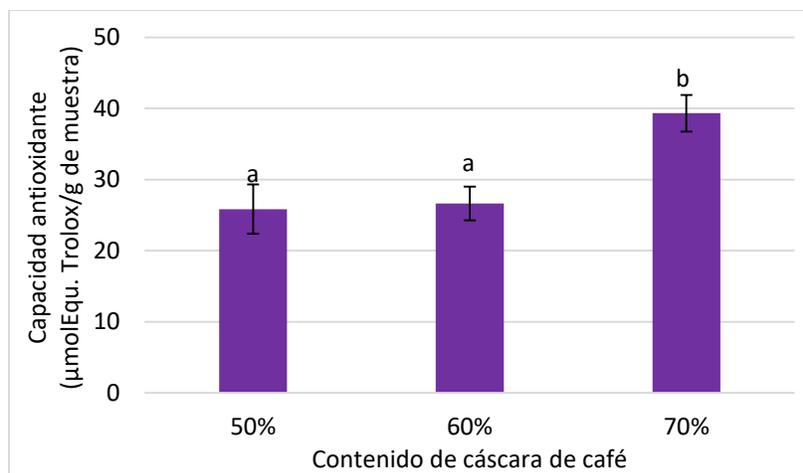


Figura 23. Contenido de capacidad antioxidante en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En cuanto a la extracción por infusión de las tisanas a tres diferentes porcentajes, se presentan los resultados obtenidos del contenido de fenoles totales en la figura 24, no mostrando una tendencia, ya que entre porcentajes no presentan diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de fenoles, sin embargo, la tisana que presentó mayor contenido de estos compuestos también fue la formulación con mayor contenido de cascarilla (70 %) con 46.32 mg de ácido gálico/g.

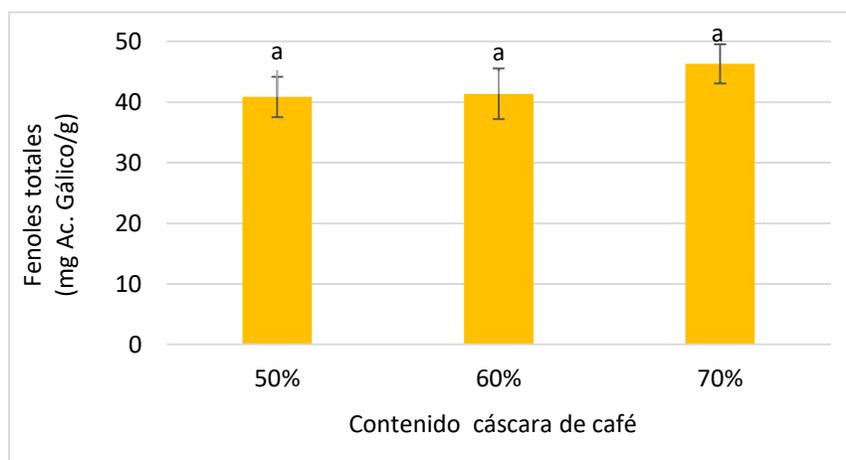


Figura 24. Contenido de fenoles totales en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cabe mencionar que los demás elementos presentes en la formulación (arándano y flor de jamaica) intervienen en los resultados de fenoles y capacidad antioxidante, ya que se ha mostrado en ambos la presencia de estos compuestos (Rodarte *et al.* (2008), encontraron

cifras de 7.12 mg de ácido gálico/g, en arándano y Reyes *et al.* (2015), reportan 36.5 mg de ácido gálico/g en cálices de jamaica) esto puede ser un motivo por el cual no se aprecia diferencia significativa ($p \leq 0.05$), estos elementos podrían estar compensando el contenido de fenoles y capacidad antioxidante, esto al disminuir el porcentaje de cascarilla y aumentar el de arándano.

En la figura 25 se presentan los resultados del contenido de ácido clorogénico analizado en las infusiones de cascarilla de café a diferentes formulaciones, se observa que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la concentración este compuesto obtenida de los extractos a los tres diferentes porcentajes (50, 60, 70 %), sin embargo se observa que los extractos obtenidos a 70 % de cascarilla presentaron mayor contenido de estos compuestos, es decir a mayor contenido de cascarilla más contenido de ácido clorogénico en la tisana. El Anexo II muestra el análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples el cual comprueba que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los porcentajes de cascarilla.

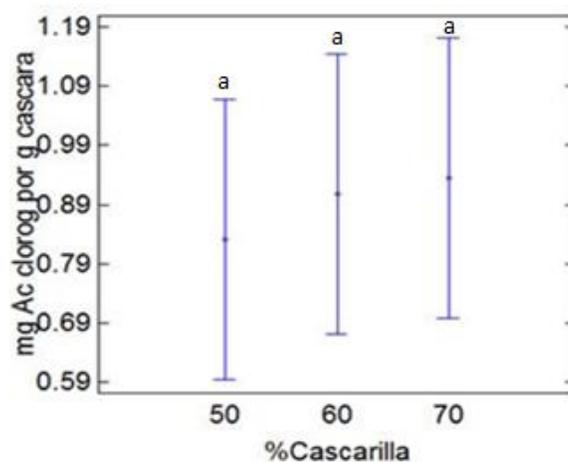


Figura 25. Contenido de ácido clorogénico en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

El contenido de cafeína obtenido por el método de infusión (figura 26), observamos que los mayores porcentajes de cascarilla de café tienen una extracción mayor de cafeína, la formulación con 60 y 70 % de cascarilla no presentan diferencia significativa entre sí ($p \leq 0.05$), por lo que se pueden considerar como tratamientos iguales, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo II. Sin embargo, los extractos obtenidos con el tratamiento a 60 % presentaron mayor cantidad de cafeína, la cual fue aproximadamente del 40 % más que la formulación con el 50 % de cascarilla.

