



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**POSIBLES USOS DE LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ EN
ALIMENTACIÓN HUMANA. FUENTE DE FIBRA Y ANTIOXIDANTES.**



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

MARA KARINA CEDILLO MARTÍNEZ



MÉXICO, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



Jurado Asignado

Presidente	FRANCISCA AIDA ITURBE CHIÑAS
Vocal	MARCOS FRANCISCO BAEZ FERNANDEZ
Secretario	HUGO RUBEN CARREÑO ORTIZ
1 er Suplente	LILIANA ROCIO GONZÁLEZ OSNAYA
2 do Suplente	BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN

Sitio donde se desarrollo el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología

Laboratorio. 322-323 Conjunto E, Facultad de Química UNAM.

Asesor del tema:

M.C. FRANCISCA AIDA ITURBE CHIÑAS _____

Supervisor técnico:

Q.F.B. BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN _____

Sustentante:

MARA KARINA CEDILLO MARTÍNEZ _____



AGRADECIMIENTOS.

A mi alma mater la **UNAM** que me llena de orgullo y honor.

Ser parte de la UNAM es un sueño que te llena de AMOR, te introduce a una simetría oculta donde con LÓGICA e inteligencia hallas respuestas; conoces la AMISTAD y la humanidad, pudiendo llegar al paraíso sin necesidad del poder y donde al culminar este SUEÑO inician muchos más...

A la **Facultad de Química** donde viví la mejor etapa de la vida y donde me introduje al mundo de “los buenos y los mejores”.
Gracias por darme tanto.

Agradezco a los maestros del jurado que me apoyaron con la revisión y tiempo en la elaboración de este trabajo.

A mi querida maestra Julieta Sandoval quien me dio luz y guía para encontrar el camino final de este sueño; a quien le brindo toda mi confianza y amistad para la vida.
Gracias Totales!!

A la M.C. Francisca Iturbe por brindarme el apoyo, tiempo y confianza de trabajar con usted y por los buenos momentos vividos.



A mis papás por la vida, por tanto esfuerzo para darme lo mejor, por dejarme ser siempre libre, aprender con mi espacio, lógica y criterio y por siempre estar conmigo. Sin ustedes la vida no tendría el mismo sentido, son y serán mi enzima en la vida; los Amo.

A mi hermana que siempre me mostro el camino tal vez yo tomaba otras rutas, pero estoy segura que hay muchas intersecciones y lo importante es caminar juntas. Extiendo el agradecimiento a Toño por ser parte de mi familia y por las dos vidas que llenan de ternura, alegría, fuerza, inocencia y canas mi vida
Victoria y Santiago.

A Jorge Richo por ser un hombre inteligente, lógico que me apoya en todo momento; tú me ayudaste a organizar la entropía en que vivía. Sin ti esto no sería lo mismo. Vivamos la vida para ser felices. Te amo.

A mi abuelita Berenice de quien admiro la prudencia, fuerza para trabajar y salir adelante y esa bellisima vanidad que siempre la levanta.

A todos mis familiares sin excluir a nadie, gracias por su apoyo a lo largo de mi vida. En especial a mis padrinos Rodolfo y Ludivina por estar siempre pendientes de mi y por sus consejos; Oscar Cortez y Gilberto Cantabrana por el cariño y confianza; Tia Gaby por ser el refugio desde siempre y a mi tío Elí por estar siempre presente; se que donde estas te sientes orgulloso y feliz.



A mis amigos que sin ellos la vida no tendría tan buen sabor

En especial a los Chemical Brothers (Hugo, Chuchus, Andrea, Mirna, Iraís, Octavio, Moni, Valeria, Gustavo, Isaac, Iván, Miguel, Lencho, Ricardo y Paco) con ustedes disfrute, viaje, reí, llore, cante baile y también a veces estudie. Los quiero con toda el alma y corazón Azul y con la piel dorada.

A Velia por quien me siento afortunada en esta vida ya que tengo a mi lado en todo momento una persona positiva, feliz casi de tiempo completo y muy tenaz. Gracias por tantos años de gozo y que siga la mata dando.

A Ana Hesselbart con quien aprendí desde los 10 años el verdadero honor de la amistad y de quien admiro su fuerza, inteligencia y creatividad.

A mi hermano Hugo con quien viví cada momento de la carrera, sé que estarás siempre conmigo, te quiero amigo.

A mis amigos y compañeros del laboratorio con quienes comparto muy buenos momentos y de quienes he aprendido mucho. (Marcos, Daniela, Karla, Jessica, Marisol, Francisco y SacNikte)

A mis “cuatro fantásticos” y Abril por demostrarme y enseñarme la lealtad, nobleza y fidelidad.

 **ÍNDICE GENERAL**

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO.....	12
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1 Café.....	13
1.1.2 Aspectos económicos del café.....	17
1.2 Cultivo del café.....	19
1.3 Componentes estructurales del fruto del café.....	19
1.4 Variedades más importantes.....	21
1.5 Cosecha del café.....	24
1.6 Proceso de industrialización.....	25
1.6.1 Beneficio húmedo.....	26
1.6.1.1 Despulpado.....	27
1.6.1.2 Eliminación del mucílago:.....	27
1.6.1.3 Lavado.....	29
1.6.1.4 Secado.....	29
1.6.2 Beneficio seco.....	30
1.6.3 Torrefacción o tostado del café.....	31
1.7 Composición de los residuos y subproductos en la industrialización del café.....	34
1.7.1 Pulpa de café.....	35
1.7.2 Mucílago del café.....	36



1.7.3 El pergamino.....	37
1.7.4 La Borra.	38
1.8 Fibra Dietética.	40
1.8.1Definición.....	41
1.8.2 Componentes químicos de la fibra.	41
1.8.2.1 Celulosa.	42
1.8.2.2 Pectinas.....	42
1.8.2.3 Lignina.....	43
1.8.2.4 Mucilagos.	43
1.8.3 Efectos fisiológicos de la fibra.	44
1.8.4 Recomendaciones de ingesta de fibra dietética.	44
1.9 Principales componentes químicos del café.	44
1.10 Compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.	45
1.10.1 Estructura de los compuestos fenólicos	46
1.10.2 Compuestos fenólicos en el café.....	48
1.10.3 Actividad biológica de los compuestos fenólicos.	49
2. Metodología.	51
2.1 Diagrama general de la investigación.	51
2.2 Caracterización química de los residuos.	51
2.2.1 Recolección y estabilización de residuos	51
2.2.2 Caracterización composicional de los residuos y producto elaborado.....	52



2.2.3 Caracterización de la fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble:.....	52
2.2.4 Extracción y determinación del contenido de polifenoles totales	53
2.2.5 Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos.	54
2.2.5.1 Capacidad secuestrante sobre el radical 1,1-Difenil-2-picrilhidrazil (DPPH).	54
2.2.5.2 Capacidad secuestrante sobre el radical Ácido 2,2'- azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) ABTS ⁺	54
2.3 Evaluación de las propiedades funcionales de la fibra dietética.....	55
2.3.1 Capacidad de retención del agua.....	55
2.3.2. Capacidad de retención de aceite.	55
2.4 Desarrollo de alimentos adicionados con los residuos del café.	55
2.4.1 Selección de producto a elaborar y residuos que se emplearán.....	55
2.4.1.1 Formula patrón para elaboración de galletas.	56
2.4.2 Proceso de elaboración de las galletas.	57
2.4.2.1 Diagrama de elaboración de galletas.....	57
3. Resultados y discusión.	60
3.1 Determinación de composición química de los residuos de café.	60
3.2 Caracterización de la fibra.	62
3.3. Evaluación de actividad antioxidante.	65
3.3.1 Actividad antioxidante	66
3.3.2 Capacidad secuestrante sobre el radical (DPPH●).....	67
3.3.3 Capacidad secuestrante sobre el radical ABTS ⁺	68
3.4 Evaluación de propiedades funcionales.....	70



3.5 Residuos del café a emplear.	72
3.6. Desarrollo de productos con residuos de café.	72
3.6.1 Formulación.	72
3.6.2 Determinación de composición química de la galleta con y sin adición de los residuos de café.	73
3.6.3 Caracterización de la fibra.	75
3.6.4 Evaluación de actividad antioxidante.	76
3.6.4.1 Capacidad secuestrante sobre el radical (DPPH*) (Siddhuraju <i>et al</i> , 2002)	76
3.6.4.2 Capacidad secuestrante sobre el radical ABTS ⁺	77
CONCLUSIONES.	79
Anexo (Metodologías)	81
Contenido en fibra dietética total, soluble e insoluble.	81
Determinación de polifenoles totales. (Matthaus, 2002)	82
Capacidad de retención de agua.	82
Capacidad de adsorción de Aceite.	83
Bibliografía.	84



INTRODUCCIÓN

En los países productores de café, los residuos y subproductos del café constituyen una fuente de grave contaminación. Por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se han tratado de desarrollar métodos para utilizarlos como materia prima en una gran variedad de industrias, como la producción de piensos, bebidas, vinagre, biogas, cafeína, pectina, enzimas pécticas, proteína, y abono, entre otros.

En la industria del café, solamente se utiliza el 6.4% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, cómo se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización del café cereza

Proceso	Pérdida (%)	Residuo obtenido
Despulpado	39.4	Pulpa fresca
Extracción de mucilago	21.6	Mucilago
Trilla	3.5	Pergamino
Secado	17.1	Agua
Torrefacción	2.2	Volátiles
Preparación de la bebida	10.4	Borra
Total	94.2	

Nota: Los residuos marcados con negritas son los más abundantes.

Algunos componentes detectados en los subproductos son las pectinas, en la pulpa fresca y mucilago; celulosa, hemicelulosas y lignina en el pergamino y la borra y polifenoles, antocianinas, proantocianinas, cafeína y ácidos clorogénicos en prácticamente todos los residuos y subproductos.

Por otro lado, las recomendaciones, constantes, de aumentar el consumo de fibra dietética (28-35 g día), por sus beneficios en la salud, han llevado a buscar nuevas fuentes de este



componente o a diseñar nuevos alimentos que con una mayor aceptación, contribuyan a aumentar la ingesta diaria recomendada de fibra dietética.