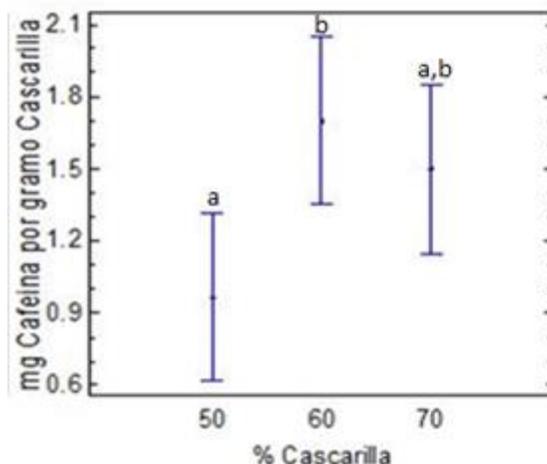


Figura 26. Contenido de cafeína en las tisanas de cascarilla de café en diferentes porcentajes a 90°C.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La formulación de la tisana o elementos presentes (arándano y flor de jamaica) no parecen influir en el porcentaje ideal de cascarilla a utilizar, ya que no existe diferencia significativa en el contenido de ácido clorogénico, mientras que la extracción máxima de cafeína se da cuando hay 60% de cascarilla.

Esta tisana hecha a base de residuos del café como lo es la cascarilla puede ser una bebida atractiva para la ingesta de antioxidantes, sin embargo, también se puede considerar como una alternativa para aquellos individuos más sensibles a la cafeína, los cuales llegan a generar episodios de insomnio, ansiedad, nerviosismo, irritabilidad, hostilidad y cambios de humor. La tisana cuenta con menores dosis de cafeína, y podría evitar algunos otros efectos fisiológicos reportados como la estimulación de los sistemas gástricos, urinarios, aumento del ritmo cardíaco y la presión arterial (Tello *et al.*, 2011).

5.4.1 Evaluación sensorial

Se realizó la prueba hedónica verbal además de una prueba de aceptación que nos permitió medir además del grado de preferencia de cada formulación, en esta prueba se preguntó a los panelistas si comprarían o no el producto y cuál de las muestras codificadas preferían, se les solicitó que seleccionaran una, incluso si no estuvieran seguros. Las instrucciones y el orden en el que los panelistas debían evaluar las muestras se indicó en la boleta que se muestra en la sección 4.5.3.

En la figura 27 se puede observar que el nivel de aceptación de la bebida fue mayor al 72 %, mientras que el otro 28 % no fue aceptado, dentro de los comentarios de las personas que rechazaron el producto estaban “la bebida esta ácida” y el más repetido “falta dulzor”.

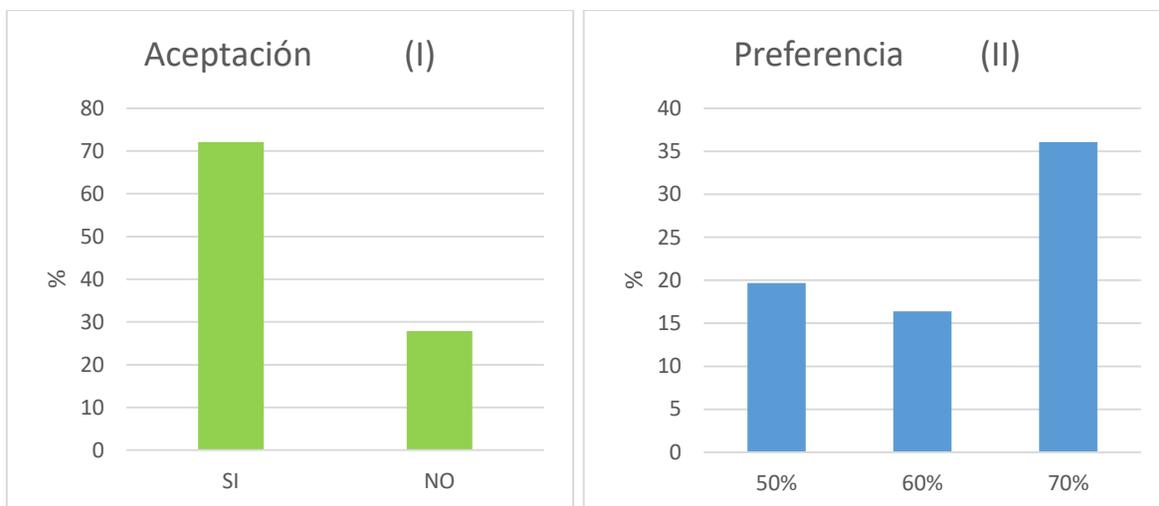


Figura 27. Prueba de aceptación I) y preferencia II) de las tisanas.