Entre las fuentes de fibra dietética que se pueden utilizar, se encuentra la industria cafetalera. Los residuos y subproductos son deshidratados para su conservación y posterior uso, permitiendo aprovechar características de interés como, un bajo contenido de lípidos y carbohidratos asimilables, un alto contenido de fibra dietética, un bajo aporte calórico, así como una interesante capacidad de mantener la humedad de los alimentos a los que se incorpora y reducir el contenido de grasas y calorías.

También se puede aprovechar la actividad antioxidante de algunos de los metabolitos detectados en el café y sus subproductos, como los polifenoles y ácidos clorogénicos, para dar valor agregado a estos desechos.

**OBJETIVO.**

Caracterizar fisicoquímicamente los principales residuos y subproductos generados en el beneficio húmedo del café y posteriores a la extracción, para emplearlos como fuente de fibra y antioxidantes en alimentos.



1. MARCO TEÓRICO

1.1 Café.

Es la semilla del árbol del cafeto. Pertenece a la familia de las Rubiáceas y su género es *Coffea*, existen tres especies *Coffea arabica*, *Coffea canephora* y *Coffea libérica*. En México se cultivan comercialmente dos especies de café, siendo estas: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. La primera es de mayor importancia por su calidad, valor en el mercado nacional e internacional y extensión territorial, ya que en México ocupa poco más del 97% de la superficie cafetalera y a nivel mundial se estima que ocupa el 70 %, en tanto que la especie *C. canephora*, se ubica en el resto de la superficie en México y el 30% a nivel mundial. Hay quienes a estas dos especies las identifican como (tipo arábica y tipo robusta) respectivamente.

La palabra café se deriva del árabe KAHWAH (caua) que significa “estimulante”, término que se extendió a través del vocablo turco KAHWEH (que significa bebida) y que los pueblos que adoptaron esta infusión fueron adaptándolo a su pronunciación (café en francés, español y portugués, coffee en inglés, caffè en italiano, Kave en húngaro, Kia Fey en chino).

Con el nombre de café (café en grano) se designan las semillas de las plantas del género *Coffea* desprovista por completo de sus vainas y de sus tegumentos (tejido vegetal), en estado crudo (café crudo) o tostado, enteras o molidas; también se llama café a la bebida preparada con estas semillas. (Belitz, Grosh, & Schieberle, 2004) En la Figura 1 se observa el café en sus diferentes etapas: café cereza, café tostado y la bebida llamada café.



Figura 1 Ilustración del café



1.1.1 Historia y Generalidades del café.

La historia más aceptada del descubrimiento del café y la bebida del café es la que hace referencia a un pastor llamado Kaldi. La cual dice que al darse cuenta del extraño comportamiento de sus cabras después de que habían comido la fruta y las hojas de cierto arbusto, las cabras estaban saltando muy alteradas y llenas de energía; el arbusto del que el pastor pensó que sus cabras habían comido tenía frutas parecidas a las cerezas. Decidió probar las hojas del arbusto y un rato después se sintió lleno de energía, llevó algunos frutos y ramas de ese arbusto a un monasterio, allí le contó al Abad la historia de las cabras y de como se había sentido después de haber comido las hojas. El Abad cocino las ramas y las cerezas; el resultado fue una bebida muy amarga que él tiró al fuego, cuando las cerezas cayeron en las brazas empezaron a hervir, las semillas verdes que tenían en su interior produjeron un delicioso aroma que hicieron que el Abad pensara en hacer una bebida basada en el café tostado, y es así como la bebida del café nace.

El café fue descubierto en el siglo XV, en los territorios de África oriental que hoy ocupan Etiopía y Sudán como se ilustra en la Figura 2, específicamente en la región conocida como Abisinia. De estas regiones pasó rápidamente a Yemen, país del sur de Arabia en donde su cultivo alcanzó tal desarrollo que se llegó a creer que era originario de esa región. El propio Carlos de Linneo (autor de una clasificación de plantas), llamó a ésta *Coffea arábica*. Los turcos que durante muchos años dominaron en Arabia, llamaron cahvé al cocimiento de sus granos. (CECAFE, 2008)

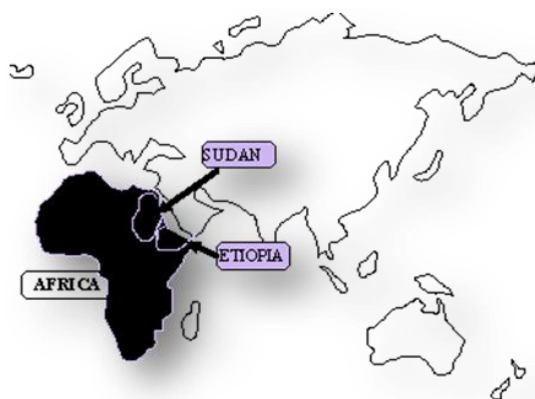


Figura 2. Países de origen del café (CECAFE, 2008)



En el siglo XVI el cultivo del café se difundió por otros países de África y Asia. A principios del siglo XVII fue introducido a Europa por venecianos y holandeses, que sostenían un importante tráfico marítimo con los otomanos, yendo a la ciudad de Constantinopla. En 1699 llegaron algunos cafetos a Holanda, mismos que fueron plantados en un jardín botánico de Ámsterdam, de donde, se cree, pasaron a Francia alrededor de 1713.

Al continente americano el café llegó en el siglo XVII, cuando, entre 1718 y 1720 los holandeses lo introdujeron a las Guayanas holandesa y francesa.

Posteriormente una planta fue llevada a la isla antillana de Martinica y de allí se distribuyó por las Antillas mayores, Centroamérica y México. Igualmente, de la Guyana francesa fue llevado en 1727 a Brasil, introduciéndose por la provincia de Pará, de donde se extendió a otras provincias; sin embargo fue hasta 1820 cuando se intensificó el cultivo y comenzó a ser la principal riqueza de ese país. Actualmente la región de Latinoamérica es la mayor productora mundial de café, encabezada por Brasil.

El grano se produce en 56 países tropicales y se consume en todo el mundo, principalmente en las zonas templadas y frías. Tres países (Brasil, Colombia e Indonesia) aportan poco más del 50% de la producción mundial.

El cultivo del café en México cumple dos siglos. En 1796 se introdujeron los primeros cafetos a la región de Córdoba y Coatepec. Con el tiempo estos cafetos se extendieron a otras regiones del país junto con la tecnología usada en el cultivo, cosecha y beneficio. (Ver Fig. 3). (CECAFE, 2008)



Figura 3. Cafetaleros de Coatepec Veracruz.



En el periodo porfirista esta actividad económica comenzó a tener mayor importancia. En esta época el principal productor fue el estado de Veracruz, seguido por Colima, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Tabasco; también el cultivo se extendió por otros estados del país entre los que destacan Jalisco y Nayarit.

Actualmente las regiones cafetaleras se concentran en cuatro zonas (Ver Fig. 4): las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro-Norte y la del Soconusco (en el sureste mexicano, principalmente Chiapas,); en conjunto abarcan 398 municipios en los 12 estados productores. Actualmente el estado de Chiapas es el mayor productor de café en México.



Figura 4. Estados productores de café en México.

Se afirma que la primera exportación de café mexicano se realizó en 1803 y fue de 210 sacos o quintales; pero hasta 1882 México pasó a formar parte de los países exportadores, al exportar 70 mil sacos. A principios del siglo XX, durante y después de la revolución mexicana, la importancia económica de la producción cafetalera fue creciendo. Se produjeron 675,000 sacos; los principales compradores eran Estados Unidos, Alemania, España y Portugal, entre otros. De 1911 a 1915 las exportaciones alcanzaron un volumen cercano a las 116,000 toneladas (1.93 millones de sacos de 46 kg llamados quintales.) enviadas en un 72.4% a Estados Unidos.



A la fecha el grano del cafeto es considerado como un producto básico con una importancia singular para la economía de nuestro país, siendo nuestro país el principal productor mundial de café orgánico. (CECAFE, 2008)

1.1.2 Aspectos económicos del café.

En la actualidad, la importancia del café en la economía no puede subestimarse, pues durante años ha sido el segundo rubro, por detrás del petróleo, a escala mundial, sin contar los millones de personas que de forma directa o indirecta sobreviven gracias al cultivo y beneficio del café. Las exportaciones de café, en algunos de los países menos desarrollados, pueden significar el 80% o más de sus entradas de divisas. (Oxfam, 2002)

En la figura 5 se muestran los principales productores de café a nivel mundial y se aprecia mejor el porcentaje de producción que tiene México (3.7%) siendo relativamente bajo ya que nuestro país cuenta con las condiciones climatológicas adecuadas para una mayor producción; este problema pudiera estar relacionado con la falta de apoyos, de infraestructura, una ineficaz distribución y falta de aplicación de tecnología; también pudiera verse influencia ya que los cafetaleros mexicanos se enfocan mas a la producción de café orgánico como se mencionó anteriormente, México es el mayor productor de este café orgánico, con una superficie de 82,816 hectáreas que rinden 576, 410 sacos. En Chiapas y Veracruz principalmente se está buscando la certificación de plantaciones orgánicas para así darle un valor agregado al producto obtenido y tener más beneficios en el momento de la exportación.

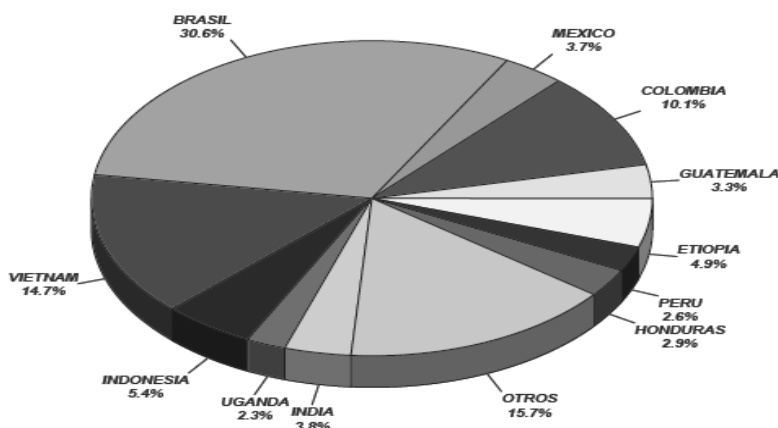


Figura 5. Principales productores de café a nivel mundial. (Aserca-DGOF-DAEM, 2008)



A pesar de que el comercio mundial del café ha crecido, las exportaciones mexicanas se han mantenido estables. El USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) estima que las ventas al exterior sean de 2.73 millones de sacos, siendo Estados Unidos el principal destino, seguido por Alemania y Bélgica.

Industriales nacionales señalan que países como Estados Unidos y Alemania compran grano verde mexicano, le dan un valor agregado (clase, tostado y empaque) y lo reexportan de nuevo a México. (Aserca-DGOF-DAEM, 2008)

Como se muestra en la Figura 6 el consumo de café en México va en aumento debido a que los industriales están impulsando fuertemente la promoción de mezclas nacionales y de “bebidas funcionales” (café fortificado a base de ácido fólico, hierro y calcio, café inmunológico adicionado con zinc, la planta uña de gato y ginkgo biloba, café metabólico que gracias a la mezcla con té verde y zinc ayuda a estimular el buen desempeño físico) (El Financiero, 2011) también por el aspecto social que involucra una taza de café y por las opciones que se brindan en las cafeterías actuales (librería-café, ciber café, bar-café, cine-café).

La apertura y crecimiento de negocios de café orientados a jóvenes y universitarios se ha convertido en una empresa rentable, atrayendo la inversión nacional y extranjera. Esto se ve reflejado en una mayor demanda, mayor producción y por ende mayor cantidad de residuos.

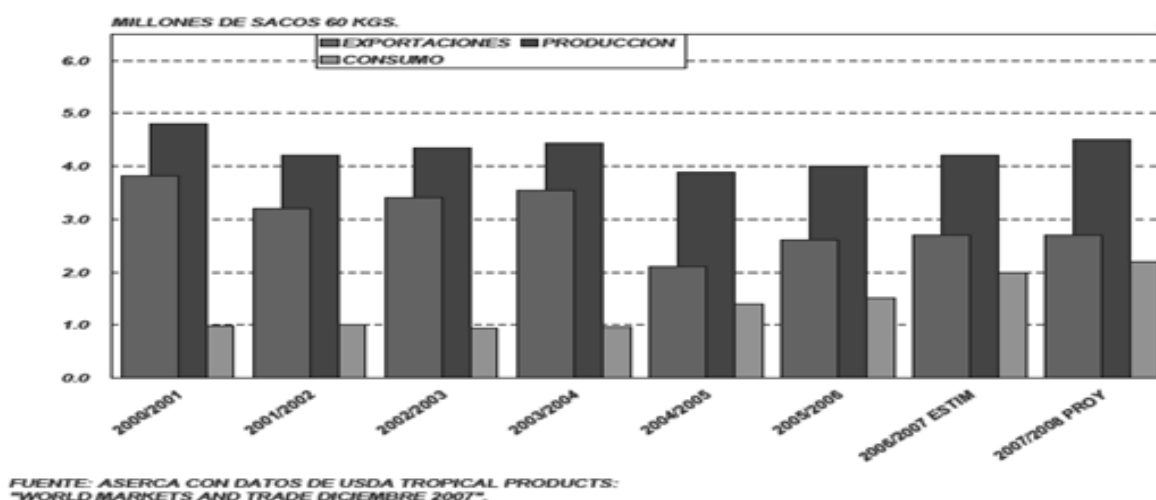


Figura6. Producción, exportación y consumo de café en México (Aserca-DGOF-DAEM, 2008)



En resumen el café hace 30 años era una de las principales mercancías de exportación y uno de los generadores de divisas más importantes en materia agrícola; en la actualidad la situación ha cambiado convirtiéndose en una actividad de poco valor; teniendo un desplome cayendo su rendimiento en un 50% respecto a los años de mayor abundancia.

Actualmente los costos son favorable a nivel mundial ya que alcanzan casi 300 dólares por quintal; pero en México se ha tenido un retroceso e inestabilidad a nivel de exportación ya que cada vez se exige más en materia de calidad y se ha tenido un avance lento. (Akaki, 2012)

1.2 Cultivo del café.

La planta que produce el café es un arbusto tropical del genero *Coffea*, mide 3 m. de alto en el caso de la especie Arábica. Esta especie es cultivada en climas tropicales; debe existir una estación seca para permitir la floración y esta posteriormente dará inicio al fruto; se requieren también altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1800 m. las mejores calidades de café se producen a una elevación considerable, entre los 1000 y los 1200 m.

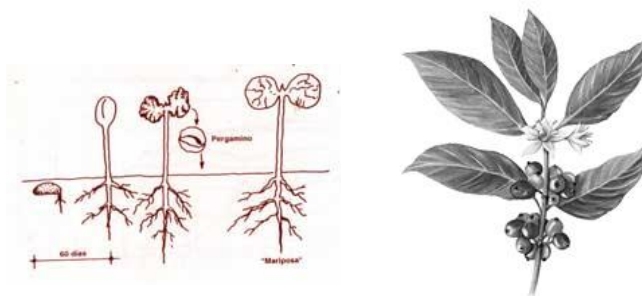


Figura 7. Planta de café. (Wageningen University, 2010)

El fruto del café es estacional, ya que su recolección se lleva a cabo a los ocho meses a partir de su floración. Sus flores blancas (Ver Fig.7) son hermafroditas y se reúnen en la axila de la hoja; éstas producen un fruto ovalado carnososo que encierra una semilla formada por dos núcleos delgados que son convexos hacia fuera y planos hacia dentro (Ortega Posadas, 2010)

1.3 Componentes estructurales del fruto del café.

Las partes que componen al fruto del cafeto son las siguientes y se ilustran en la Figura 8.



Epicarpio o piel (7): Los colores que va tomando desde su etapa juvenil hasta su maduración, son los siguientes: verde, amarillo, rosado y rojo (algunas veces amarillo(*caturra amarillo*)).

Mesocarpio (6): Es la parte carnosa del grano, la cual está compuesta por pectinas y azúcares, comúnmente se les denomina mucílago.

Endocarpio o pergamino (4): Esta es la capa protectora de la semilla, compuesta por celulosa, cuando el proceso ha sido el correcto para la cereza, este es de color amarillo pajizo.

Endospermo o semilla (2): Es el grano desprovisto de todas sus capas (cubiertas); es denominado café verde u oro cuando éste ya ha sido procesado.

Embrión o germen: Es la planta en estado latente la cual se encuentra alojada en una de las extremidades de la semilla.

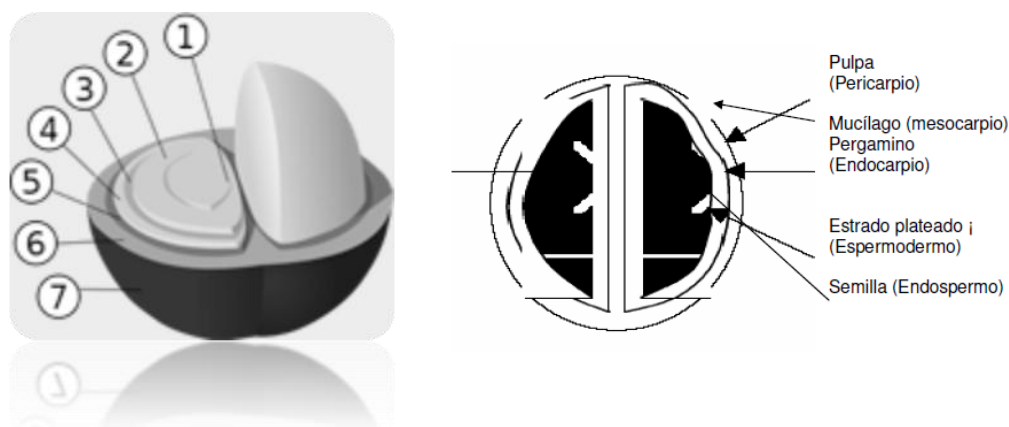


Figura 8. Estructura del fruto y grano de café. (www.territorioscuola.com)

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Corte central | 5. Capa de pectina |
| 2. Grano de café (endospermo) | 6. Pulpa (mesocarpio) |
| 3. Piel plateada (tegumento) | 7. Piel exterior (epicarpio) |
| 4. Pergamino (endocarpio) | |



1.4 Variedades más importantes.

En México la producción cafetalera se compone en 97% de café de la especie arábica cuyas principales variedades son *typica*, *bourbon*, *maragogipe*, *caturra*, *mundo novo*, *garnica*, *catuai* y *catimor*, el 3% restante corresponde a variedades de la especie robusta. En la tabla 2 se detallan las variedades de café preferentemente cultivadas en las diversas regiones del país.

TABLA 2. Variedades de café y regiones donde se cultivan.

REGION	VARIEDADES CULTIVADAS
Xicoteppec de Juárez, Puebla.	Caturra rojo, mundo novo, garnica, catuai, catimor, pacamara
Cuetzalán, Puebla.	Typica, caturra, mundo novo, bourbon, garnica, pacamara, garnica enano
Zona central de Veracruz.	Typica, caturra, garnica, bourbon, mundo novo
Selva lacandona y norte de Chiapas	Bourbon, mundo novo, typica, caturra, garnica
Soconusco, Chiapas.	Bourbon, catuaí, caturra, mundo novo, typica, catimor
Istmo, Oaxaca.	Typica, bourbon, garnica, caturra, mundo novo
Pluma Hidalgo y Pochutla, Oaxaca.	Typica, caturra, bourbon, mundo novo, pluma hidalgo, catuaí, garnica, pacas
Atoyac de Alvarez, Guerrero.	Typica, garnica, bourbon, caturra, mundo novo



El 81% de los cafeticultores mexicanos utilizan la variedad *Arábica typica*, la cual recibe diferentes nombres, dependiendo de las regiones productoras, como son arábigo, criollo, corriente, y nacional (tiene alta producción, adaptabilidad y se tiene buena calidad de la bebida). El segundo lugar lo ocupa la variedad *bourbon* cultivada por el 38% de los productores, luego se encuentra la *mundo novo* por el 27%, la *caturra rojo* por el 20% y la *caturra amarillo* por el 15%. Con frecuencia los productores plantan más de una variedad en sus parcelas, estas son diferenciadas por la gente del campo, principalmente por la forma de las hojas y por el tamaño de las matas. (CAFÉ, 2010)

Respecto a la edad de los cafetales, en México las tierras plantadas con cafetos tienen entre 50 y 70 años de explotación cafetalera después de este tiempo es recomendable un cambio de cultivo o abono constante sin siembra.