La figura 27 también muestra que la tisana que tuvo mayor preferencia fue la que tenía mayor cantidad de cascarilla de café, el 36 % del total de los encuestados tuvieron la mayor preferencia por la tisana con 70 % de cascarilla.

En la prueba hedónica verbal para la tisana, evaluamos cualidades y los aspectos más importantes en aceptación de la tisana, en la Figura 28 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, aspecto general, color, olor, sabor, cuerpo.

En el atributo de aspecto general en la tisana se observa una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con la formulación de 60 % cascarilla, siendo 70 y 50 % tratamientos iguales, sin embargo, recibió mayor puntuación la tisana con mayor cantidad de cascarilla (70 %), además esta formulación tuvo la mayor calificación en el aspecto de color y olor presentando estadísticamente diferencia significativa ($p \geq 0.05$) comparada con los otras condiciones, es evidente que esta diferencia está dada gracias a los atributos naturales de la cascarilla la cual es la base de la formulación.

Del mismo modo los panelistas evaluaron el sabor de la bebida y el cuerpo, los panelistas calificaron a las muestras en cuanto a sabor y cuerpo de la bebida como “ni me gusta, ni me disgusta”, sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las tres diferentes formulaciones.

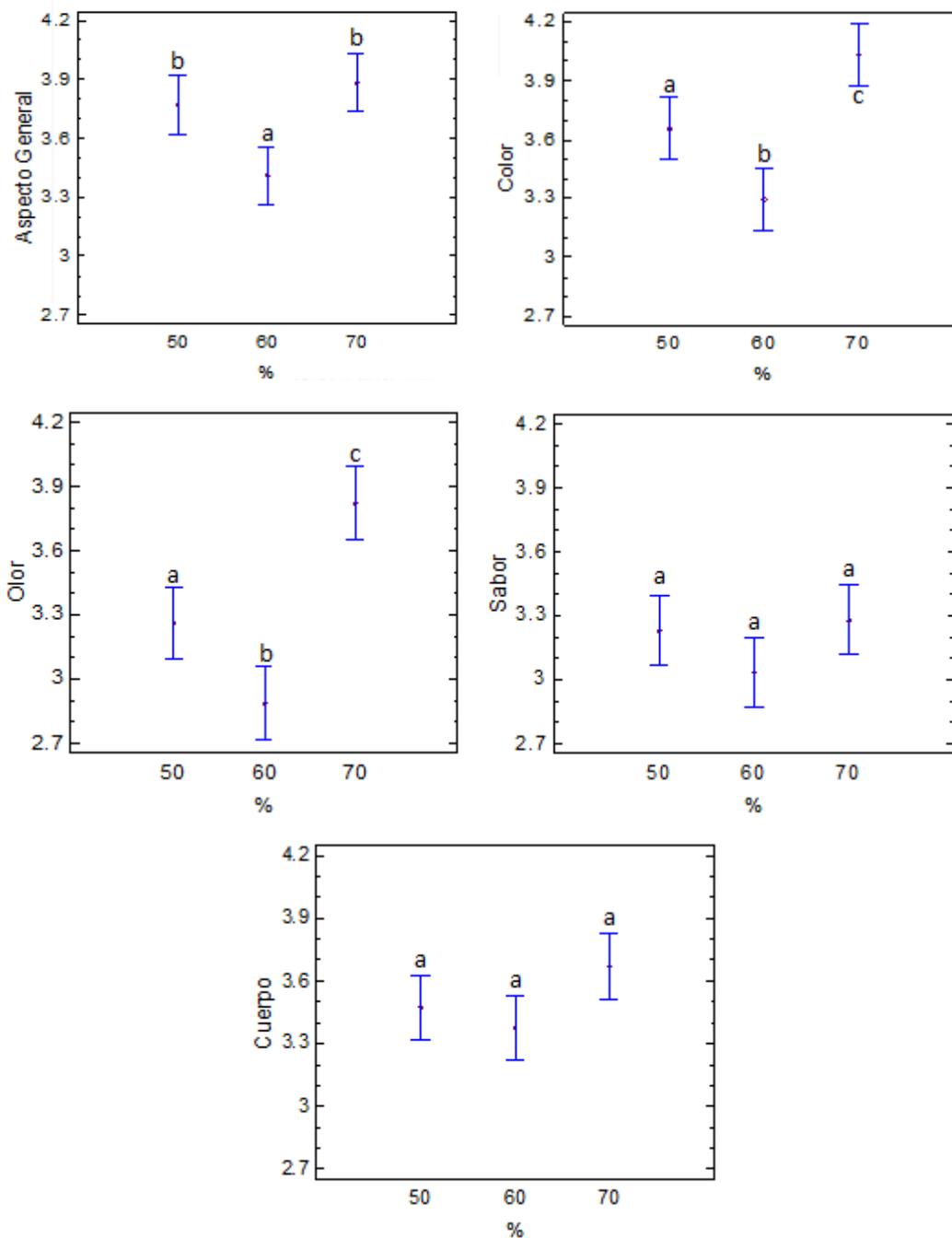


Figura 28. Gráficas (aspecto general, color, olor, sabor, cuerpo) de la prueba hedónica verbal.

Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Se realizó en la prueba de hipótesis para encontrar si existen diferencias significativas de los factores de influencia que se pueden observar en el Anexo II, estos comprueban mediante el análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples cuando existen diferencias significativas entre los factores de influencia.

El cuerpo caracteriza la consistencia de la bebida, sensación de llenura, pesadez en la boca; es el carácter y fuerza de la bebida (Marín, 2013), esta característica no afecta a la preferencia de los panelistas, por lo que la aprobación de la tisana se debe principalmente al color de la formulación con 70 % de cascarilla, el color se considera como el principal factor o el “primer filtro” para la aceptación de un alimento, el cual está relacionado con el aspecto general. El segundo factor o el “segundo filtro” para la aceptación de un alimento es el olor seguido por el sabor (Reglero, 2011).

La actividad antioxidante está influenciada por los compuestos fenólicos, los cuales son los que proporcionan el sabor y aroma en la bebida, estos compuestos están presentes en la tisana siendo la formulación de 70 % cascarilla la que recibió mayor puntuación en todos los atributos.

6. CONCLUSIONES

Los residuos de la producción del café como lo es el caso de la cascarilla actualmente se desechan, todas las muestras de cascarilla de café evaluadas cuantitativamente registraron la presencia de fenoles totales, capacidad antioxidante, de ácido clorogénico y cafeína, se pudo extraer más cafeína en la extracción con metanol ya que ha demostrado una mayor solubilidad en solventes orgánicos.

En la relación solvente: soluto, se observó que a mayor cantidad de solvente se obtiene una mayor concentración de compuestos fenólicos en disolución y de igual forma una mayor capacidad antioxidante, obteniendo la mayor concentración a una relación de 1:12. En esta cantidad de disolvente se pueden extraer más compuestos fenólicos (131.97 mg ácido gálico/g de muestra) y en consecuencia una mayor actividad antioxidante (112.34 μ mol equivalentes trolox /g).

Con el método de electroforesis capilar se logró identificar y cuantificar el ácido clorogénico presente en los extractos de la cáscara de café obteniendo un valor de 2.1 mg de ácido clorogénico/g de cascarilla.

El efecto del tipo de extracción y la temperatura en la cuantificación de fenoles totales (70.4 mg ácido gálico/g de muestra a 90 °C por el método de infusión) y capacidad antioxidante (73.02 μ mol equivalentes trolox/g de muestra a 90 °C por el método de infusión), mostro que la temperatura tiene un efecto importante en la obtención o extracción de los compuestos químicos, siendo significativamente mayor a 90°C, por otro lado el método de extracción fue un factor importante a considerar, confirmándose tanto con medidas de fenoles totales, capacidad antioxidante y las mediciones de ácido clorogénico y cafeína que el método que extrae de mejor forma los componentes de interés es la infusión.

La tisana desarrollada con 70 % de cascarilla de café fue sensorialmente aceptada principalmente por el color y el olor, los compuestos fenólicos son los responsables de proporcionar este sabor y aroma en la bebida. Los residuos generados en la producción del café pueden ser una alternativa tecnológica para el desarrollo de una bebida tipo tisana las cuales pueden emplearse como una fuente natural y segura de antioxidantes.

7. PERSPECTIVAS

Evaluar el efecto de mayores relaciones de soluto: solvente, así como un mayor tiempo de contacto para comparar el rendimiento de los parámetros determinados en este proyecto.

Evaluar el efecto del tamaño de partícula en la extracción, así como otros factores que influyen en la cinética de lixiviación como agitación constante durante la extracción.

Realizar la evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en diferentes residuos de la cafecultura, así como los parámetros sensoriales que estos podrían tener para un consumo.

Monitorear vida de anaquel en la mezcla de tisana.

REFERENCIAS

- Agüero, M., Segura, C., Parra, J. (2014). Análisis comparativo de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de cuatro marcas de tisanas de Hibiscus sabdariffa (Malvaceae) comercializadas en Costa Rica. *Revista Uniciencia*. 28 (1): 34-42.
- Alfaro, M., Rodríguez, J. (1994). Impacto ambiental del procesamiento del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 18 (2): 217-225.
- Amarowicz, R., Carle R., Dongowski G., Durazzo A., Galensa R., Kammerer D., Maiani G., Piskula M. K. (2009). Influence of Postharvest Processing and Storage on the Phenolic Acids and Flavonoids in Foods. *Molecular Nutrition and Food Research*. 53: 151-183.
- Antiasarán A. I., Martínez J. A., Muñoz M., (2000). *Alimentos: composición y propiedades*. España: McGraw-Hill.
- Braham, J.W., Bressani, R. (1978). *Pulpa de café, composición, tecnología y utilización*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Bogotá, Colombia: CIID.
- Brand, D., Pandey, A., Rodríguez, J. A., Roussos, S., Brand, I., y Soccol, C. R. (2001). Packed bed column fermenter and kinetic modeling for upgrading the nutritional quality of coffee husk in solid-state fermentation. *Biotechnology Progress*. 17: 1065–1070.
- Bravo, L. (2003). *Farmacognosia*. España: Elsevier.
- Bressani, R., Estrada, E., Jarquín. R. (1972). Pulpa y pergamino de Café I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. *Turrialba*. 22: 299-304.
- Budryn, G., Nebesny, E., Podsddek, A., Zyzelewicz, D., Materska, M., Jankowski, S. y Janda, B. (2009). Effect of different extraction methods on the recovery of chlorogenic acids, caffeine and Maillard reaction products in coffee beans. *European Food Research and Technology*. 228: 913–922.
- Carpio, A. (2015). *La electroforesis capilar como herramienta en el desarrollo de procesos analíticos para la extracción de información (bio) química en el ámbito agroalimentario*. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. España.