En los últimos años se ha incrementado la población de cafetos por hectárea. Según el censo cafetalero del Instituto Mexicano del Café se registra una media nacional de 1466 cafetos por hectárea lo que da un total aproximado de 820 millones de plantas en el país con esto se trata de evidenciar la riqueza de la tierra mexicana pero también la enorme responsabilidad que se tiene con tanta producción de desechos o subproductos.

Por lo que corresponde a la infraestructura agroindustrial, en el país se cuenta con 1982 beneficios húmedos y 445 instalaciones para beneficiado seco, con una capacidad instalada de 135,403 quintales por día en el proceso húmedo y 168,662 quintales por día en el seco. La capacidad instalada de beneficios se encuentra distribuida preferentemente en los estados de Chiapas (36%), Veracruz (31%), Puebla (15.4%) y Oaxaca (5.3%), ilustrando las variedades de estas regiones ya sea del Golfo, el Pacífico o del Soconusco en la Figura 9. (Wageningen University, 2010)

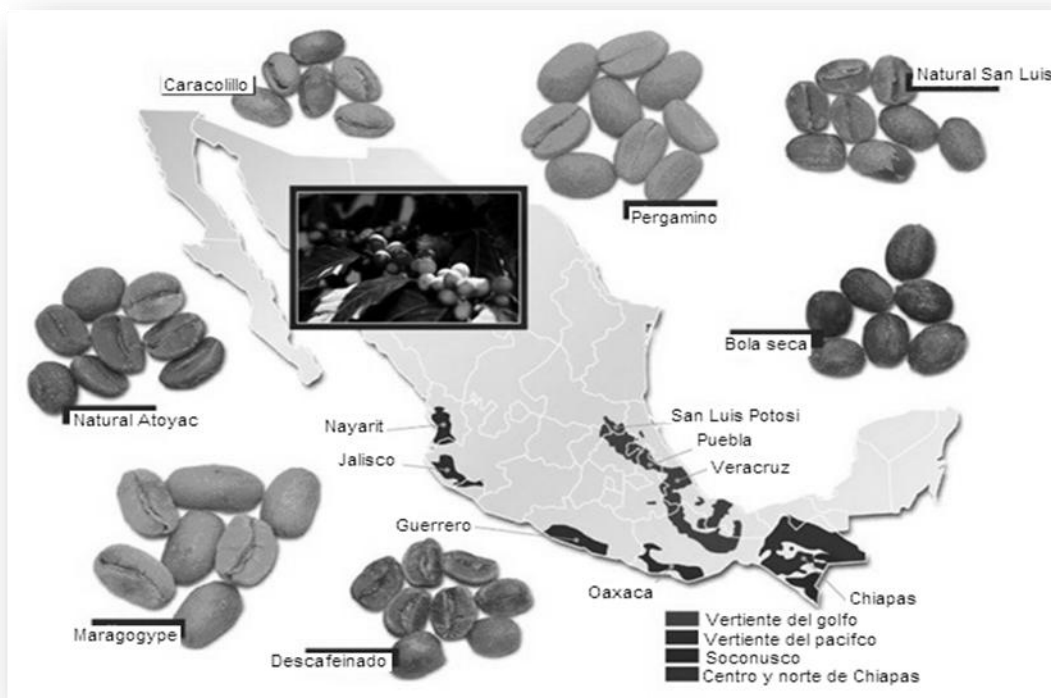


Figura 9. Variedades de café en México

En la Tabla 3 se ven algunas diferencias entre café Arábica y Robusta esto para tener un punto de comparación de las enormes diferencias que se pueden dar al hacer el análisis de una variedad y otra.



Tabla 3. Diferencias entre variedades de café (Arábica y Robusta). (Wageningen University, 2010)

	Arábica	Robusta
Fecha de descripción de la especie	1753	1895
Tiempo desde el florecimiento hasta la maduración de la cereza	9 meses	10-11 meses
Floración	después de la lluvia	irregular
Maduración de las cerezas	caen	permanecen
Producción (kg granos/ha)	1500-3000	2300-4000
Sistema de la raíz	profundo	poco profundo
Temperatura óptima (promedio anual)	15-24° C	24-30° C
Lluvia óptima	1500- 2000 mm	2000- 3000 mm
Altura de cultivo óptimo	1000- 2000 m	0- 700 m
Forma del grano	plano	oval
Características típicas del destilado	ácido	amargo, completo

1.5 Cosecha del café.

El primer corte consiste en la cosecha de frutos maduros provenientes de las primeras floraciones y se aprovecha para cortar frutos enfermos y secos este se lleva a cabo a finales de Octubre (generalmente este café tiene sabor menos intenso por lo que es utilizado para consumo personal). El corte pleno se realiza desde noviembre hasta marzo, dependiendo su momento y de la altura de la finca. En este período se cosecha aproximadamente 70% de la producción. En esta etapa se pueden realizar varios cortes, ya que los frutos de café no maduran todos a un mismo tiempo. Esto se debe a que el arbusto florece varias veces durante el año. Por tanto, es necesario hacer una selección juiciosa y hábil de los granos que



han madurado en un determinado tiempo (punto crítico en el control de calidad de un buen café).

Esto conlleva a realizar varios “pases” o recogidas durante la temporada de cosecha para evitar que los frutos se maduren excesivamente o se caigan, es aquí donde radica la importancia de contar con campesinos experimentados para saber distinguir el punto adecuado de corte y la manera de hacer el corte.

El café cereza debe recolectarse cuando tiene el color rojo o amarillo (caturra amarilla). Esto es una señal de que el grano está “hecho” y que ya se ha formado el mucílago, lo que hace más fácil su recolección. El mucílago aparece al final del desarrollo del fruto y le añade alrededor de un 18% de peso a éste (siendo conveniente para los cortadores ya que el grano tiene más peso y es mayor su paga, y para el dueño de la finca es importante ya que cuando se busca calidad en la bebida de café es necesario cosechar y procesar el grano completamente maduro). El café verde luego de procesado no tiene buen sabor ni aroma. Su sabor es astringente y el aroma es pobre. Los frutos muy maduros le imparten un sabor amargo y avinagrado a la bebida.

El último corte o pepena comprende el corte de los últimos frutos maduros y todo el remanente de frutos verdes. La pepena representa el 15% de la cosecha total. Es de suma importancia una buena realización de esta actividad para evitar al máximo los problemas de broca (plaga del café).

En México la recolección de la cosecha se hace a mano y en forma selectiva ya que el grado de maduración de la cereza mejora la calidad de la bebida (aroma, acidez y sabor del café) Para la recolección se utilizan canastos atados a la cintura llamados “tenates”; esta etapa de corte en México se da desde el mes de Noviembre hasta el mes de Marzo se cortan los últimos frutos. (Ortega Posadas, 2010)

1.6 Proceso de industrialización.

El proceso que transforma el fruto ya cosechado y hace posible que el café llegue al consumidor comprende desde: Beneficio húmedo, Beneficio seco y La torrefacción.



1.6.1 Beneficio húmedo.

Proceso para transformar el fruto (café cereza) en pergamino del cual se obtiene café lavado. Los pasos que sigue son despulpado, separación del mucílago, lavado y secado. En la figura 10 se muestra el diagrama del proceso que se le da al café.

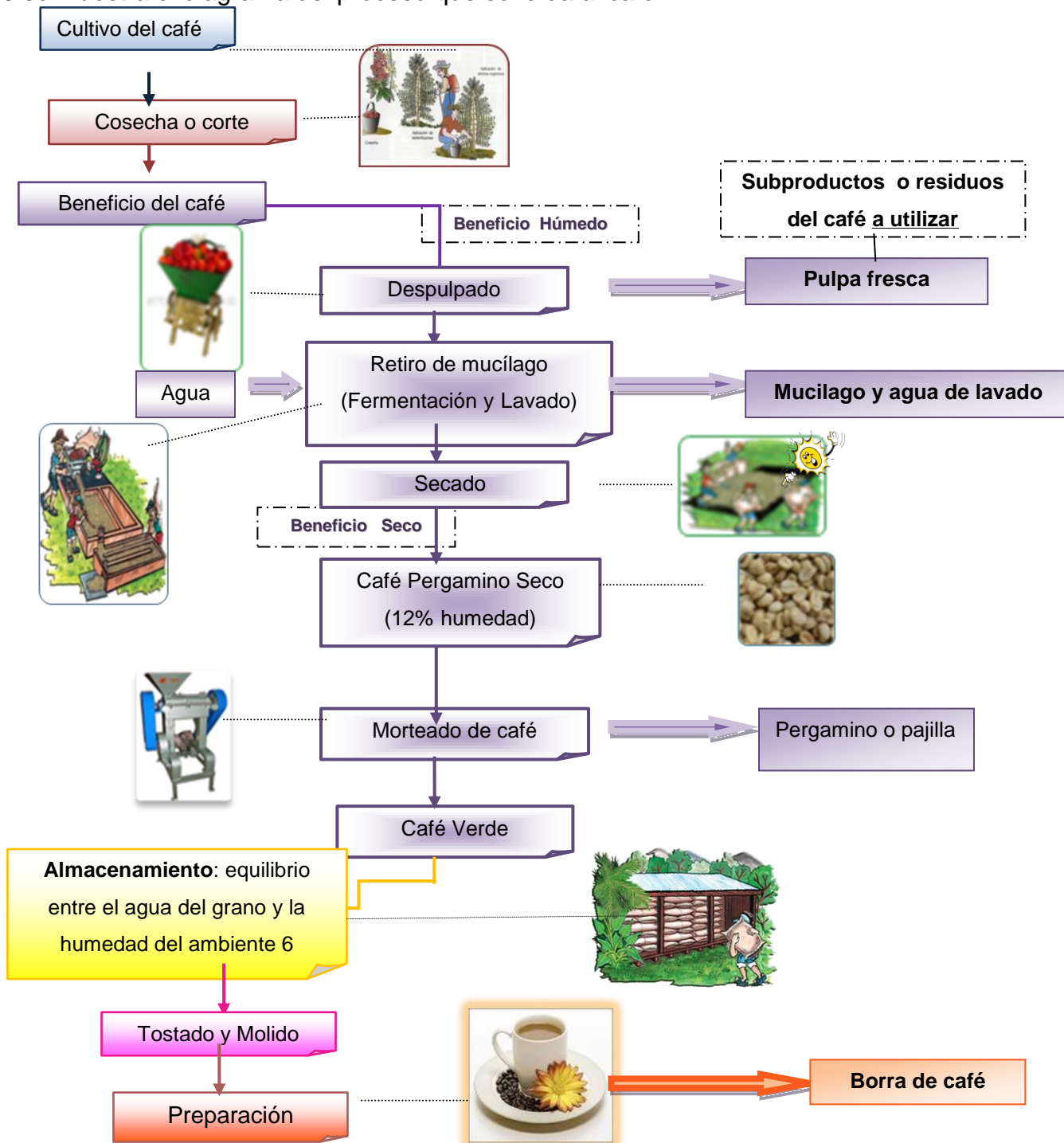


Figura 10. Diagrama del proceso del café.



Luego del corte de café, este se coloca en un recipiente con agua. Los granos que quedan flotando se retiran (ya que son granos de mala calidad). Los granos que están en el fondo están listos para ser colocados en la despulpadora.

1.6.1.1 Despulpado: es el proceso en el que se quita la pulpa en forma mecánica al café cereza; los granos conservan el mucilago o miel. En este proceso los granos no sufren ningún cambio fisiológico o químico, es solo una simple separación de la pulpa (En esta etapa se obtiene la pulpa como subproducto y el café despulpado que continúa con el proceso de transformación). (Gast, 2001)

Para separar la pulpa del grano de café, se utiliza una despulpadora que emplea mecanismos de presión y fricción. El café cereza es sometido a presión por el cilindro de la despulpadora (ver figura 11) contra el pechero y la camisa para quitar la pulpa. El ajuste de estos componentes en relación al tamaño y madurez del grano determina la calidad del café despulpado. Los posibles defectos que se tienen en esta parte del proceso son: granos mordidos, quebrados, granos con pulpa o impurezas (palos, hojas, piedras etc). (Falguni Guharay, 2004)



Figura 11. Proceso de despulpado. (Falguni Guharay, 2004)

1.6.1.2 Eliminación del mucílago o desmucilaginado: Una vez que se ha obtenido el café despulpado se encuentra listo para eliminar el mucílago que recubre al grano de café; su desprendimiento no es inmediato. Este proceso puede llevarse a cabo por tres métodos: por vía natural a través de la fermentación (método más empleado), por medios mecánicos (beneficio seco) o con adición de enzimas (Gast, 2001)

El mucilago del café es una sustancia gelatinosa que se encuentra adherida al pergamino; en su composición tiene pectinas que forman un gel con el agua y el azúcar presente también en éste. Este gel se forma ya que los carbohidratos tienden a deshidratar las moléculas de



pectina en solución, por lo que cuanto más sólidos en solución hay, menos agua disponible habrá para actuar como disolvente de la pectina por lo tanto se favorece la formación de gel, que posteriormente se eliminará con el lavado.

Para degradar las pectinas es necesario provocar reacciones químicas, para que la molécula se divida en ácidos orgánicos que son fácilmente retirados con el lavado. Para esto, intervienen los microorganismos presentes naturalmente en el café, los cuales producen enzimas específicas que actúan sobre la pectina, esto en el proceso conocido como fermentación natural.

Fermentación natural: El tiempo de fermentación es de 24 a 30 horas dependiendo del clima, pH del agua y de la humedad. El café se fermenta en piletas con un drenaje donde sale la miel (Ver figura 12). Cuando el café se libera del mucílago, se lava dos veces para ser secado al sol. Esta fase es muy delicada pues un café sobrefermentado dará un sabor astringente o fermentado.



Figura 12. Pileta de fermentación.

Remoción de mucílago con adición de enzimas: Es utilizada para disminuir el tiempo de proceso entre 85% y 90%, frente al tiempo requerido para la fermentación natural. Las enzimas que se utilizan son específicas para degradar el mucílago y se pueden adicionar al café recién despulpado, en pequeñas cantidades (100 ppm lo que equivale a 1 mL de enzima por cada 10 kg de café despulpado), permitiendo lavar en un tiempo de tres horas.



Para degradar la pectina del café, en el proceso de desmucilaginado, la preparación enzimática es una pectinasa, específicamente es una pectinliasa producida a partir de *Aspergillus niger*, que cataliza las reacciones de ruptura de la pectina en moléculas de menor peso molecular. Se ha determinado que su actividad enzimática es máxima a una temperatura de 50 °C y un pH de 5. (Martínez, 2011)

Beneficios de adicionar la enzima:

Se puede aplicar en bajas concentraciones, con buenos resultados técnicos y ambientales; Facilitar la determinación de momento oportuno para lavar el café; Aumentar la capacidad de procesamiento sin aumentar infraestructura; Permite dar continuidad al beneficio y en general disminuir el tiempo de proceso como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de remoción de mucilago con dos procesos de fermentación. (Martínez, 2011)

	Remoción de mucilago (%)		Tiempo de fermentación natural (h)
	Tres horas con enzima	Fermentación natural	
Promedio	97.0 ± 1.3	96.9 ± 1.1	27.3 ± 13

1.6.1.3 Lavado: Durante esta operación se retira el mucílago degradado a través de la agitación y la dilución en agua de las sustancias generadas. Para esto, se recomiendan diferentes técnicas de lavado siempre buscando un bajo consumo de agua y menor impacto ambiental, dicho consumo de agua está entre 4,2 L y 0,3 L de agua/kg de café pergamino (varía mucho por las técnicas de cada finca). El objetivo del lavado es entregar café libre de mucílago.

1.6.1.4 Secado: Es la reducción del contenido de agua del grano de café pergamino húmedo o lavado, este grano llega con una humedad de 53% en base húmeda (base húmeda) y queda con una humedad de 10% a 12% (base seca) Este proceso se realiza con el fin de



conservar sus características de calidad, evitando su deterioro y aumentando la resistencia en las etapas posteriores de la comercialización. Esto se logra a través de la disminución de la humedad relativa del aire a través del aumento de la temperatura del aire. Los métodos para obtener café pergamino seco son secado solar y secado mecánico. (Martínez, 2011)

El proceso de secado solar dura de 8 a 9 días, hasta obtener un 12 % de humedad volteándolo por lo menos 3 veces al día para que no se forme moho y que seque de manera homogénea, se hace generalmente en planillas (Ver figura 13) o mediante el uso de máquinas secadoras.

La ventaja del patio de secado (o planilla) que usan en las comunidades es que aprovechan la fuente de energía natural (sol), lo realizan en sus propias casas y por consiguiente los costos del proceso de secado son bajos.

Transcurridos los 9 días de secado se obtiene el café en pergamino.



Figura 13. Planilla o patio para secado del grano de café sin mucilago.

El beneficio húmedo se emplea exclusivamente para obtener cafés lavados para obtener lo que se conoce como café pergamino que es el café verde con cascarilla o pajilla. (Belitz *et al*, 2004)

1.6.2 Beneficio seco.

El beneficio seco se usa para obtener cafés no lavados llamados café bola. Estos cafés pasan directamente del corte al beneficio seco. En México se utiliza más la técnica de los cafés lavados.



El proceso del beneficiado seco consiste en quitarle la cáscara o pergamino al café mediante el morteo o con maquinas trilladoras para obtener el café verde, después se clasifican y por último se seleccionan los mejores granos. Es un proceso menos contaminante aunque se daña mas las características físicas del café impactando en la calidad de éste.

1.6.3 Torrefacción o tostado del café.

El café oro (verde) se tuesta para que su sabor y aroma afloren. El grado de tueste depende del tipo de café en taza que se quiera obtener. Durante el proceso de tostado los granos sufren cambios fisicoquímicos.

Los cambios físicos más visibles que se dan durante el proceso de tueste son básicamente el color, forma, volumen, masa, humedad y densidad del grano. (Fórum del café, 2011)

Durante el tostado, el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO_2) generan una alta presión. Esta presión cambia la forma de las células: el volumen se incrementa y las paredes celulares reducen su grosor. La alta presión interna lleva a un rompimiento del grano, después de un cierto periodo a una temperatura de 180°C . El vapor de agua tiende a escaparse rompiendo partes del grano, provocando finas grietas en la parte plana de ésta. El segundo rompimiento ocurre después de un tostado largo a una temperatura superior a 200°C . En este punto, el CO_2 saliente destruye la estructura celular del grano. La forma no cambia mucho lo que se ve alterado es el volumen la presión que tiene lugar en el interior del grano durante el tostado hace que se hinche e incremente su volumen.

En cuanto a la disminución de peso esta se da por la pérdida de CO_2 , monóxido de carbono (CO), nitrógeno, ácidos volátiles y compuestos aromáticos volátiles en conjunto, el peso se reduce entre un 12 y un 23%.