- Carrión, A., García, C. (2010). *Preparación de extractos vegetales: determinación de eficiencia de metódica*. Tesis de Licenciatura. Cuenca, Ecuador.
- Casares, A. (2010). *Análisis de polifenoles en los vinos mediante técnicas de separación*. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Cataldo, G. (2015). *Extracción, microbiología de las frutas y hortalizas, costos de calidad*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- Cervantes, V. (2012). *Perfil electroforético y cuantificación de polifenoles de extractos etanólicos de calendula officinalis L. e Hippocratea excelsa K.* Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Duicela, A., García J., Corral, C. R., Farfán, T. D., Fernández, F., Shiguango, D., Guamán J., (2010). *Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del café robusta*. Informe Técnico. Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC), Solubles Instantáneos (SICA).
- Dirección General de Normas NMX-F-428-1982. Alimentos. determinación de humedad (método rápido de la termobalanza). Norma Mexicana.
- Dirección General de Normas. NMX-F-103-1982. Alimentos, frutas y derivados. Determinación de grados Brix. Norma Mexicana.
- Dirección General de Normas. NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Norma Mexicana.
- El espectador (2016). El café frío está en auge en Estados Unidos, todos quieren uno. Consultado el 2 de Junio del 2018. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/el-cafe-frio-esta-auge-estados-unidos-todos-quieren-uno-articulo-634019>
- Fennema O. R., (2000). *Química de alimentos*, 2da. Edición. España: Editorial Acribia.
- Fideicomisos Instituidos en la Relación con la Agricultura (2017). *Panorama Agropecuario*, Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.
- Ferrer, P. P. (2008). *Efectos Anticancerosos de Polifenoles Naturales: Peterostilbeno y Quercetina*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. España.

- Fogliano, V., Verde, V., Randazzo, G. Ritieni, A. (1999). Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 1035-1040.
- Fonseca, L., Calderón, L., Rivera, M. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia). *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 3 (21): 228-236.
- Franco, R., Lizarraga M. A., (2015). El café es un producto de origen vegetal que presenta una serie de componentes similares a otros encontrados en frutas y verduras, en el cacao o en el té. Disponible en: http://www.infoalimentacion.com/documentos/los_componentes_del_cafe.asp
- Gatea, F., Teodor, E. D., Matei, A.O. (2015) Capillary Electrophoresis Method for 20 Polyphenols Separation in Propolis and Plant Extracts, *Food Analysis Methods* 8: 1197. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0006-5>
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3ra Edición. México: CECSA.
- Gotteland, M. y Saturnino, V. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista Chilena de Nutrición*. 34 (2): 105-115.
- Gutiérrez, A. (2002). Café, antioxidantes y protección a la salud. *Medisan*. 6 (4): 72-81.
- Guzmán, G. (2011). El mercado de las infusiones y las tisanas en México. Consejería Agrícola de Chile en México. Disponible en: <http://www.consejagri.mx/images/boletininteligenciapdf/tes%20y%20tizanas%202011.pdf>
- Hernández, E. (2005). Evaluación Sensorial, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Bogotá, D.C. Disponible en: <http://www.inocua.org/site/Archivos/libros/m%20evaluacion%20sensorial.pdf>.
- (ICO, 2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Consultado el 3 de Octubre del 2018. Disponible en: <http://www.ico.org/documents/ed1967c.pdf>
- ICO (2013). Procesamiento de campo. Consultado el 3 de Diciembre del 2017. Disponible en: http://www.ico.org/ES/field_processingc.asp

- ICO (2017). Procesamiento de campo. Consultado el 29 de Mayo del 2018. Disponible en: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-1217-c.pdf>
- ICO (2018). Procesamiento de campo. Consultado el 5 de Marzo del 2018. Disponible en: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0318-c.pdf>
- INFOASERCA (2002). Café de México: Hacia los mercados de calidad. Consultado 20 de Octubre del 2018. Disponible en: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/103/ca103.pdf>
- Lazcano, E. (2015). *Identificación de compuestos fenólicos, contenido de cafeína y actividad antioxidante en granos de café de diferentes regiones productoras*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- López, M. (2002). Formas de administración más habituales de plantas medicinales. *Revista de fitoterapia*. 21: 122-125.
- Marín, C. G., (2013). *Control de calidad del café. Manual técnico*. Lima, Peru: Desco.
- Marín, S., Arcila, J., Montoya, E., Oliveros, C. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé*, 54(4): 297-315.
- Martínez, J. (2015). *Determinación de polifenoles presentes en extracto etanólico de gobernadora (larrea tridentata) por electroforesis capilar*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mendoza, E., Calva, C., (2010). *Bromatología: composición y propiedades de los alimentos*. México: Editorial Mc-GrawHill,
- Molina, M. R., G. de la Fuente, H. Gudiel y R. Bressani. (1974). Pulpa y pergamino de café. VIII. *Turrialba*. 24 (3): 280-284.
- Muñoz, C., Chávez, R., Pavon, C., Rendon, F., Chaparro, M. (2015). Extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante a partir de Champa (*Campomanesia lineatifolia*) *Revista Cenic*.46. 38-46.
- Murthy, P., Madhava N. M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry byproducts. *Food Bioprocess Technologies*. 5 (3): 897- 903.