Uno de los cambios químicos más importantes que se dan en el tostado son el proceso de oscurecimiento no enzimático, también conocido como reacción de Maillard, donde el azúcar reductor reacciona con los aminoácidos, esto tiene una gran influencia en el aroma. Durante el curso de esta reacción, además de otros compuestos, se desarrollan los denominados melanoidinas, que dan al café su color. En la figura 14 se muestra el porcentaje de



descomposición que tienen los carbohidratos presentes en el grano de café antes y después del tostado. (Fórum del café, 2011)



Figura 14. Porcentaje de descomposición de los carbohidratos a causa de las reacciones de Maillard en el tostado. (Rovira, 2011)

Como se muestra en la figura 15, el ácido clorogénico presente en el café se degrada en el proceso de tostado para producir lactona de ácido quínico y lactona de ácido clorogénico. Esta descomposición es responsable del sabor amargo y ácido que emerge posterior al tostado. El sabor ácido del café tostado se desarrolla durante la hidrólisis debido a la descomposición térmica del ácido clorogénico en el café verde que crea fenoles y la descomposición de otros productos de sabor ácido.

Una buena parte de los productos que influyen son el ácido acético, ácido málico, ácido cítrico y ácido fosfórico que ya existen en el café verde. Durante la pirólisis también se forman el ácido fórmico, ácido glicólico, ácido láctico, ácido succínico, y otros ácidos. El incremento o decremento de la acidez fluctúa durante el tueste.

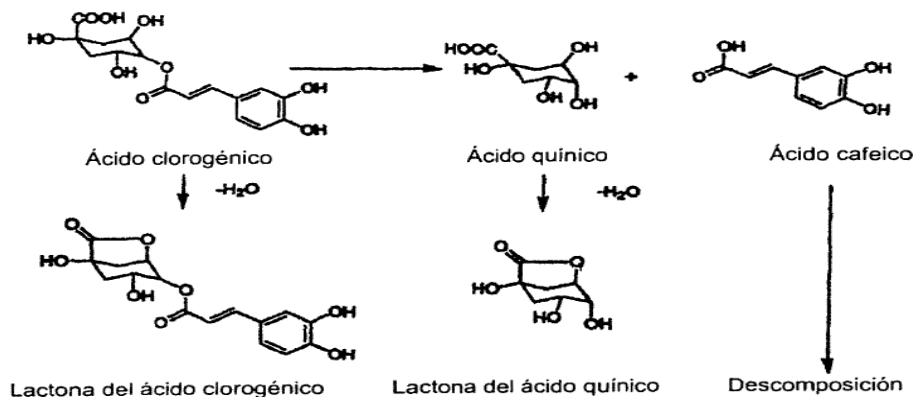


Figura 15. Formación de Lactona provenientes de ácidos del café, posteriores al tostado. (Bradbury y William, 2004)

El tostado del café es clave, un mal tostado puede afectar el control de calidad que se realizó para obtener un excelente grano. El tostado del grano varía de acuerdo a las características específicas que se quieran obtener para satisfacer los distintos gustos y preferencias del consumidor. El arte de tostar café es la combinación perfecta de temperatura y tiempo. El tostado se reconoce por el color del grano, existen incluso diferentes instrumentos de medición (colorímetros) para las distintas tonalidades de tueste. Los tuestes más comunes son: claro, medio y oscuro (Ver Figura 16.) Un tueste pasado o muy oscuro hace que el grano suelte más aceites y tenga un sabor fuerte o quemado. Un tueste muy ligero puede dar un sabor débil ya que no ha soltado sus aceites. El tostado debe ser uniforme y depende del tipo de café que se quiera preparar. No es recomendable un tostado oscuro porque se pierden cualidades del café. En un tostado claro se aprecian mejor las cualidades de acidez y aroma. (Anónimo, 2010)



Figura 16. Tipos de tostado más comunes (claro, medio y oscuro).



1.7 Composición de los residuos y subproductos en la industrialización del café.

La industria cafetalera está considerada como una de las más sucias del mundo con alteraciones ambientales negativas en suelo, aire y agua. Esta problemática se tiene en países productores de café donde se utiliza como proceso de beneficio la vía húmeda, y no se cuenta con un sistema de tratamiento eficiente como es el caso de México. Esta situación se agrava si se tiene en cuenta que los centros de despulpe de café se encuentran ubicados en zonas de montañas donde están los ecosistemas más frágiles, y que el proceso de beneficio se realiza en los meses de sequía, durante los cuales los ríos disminuyen el caudal aumentando la concentración de las sustancias contaminantes.

El café maduro presenta una composición en la cual el grano, que es la parte aprovechable para el proceso, representa el 25% del volumen total de la fruta, de manera que, el procesamiento de extracción del fruto (beneficio) genera un 75% del volumen procesado como desechos. (Pujol Rodriguez, 1998) Cada desecho en un grado diferente constituye un riesgo para el medio ambiente por esto se está buscando utilizar éstos de una manera inteligente para otros propósitos como es el caso de este trabajo empleando algunos de estos residuos en un alimento.

Haciendo el comparativo, el proceso de despulpado y lavado de 1 kg de café genera una cantidad de agua y material contaminante equivalente a la producida por 6 personas en un día, esto deja ver la importancia que tiene el buscar alternativas para evitar más daño ecológico (Lardé et al, 1997)

Los subproductos del Beneficio Húmedo de café son:

Pulpa-----39.4%	Mucílago -----21.6%
Borra ----- 10%	Pergamino -----3.5%



1.7.1 Pulpa de café.

La pulpa de café se genera durante la etapa del despulpado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. Su producción media es de 2.25 toneladas frescas/ha-año y es el principal residuo o subproducto en el proceso del beneficio.

Composición

La pulpa de café está compuesta por epicarpio y mesocarpio del fruto; tiene una humedad del 85%. La composición es variable pero se puede resumir en (Tabla 6.) (Lorenzo del Panta, 2010)

Tabla 6 Composición química de la Pulpa (% en base seca) (Lorenzo del Panta, 2010)

Sustancias contenidas	% en seco	Sustancias contenidas	% en seco
Cafeína	0.95	Minerales	9.70
Sustancias orgánicas	55.0	Azúcar Total	4.10
Celulosa	18.30	Polifenol	2.90
Lignina	19.30	Grasa total	1.73
Proteína bruta	13.30	Potencial calorífico (KJ /Kg)	15.900

Posible uso de la pulpa de café

Para el aprovechamiento y evitar su impacto ambiental negativo, se ha empleado como:

1. Abono orgánico utilizando la lombricultura o con activadores de composta esto con el fin de obtener abono orgánico y biomasa para la alimentación animal. (Dávila, 1996)
2. La producción de hongos comestibles de los géneros *Pleurotus*, *Lentinula* y *Ganoderma* los cuales son muy apreciados por su gran valor nutritivo y medicinal. (Rathinavelu y Graziosi, 2005)
3. Los procesos de ensilaje para su almacenamiento y conservación, para ser utilizado como alimentación de animales. (Garavito y Puerta, 1998)



4. La obtención de pectinas y de biocombustibles. (Rathinavelu y Graziosi, 2005)

5. Utilizando el residuo en alimentación humana, como fuente de fibra y antioxidantes.

En la Figura 17 se ilustra la pulpa que se va acumulando en grandes cantidades produciendo afectaciones ecológicas y sanitarias.



Figura 17. Residuo de pulpa de café almacenado en bodegones.

1.7.2 Mucílago del café.

El mucílago de café se genera en la etapa del retiro del mucílago (fermentación), está constituido por el mesocarpio del fruto y en base húmeda representa alrededor del 21% del peso del fruto fresco. El pH del mucílago fresco varía entre 5.5 - 6.2 y el contenido en pectina varía entre 15.9 % y 33% (dependiendo variedad, maduración, proceso de desmucilaginado empleado).

Las sustancias relevantes en este residuo son agua, carbohidratos, celulosa y minerales; en la tabla 7 se muestra la composición química del mucilago.

Tabla 7. Composición química en el mucilago (% en base seca) (Lorenzo del Panta, 2010)

Sustancias contenidas	% en seco
Pectina	33%
Carbohidratos	50%
Celulosa-Minerales	17%



La pectina del mucílago es de bajo contenido en metoxilo, el peso molecular es muy bajo y si se le adiciona iones de calcio no produce gelatinas comerciales como consecuencia tiene un bajo valor comercial.

Durante los proceso de fermentación el mucílago se descompone produciendo acido galacturónico, ácidos orgánicos (acético y láctico), alcohol y el pH se reduce a 4.0; en este momento los granos de café se lavan y se producen las agua mieles caracterizadas por una demanda química de oxígeno de 17.000 mg/L; la producción de agua miel por kg. de café oro producido es de 3.8-6.1 L ; los porcentajes de esta remoción de mucilago se observan en la figura 18. (Lardé, 1997)

Su producción media es de 768 kg/ha al año lo que deja un residuo que causa un daño ecológico importante. Se ha investigado su utilización en la alimentación animal, en la producción de pectinas y de biocombustibles (biogás, bioetanol) pero hasta la fecha no se han implementado proyectos serios para esta problemática.

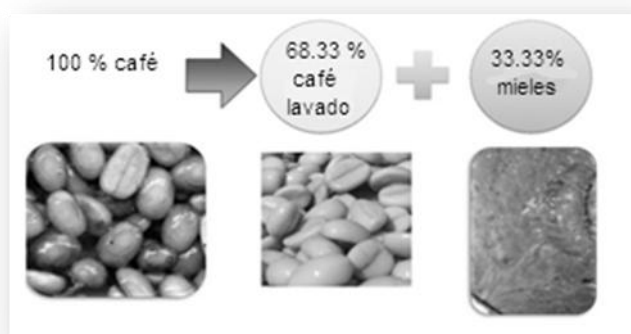


Figura18 Remoción del mucilago del café y cantidad de residuo obtenido partiendo de 100 % de café cereza.

1.7.3 El pergamino.

El pergamino (Ver figura 19) (endocarpio) del fruto (cisco y película plateada), representa en peso el 4,2% del fruto fresco, tiene una humedad de 12% y tiene excelentes propiedades combustibles (capacidad calórica de 17.90 MJ/kg), por lo que se utiliza en el secado del grano de café. También se ha utilizado como sustrato en el cultivo de hongos comestibles del género Pleurotus.



Su composición elemental en seco es de 47,2% carbono, 4,6% hidrógeno, 0,12% azufre, 48,1 oxígeno y 9-12% de humedad.



Figura 19. Pergamino retirado del café oro (verde)

1.7.4 La Borra.

La borra (Ver figura 20) es el principal residuo generado en las fábricas de café soluble, en el uso comercial y en las cafeterías, representa cerca del 10% del peso del fruto fresco. Se utiliza como sustrato en el cultivo de hongos comestibles y medicinales.



Figura 20. Residuo generado después de la extracción de la bebida “café” (Borra)

En la tabla 8 se observan los compuestos del agua de lavado (agua mieles) generada en el despulpado y en el lavado que se realiza posterior a la fermentación (para eliminar el mucilago del grano del café);



Tabla 8. Composición química del agua miel generado del beneficio húmedo del café. (Guerrero, 2008)

		COMPOSICIÓN DEL AGUA MIEL				
		% Concentración (g/100 mL)	Materia Extraída (Kg/QQ oro)	Estimado DQO Kg/QQ oro		
Agua	Despulpe	Proteínas	12	0.16	0.25	9.1
		Taninos	2.40	0.14	0.27	9.8
		Acido Clorogénico	2.60	0.28	0.40	14.5
		Acido Caféico	0.07	0.01	0.02	0.7
		Cafeína	1.60	0.29	0.57	20.7
		Azúcares	8.30	1.13	1.24	45.1
		TOTAL	26.97	2.01	2.75	100.0
	Lavado	Sustancias Pécicas	35.80	1.45	1.20	29.5
		Celulosa	45.90	1.85	2.04	50.1
		Azúcares	17.00	0.69	0.83	20.4
TOTAL		98.70	3.99	4.07	100.0	
TOTAL					6.82	Kg DQO/QQ oro

DQO= demanda química de oxígeno

QQ= quintales (46.04 kg)

Los residuos orgánicos tanto sólidos como líquidos son difíciles de tratar y tienen carácter de contaminantes del medio ambiente.

Las aguas de lavado y la pulpa, al ser vertidas en un cuerpo receptor (ríos, lagos, estanques) suministran grandes cantidades de materia orgánica que sirve de alimento a las bacterias. Para ser degradadas se requiere de gran cantidad de oxígeno (6.82 kg DQO).



En las aguas estancadas ocurre proliferación de moscas, mosquitos y otros vectores de enfermedades.

Las altas concentraciones de materia orgánica en los ríos deterioran este recurso al modificar la acidez natural del agua a causa de los ácidos orgánicos, que se producen en la descomposición de la materia orgánica.

Destruye la biodiversidad, tanto la flora como la fauna, se mantiene gran cantidad de sólidos suspendidos y cambia de color el agua.

Provoca olores pestilentes por lo que el agua no es apta para el consumo humano, animal, ni para riego de hortalizas.

En general estos residuos generados en el beneficio húmedo del café y posteriores a este pueden ser utilizados como sustratos de diversas formas como se muestra en la figura 21.

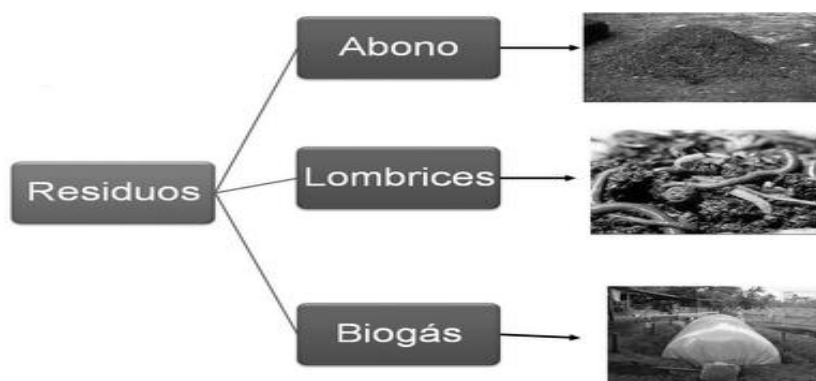


Figura 21. Usos más comunes de los residuos del café

1.8 Fibra Dietética.

Actualmente, la fibra dietética forma parte de lo que se considera una dieta saludable. Las fibras dietéticas alcanzan el intestino grueso y son atacadas por la microflora colónica, dando como productos de fermentación ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y metano. Los ácidos grasos de cadena corta representan no solo una forma de recuperar energía, sino que van a estar implicados en otras funciones beneficiosas para el organismo humano. Es adecuado indicar una dieta que aporte de 20-35 g/día de fibra de diferentes fuentes. (Hidalgo, 1994)



1.8.1 Definición.

El término fibra dietética, tiene diferentes significados esencialmente es un concepto que parte de la definición original de Trowel en 1972: “La proporción de los alimentos que se deriva de las paredes celulares de las plantas que es muy mal digerida por los seres humanos” (Cumplings, 2007).

Para la definición de fibra también se cuenta la actualización científica conjunta FAO/OMS realizada en el 2008; que indica que los componentes alimentarios deben ser definidos principalmente en función de su composición química; la fibra dietética fue definida como “todos los polisacáridos intrínsecos a la pared celular vegetal” (Guzmán, 2008)

Existe una gran variedad de componentes no convencionales asociados a la fibra dietética como: Compuestos fenólicos (taninos), ceras, glicoproteínas (extensina), minerales, ácido fítico, compuestos de Maillard, almidón resistente, quitina y quitosanos y formas elaboradas por el hombre (polidextrosa, lactulosa entre otros)

También se puede clasificar a la fibra de acuerdo a su grado de solubilidad en agua, esta clasificación es de interés desde el punto de vista biológico. Con este criterio se la puede dividir en fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS); la fracción insoluble está constituida principalmente por: celulosa, hemicelulosas insolubles y lignina, presentes principalmente en el trigo, en la mayoría de productos de grano y hortalizas, con el agua forman mezclas bajas en viscosidad. La porción soluble está compuesta por polisacáridos no celulósicos como la pectina, gomas y mucílagos, presentes principalmente en frutas, avena, cebada y legumbres, forman mezclas de consistencia viscosa cuyo grado depende de la fuente vegetal de procedencia

1.8.2 Componentes químicos de la fibra.

Se definirá de manera más específica algunos componentes estructurales y no estructurales que se encuentran presentes en los residuos del café, este dato es importante ya que por ejemplo, la cascarilla de café se compone principalmente de 35.76 % de material fibroso teniendo los siguientes componentes lignina (36.87%), celulosa (43.28 %), hemicelulosas (13.48 %) pudiéndose aprovechar este residuo y también con esto disminuir el problema ecológico ocasionado por los residuos. (Reyes, 2008)



1.8.2.1 Celulosa.

La celulosa es un polisacárido vegetal, que define la estructura de la pared celular de las plantas; corresponde a la biomolécula más abundante en la Tierra.

La estructura de la celulosa figura 22 se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. Es una hexosana que al hidrolizarse se genera la glucosa.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndola insoluble en agua.

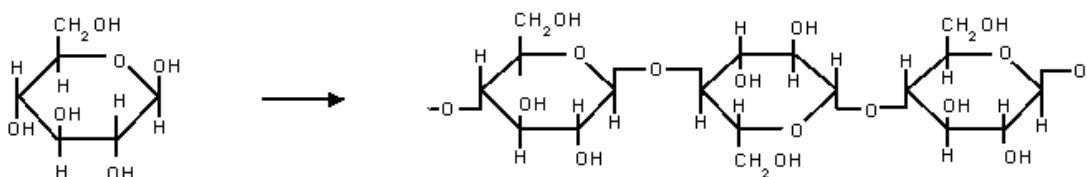


Figura 22. Estructura de la celulosa (a la izquierda β -glucosa, a la derecha varias β -glucosa unidas)

La cascarilla y el pergamino (residuos del café) son materiales celulósicos que podrían servir como materia prima en la elaboración de derivados donde se aproveche su estructura polimérica. Se sabe que el acetato de celulosa, la carboximetil celulosa y la bencilcelulosa se encuentran presentes en estos residuos.

1.8.2.2 Pectinas.

Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas (café) y de algún monocotiledóneas (trigo, maíz). Menor proporción de éstas se encuentra en las paredes celulares de las planta herbáceas.

El principal constituyente de los polisacáridos es el ácido o-galacturónico unido en cadenas por medio de enlaces glicosídicos α -(1-4) como se muestra en la figura 23.

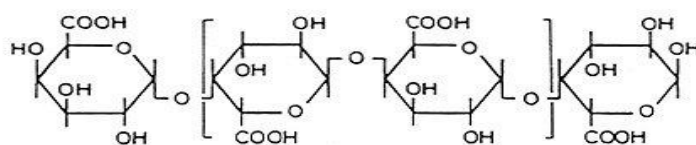


Figura 23. Formación de una pectina por unión del ácido o-galacturónico

Estas pectinas se encuentran mayormente en el mucilago del café, aunque también en la pulpa del café, como se ve en estudios realizados a estos dos subproductos del café (Eccehomo, 2002)

1.8.2.3 Lignina.

No es un polisacárido sino polímeros que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado.

1.8.2.4 Mucilagos.

Su estructura química general corresponde a polisacáridos heterogéneos con un alto contenido en galactosa, manosa y glucosa.

Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. Durante la maduración del grano de café el pectato de calcio, localizado en la laminilla media y la protopectina de la pared celular, es convertido en pectinas.

Esta transformación o hidrólisis de las protopectinas resulta en la desintegración de la pared celular, dejando un plasma celular libre. En este plasma, además de pectinas, se encuentran azúcares y ácidos orgánicos derivados del metabolismo y la conversión del almidón. (Villanova y Carbonell, 1974)

Estos compuestos, en contacto con el agua se hinchan formando soluciones altamente viscosas y geles. En el café el mucilago se encuentra principalmente en el pergamino y endocarpio presentes mayoritariamente en el agua de lavado del beneficio del café.



El mucilago al absorber una gran cantidad de agua a nivel del colon aumenta el volumen, el grado de humedad y la acidez del bolo fecal, incrementando de esta manera el peristaltismo intestinal y facilitando la evacuación del mismo.

1.8.3 Efectos fisiológicos de la fibra.

Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre.

Las dietas con un contenido en fibra elevado requieren más tiempo de masticación por lo que la velocidad de deglución y esto implica una mayor salivación que va a repercutir en la mejora de la higiene bucal.