- Palacios, J., Sánchez, R. (2008). *Diseño, construcción y evaluación de parámetros de operación de un equipo de extracción sólido - líquido para el laboratorio de procesos unitarios*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Perú
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*. 6: 153–162.
- Penckofer, S., Schwertz, D. y Florczak, K. (2002). Oxidative stress and cardiovascular disease in type 2 diabetes: the role of antioxidants and pro-oxidants. *Journal of Cardiovascular Nursing*. 16: 68–85
- Pokorny, J., Nedyalka, Y., Gordon, M., (2001). *Antioxidantes de los alimentos (Aplicaciones prácticas)*. España: Editorial Acribia.
- Prada, R. (2010). Café, Cafeína vs. Salud. Revisión de los efectos del consumo de café en la salud. *Centro de estudios en salud*. 1 (12): 156-167.
- Puerta, I. (2011). Composición química de una taza de café. *Revista Cenicafé*.
- Puertas, M. M, Villegas, G. P., Rojano B. (2013) Borra del café colombiano (Coffea arabica) como fuente potencial de sustancias con capacidad antirradicales libres in vitro. *Revista Cubana*. 18 (3): 469-478.
- Quiñones M., M. Miguel., Aleixandre A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Revista de Nutrición Hospitalaria*. 27 (1): 76-89.
- Ramírez, C. Oliveros, C. Sanz, J. (2015). Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café. *Revista Cenicafé*. 66 (1): 46-60.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice, E. C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26 (10): 1231-1237.
- Reglero, G. (2011). *Importancia del análisis sensorial en la industria alimentaria*. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Reyes, A., Salinas, Y., Ovando, M., Arteaga, R., Martínez, M. (2015). Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de colores diversos. *Agrociencia*. 49 (3): 277-290.

- Rodarte, C., Eichholz, I., Sascha, R., Lothar, W. (2008). Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*.109: 564–572.
- Saenz, A. (1990). *El cultivo del cafeto en México*. México: Editorial La Puente.
- SAGARPA, (2017). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consultada el 5 de Marzo del 2018 Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/cafe-datos-preliminares-a-2017-indican-una-produccion-nacional-de-839-mil-toneladas>.
- Salinas M. E. (2011). *Determinación de polifenoles totales y cafeína en granos de café verde y tostado*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Salvador, A. (2014). *Determinación de cafeína por espectroscopia UV en café de grano, tostado y verde obtenida de cuatro Estados de la República*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Sánchez, A., Martínez, M., Moreno, M., Bermejo, E., Zapardiel, A. (2014). Classification of Spanish white wines using their electrophoretic profiles obtained by capillary zone electrophoresis with amperometric detection. *Electrophoresis*. 35 (11): 1693-1700.
- Sánchez, M. (2015). *El café, la cafeína y su relación con la salud y ciertas patologías*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Valladolid. España.
- Sinclair, K., Durevall, D., Otiniano, A. (2007). *Ganándose la vida con café*. Lima. Perú.
- Solís, L. D., Herrera, C. H. (2005). Desarrollo de un Método de Análisis para la Cuantificación de Ácidos Clorogénicos en Café. *Agronomía Costarricense*. 29 (2): 99-107.
- Syumey, T. (2017). *Agua en los alimentos*. Tesis de Licenciatura, Facultad de industrias alimentarias, Iquitos, Perú.
- Tagliazucchi, D., Verzelloni, E. y Conte, A. (2010). Effect of Dietary Melanoidins on Lipid Peroxidation during Simulated Gastric Digestion: Their Possible Role in the Prevention of Oxidative Damage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 2513–2519.

- Tello, J. Viguera, M. Calvo, L. (2011). Extraction of caffeine from Robusta coffee (*Coffea canephora* var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide. *J. Supercrit Fluids*. 59: 53-60.
- Valencia, N., Zambrano, F. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. Chinchiná, Colombia: *Cenicafé*. 8 p.
- Vignoli, J., Benassi. M., Bassoli. D. (2009). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee. *Food Chemistry*. 124: 863-868.
- Yanagimoto, K., Ochi, H., Lee, K.G. y Shibamoto, T. (2004). Antioxidative activities of fractions obtained from brewed coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 592–596.

ANEXOS

ANEXO I Identificación de las señales de cada compuesto en los electroferogramas usando estándares de cafeína y ácido clorogénico.

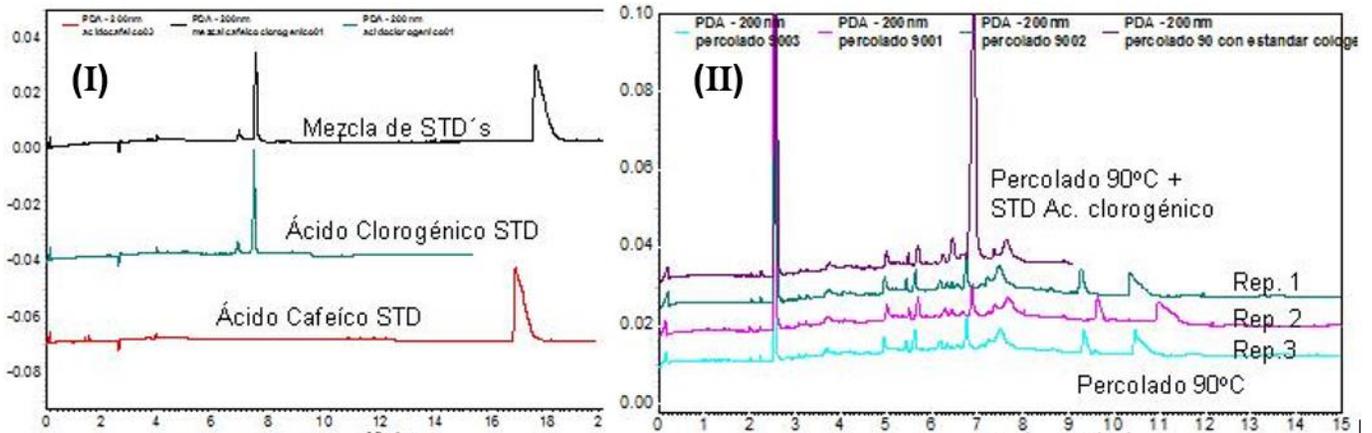


Figura 29. Electroferogramas de I) estándares y II) ejemplo de extracto de cascarilla de café obtenida por percolado a 90°C, sus 3 repeticiones y la adición de ácido clorogénico STD para su confirmación.

ANEXO II Prueba de hipótesis para encontrar si existen diferencias significativas de los factores de influencia

a) **Contenido de ácido Clorogénico vs Temperatura**

$$H_0 = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 25} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 70} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 80} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 90}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{ácido clorogénico}} \text{ es } \neq \text{ a la temperatura}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg ácido clorogénico por g cascarilla vs Temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.48786	3	1.16262	3.57	0.0361
Intra grupos	5.53263	17	0.325449		
Total (Corr.)	9.02049	20			

Prueba de rango múltiple para mg ácido clorogénico por g cascarilla vs Temperatura

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
25 - 70		-0.411786	0.851082
25 - 80		-0.571436	0.851082
25 - 90	*	-1.20609	0.851082
70 - 80		-0.15965	0.694906
70 - 90	*	-0.794307	0.694906
80 - 90		-0.634657	0.694906

* indica una diferencia significativa.

b) Contenido de ácido Clorogénico vs Tipo de Extracción

$$H_0 = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico MeOH}} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico infusión}} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico percolado}}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{ácido clorogénico}} \text{ es } \neq \text{ al tipo de extracción}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg ácido clorogénico por g cascarilla vs Tipo de Extracción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.77869	2	1.88935	6.49	0.0076
Intra grupos	5.2418	18	0.291211		
Total (Corr.)	9.02049	20			

Prueba de rango múltiple para mg ácido clorogénico por g cascarilla vs Tipo de Extracción

Contraste	Si g.	Diferencia	+/- Límites
MeOH - infusión	*	-1.09562	0.755829
MeOH - percolado		-0.363921	0.755829
infusión - percolado	*	0.7317	0.534452

* indica una diferencia significativa.

c) Contenido de Cafeína vs Temperatura

$$H_0 = \bar{X}_{\text{cafeína } 70} = \bar{X}_{\text{cafeína } 80} = \bar{X}_{\text{cafeína } 90}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{cafeína}} \text{ es } \neq \text{ a la temperatura}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg Cafeína por g cascarilla vs Temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.20784	3	0.735946	3.41	0.0474
Intra grupos	3.02181	14	0.215844		
Total (Corr.)	5.22965	17			

Prueba de rango múltiple para mg Cafeína por g cascarilla vs Temperatura

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
70 - 80		-0.0467938	0.643205
70 - 90	*	-0.7617	0.603379
80 - 90	*	-0.714906	0.668438

* indica una diferencia significativa.

d) Contenido de Cafeína vs Tipo de Extracciones

$H_0 = \bar{X}_{\text{cafeína MeOH}} = \bar{X}_{\text{cafeína infusión}} = \bar{X}_{\text{cafeína percolado}}$

$H_1 =$ al menos una de las $\bar{X}_{\text{cafeína}}$ es \neq al tipo de extracción

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg Cafeína por g cascarilla vs Tipo de extracción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.549293	2	0.274646	0.88	0.4351
Intra grupos	4.68036	15	0.312024		
Total (Corr.)	5.22965	17			

Prueba de rango múltiple para mg Cafeína por g cascarilla vs Tipo de extracción

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MeOH - infusión		0.261496	0.8216
MeOH - percolado		0.485175	0.806047
Infusión - percolado		0.223679	0.6162

* indica una diferencia significativa.

e) Contenido de ácido Clorogénico vs % Cascarilla

$$H_0 = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 50\%} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 60\%} = \bar{X}_{\text{ácido clorogénico } 70\%}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{ácido clorogénico}} \text{ es } \neq \text{ al \% cascarilla}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg ácido clorogénico por g cascara vs % Cascarilla

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0174001	2	0.00870004	0.16	0.8594
Intra grupos	0.33579	6	0.0559649		
Total (Corr.)	0.35319	8			

Prueba de rango múltiple para mg ácido clorogénico por g cascara vs % Cascarilla

Contra- ste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
50 - 60		- 0.0764182	0.472641
50 - 70		-0.103938	0.472641
60 - 70		- 0.0275194	0.472641

* indica una diferencia significativa.

f) Contenido de Cafeína vs % Cascarilla

$$H_0 = \bar{X}_{\text{cafeína } 50} = \bar{X}_{\text{cafeína } 60} = \bar{X}_{\text{cafeína } 70}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{cafeína}} \text{ es } \neq \text{ al \% cascarilla}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para mg Cafeína por gramo Cascarilla vs % Cascarilla

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.90351	2	0.451755	3.65	0.0916
Intra grupos	0.741783	6	0.12363		
Total (Corr.)	1.64529	8			

Prueba de rango múltiple para mg Cafeína por gramo Cascarilla vs % Cascarilla

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
50 - 60	*	-0.736117	0.702484
50 - 70		-0.155092	0.702484
60 - 70		0.581024	0.702484

* indica una diferencia significativa.

g) Prueba hedónica verbal vs porcentajes de cascarilla

$$H_0 = \bar{X}_{\text{aspecto general } 50\%} = \bar{X}_{\text{aspecto general } 60\%} = \bar{X}_{\text{aspecto general } 70\%}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{aspecto general}} \text{ es } \neq \text{ al \% cascarilla}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para aspecto general vs % Cascarilla

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.5082	2	3.7541	5.55	0.0046
Intra grupos	121.738	180	0.676321		
Total (Corr.)	129.246	182			

Prueba de rango múltiple para aspecto general vs % Cascarilla

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
50 - 60	*	0.360656	0.293836
50 - 70		-0.114754	0.293836
60 - 70	*	-0.47541	0.293836

* indica una diferencia significativa.

$$H_0 = \bar{X}_{\text{color } 50\%} = \bar{X}_{\text{color } 60\%} = \bar{X}_{\text{color } 70\%}$$

$$H_1 = \text{al menos una de las } \bar{X}_{\text{color}} \text{ es } \neq \text{ al \% cascarilla}$$

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para color vs % Cascarilla

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	16.6011	2	8.30055	10.64	0.0000
Intra grupos	140.393	180	0.779964		
Total (Corr.)	156.995	182			

Prueba de rango múltiple para color vs % Cascarilla

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
50 - 60	*	0.377049	0.342102
50 - 70	*	-0.557377	0.342102
60 - 70	*	-0.934426	0.342102

* indica una diferencia significativa.

$$H_0 = \bar{X}_{olor\ 50\%} = \bar{X}_{olor\ 60\%} = \bar{X}_{olor\ 70\%}$$

$H_1 =$ al menos una de las \bar{X}_{olor} es \neq al % cascarrilla

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para olor vs % Cascarilla

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	26.9617	2	13.4809	14.70	0.0000
Intra grupos	165.016	180	0.916758		
Total (Corr.)	191.978	182			

Prueba de rango múltiple para olor vs % Cascarilla

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
50 - 60	*	0.377049	0.342102
50 - 70	*	-0.557377	0.342102
60 - 70	*	-0.934426	0.342102

* indica una diferencia significativa.

$$H_0 = \bar{X}_{sabor\ 50\%} = \bar{X}_{sabor\ 60\%} = \bar{X}_{sabor\ 70\%}$$

$H_1 =$ al menos una de las \bar{X}_{sabor} es \neq al % cascarilla

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para sabor vs % Cascarilla

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.06557	2	1.03279	1.25	0.2896
Intra grupos	148.984	180	0.827687		
Total (Corr.)	151.049	182			

Prueba de rango múltiple para sabor vs % Cascarilla

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
50 - 60		0.196721	0.325059
50 - 70		-0.0491803	0.325059
60 - 70		-0.245902	0.325059

* indica una diferencia significativa.

$$H_0 = \bar{X}_{cuerpo\ 50\%} = \bar{X}_{cuerpo\ 60\%} = \bar{X}_{cuerpo\ 70\%}$$

$H_1 =$ al menos una de las \bar{X}_{cuerpo} es \neq al % cascarilla

Se acepta H_0 si la probabilidad $P > 0.05$ obtenida de la tabla de ANOVA

Tabla ANOVA para cuerpo vs % Cascarilla

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.7541	2	1.37705	1.81	0.1667
Intra grupos	136.984	180	0.76102		
Total (Corr.)	139.738	182			

Prueba de rango múltiple para cuerpo vs % Cascarilla

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
50 - 60		0.0983607	0.311693
50 - 70		-0.196721	0.311693
60 - 70		-0.295082	0.311693

* indica una diferencia significativa.