A nivel del estómago las fibras solubles, como consecuencia de su viscosidad, disminuyen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad. También aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos. Asimismo, se producirá una menor absorción de los ácidos biliares ya que estos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos. Esto puede alterar la formación de micelas y la absorción de las grasas. Como consecuencia de la depleción de ácidos biliares pueden disminuir los niveles de colesterol, al utilizarse éste en la síntesis de novo de nuevos ácidos biliares (Trantwein y col., 1999).

1.8.4 Recomendaciones de ingesta de fibra dietética.

No se han establecido unas recomendaciones específicas del consumo de fibra dietética.

Para los adultos se sugiere un aporte entre 20-35 g/día o bien aproximadamente de 10-14 g de fibra dietética por cada 1.000 kcal. De forma general, la fibra consumida debe tener una proporción de 3/1 entre insoluble y soluble (Sánchez, 2006).

1.9 Principales componentes químicos del café.

Muchos compuestos químicos han sido identificados en los granos de café y éstos reaccionan e interactúan en todas las etapas del proceso del café para dar un producto final con una gran diversidad y complejidad de estructuras. El café *Arábica* y *Robusta*, son cualitativa y cuantitativamente diferentes en composición química.



Todos los constituyentes que están presentes en los granos de café son transformados durante el proceso de tostado y una gran variedad de compuestos pueden ser extraídos y encontrados en las infusiones de café. (Rivadeneira, 2010)

La cafeína es uno de los constituyente más importantes y conocidos del café, actúa como pesticida natural, también como sustancia inhibidora de la germinación de otros granos cercanos de café dando por lo tanto mejor oportunidad de supervivencia a las plantas en crecimiento.

La cafeína (Ver figura 24) es un alcaloide de la familia metilxantina, cuyos metabolitos incluye los compuestos teofilina y teobromina, con estructura química similar y similares efectos (aunque de menor intensidad a las mismas dosis).

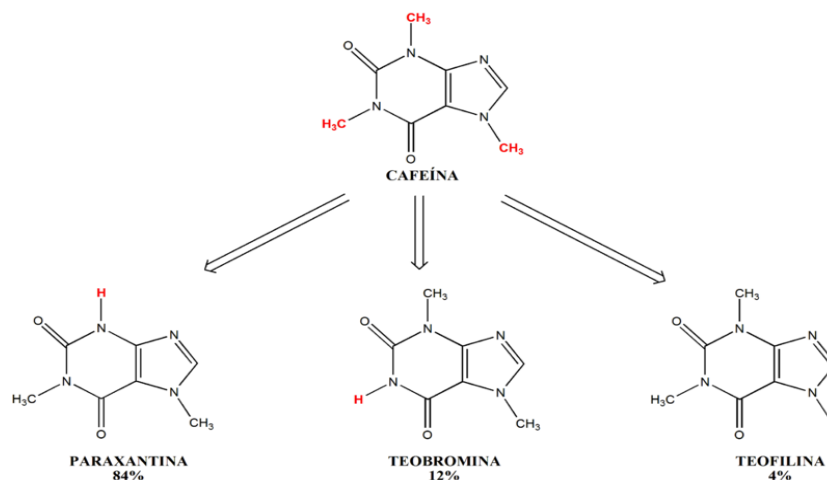


Figura 24. Metabolitos de la cafeína (Rivadeneira, 2010)

1.10 Compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.

Los antioxidantes son sustancias capaces de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres (González-Hita, 2009). El consumo de antioxidantes puede ser benéfico para la salud debido a que el estrés oxidativo juega un papel muy importante en la patogénesis y progresión de enfermedades crónico degenerativas (Vincent y col., 2007).

En la actualidad los compuestos fenólicos presentan un gran interés nutricional por su contribución al mantenimiento de la salud; así muchas de las propiedades benéficas de los alimentos de origen vegetal, son asociadas principalmente a la actividad antioxidante



relacionada con la presencia y el contenido de dichos compuestos fenólicos (La característica antioxidante de los fenoles se debe a la reactividad del grupo fenol). (Naczk y Shahidi, 1995)

La distribución de los compuestos fenólicos en los tejidos y células vegetales varía considerablemente de acuerdo al tipo de compuesto químico que se trate, ya sea en el interior de las células o en la pared celular. (Andary y Cosson, 1997)

La función principal de los compuestos fenólicos en las células vegetales es la de actuar como metabolitos esenciales en el crecimiento y reproducción de las plantas, también como agente protector frente a patógenos siendo secretados como mecanismos de defensa.

Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de alimentos (sabor, astringencia, dureza), su importancia en la pigmentación de los alimentos vegetales a través de las antocianidinas (colores rojos, azul, violeta, naranja y púrpura). Los taninos condensados o proantocianidinas se asocian con la astringencia en muchas frutas antes de la maduración. (Naczk S. , 1995) (Robbins, 2003)

Los compuestos fenólicos o polifenoles comprenden una amplia gama de sustancias que poseen uno o más anillos aromáticos con por lo menos un grupo hidroxilo. Entre ellos podemos mencionar a los flavonoides, isoflavonoides, antraquinonas, antocianidinas y xantonas, a los ácidos fenólicos y a los fenoles simples, a los ácidos hidroxicinámicos, a los fenilpropenos, a las ligninas, etc.

1.10.1 Estructura de los compuestos fenólicos.

Todos los compuestos fenólicos poseen una estructura común: un anillo fenol (Ver figura 25). un anillo aromático que lleva al menos un sustituyente hidroxilo.

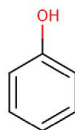


Figura 25. Estructura química del Fenol



Los flavonoides (Ver figura 26), son los polifenoles que poseen al menos 2 subunidades fenólicas; los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se denominan taninos (Robbins, 2003)

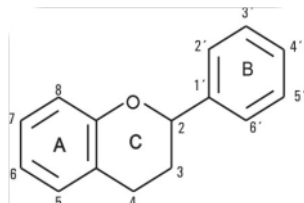


Figura 26. Estructura básica de los flavonoides.

Los flavonoides son derivados fenólicos hidroxilados, metoxilados y glicosilados del 2 fenil benzo y pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo pirano. Estos compuestos poseen actividad antioxidante y capacidad para capturar radicales libres (Vinson y col., 1995)

Los polifenoles *actúan* generalmente como ya se mencionó capturando y estabilizando los radicales libres, pudiendo producir quelación de metales aquéllos que poseen en su estructura grupos carboxilos.

El mecanismo de protección de los polifenoles (representado por AOH) ocurre en el estado inicial y más efectivamente durante el estado de propagación de la oxidación, por captura de los radicales libres (R.), inhibiendo de esta manera la reacción en cadena.



La transferencia de electrones desde el radical libre (R.) determina que el antioxidante se transforme en una molécula radical activa y este radical así formado debe ser lo suficientemente estable para que la función antioxidante sea efectiva como se ejemplifica en la figura 27. A su vez el radical formado puede ser recuperado por otras sustancias antioxidantes (reductonas), como el ascorbato.

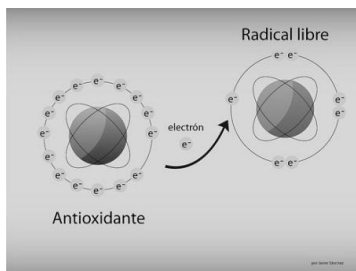


Figura 27. Acción del antioxidante sobre un radical libre.

1.10.2 Compuestos fenólicos en el café.

En el café existe una gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos, como los ácidos clorogénico (sin tostar se tiene entre 6 y 7%), cafeíco, fenílico y cumárico; al tostarse, se afecta su composición en fenoles; los complejos de ácido clorogénico en el tostado son degradados a ácido cafeíco y ácido quínico; dándose las reacción de Maillard que originan pigmentos denominados melanoidinas, que le dan al café tostado su color característico.

Ácido Clorogénico

Los ácidos clorogénicos son en realidad una familia de ésteres, formada entre ácido quínico y compuestos fenólicos conocidos como ácidos cinámicos. El ácido clorogénico más abundante en el café es el ácido 5-O-caffeoylquinic (Ver figura 28), un éster formado entre el ácido quínico y el ácido cafeíco (Ver figura 29). Más de 17 diferentes ácidos clorogénicos han sido encontrados en los granos de café verde, pero es probable que más ácidos de este tipo estén presentes en granos provenientes de diferentes regiones, especies y variedades de plantas.

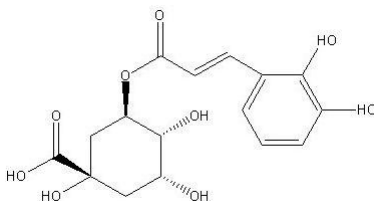


Figura 28. Ácido clorogénico (ácido 5- O -caffeoylquinic)

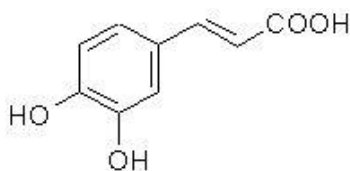


Figura 29. Ácido caféico

El café representa una de las fuentes más ricas de ácido clorogénico. El contenido de ácido clorogénico en una taza de 200 mL de café ha sido reportado en el intervalo entre 70 – 350 mg, lo cual provee alrededor de 35 – 175 mg de ácido caféico. (Olthof, 2003)

1.10.3 Actividad biológica de los compuestos fenólicos.

La actividad antioxidante de los fenoles es el origen de funciones biológicas tales como la antimutagénica, anticancerígena y antienviejecimiento (Velioglu y Gao, 1998.)

Los flavonoides, en particular, exhiben una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo actividad antibacteriana, antiviral, antiinflamatoria, antialérgica, antioxidante, antitrombótica y vasodilatadora (Yen y col., 2000.)

Se ha vinculado el alto contenido de antioxidantes con la inhibición de las enfermedades provocadas por el daño oxidativo, tales como la enfermedad cardíaca, las hemiplejias y el cáncer (Robbins, 2003).

Se ha probado, tanto epidemiológica, así como experimentalmente, la relación existente entre una ingesta elevada de antioxidantes en la dieta, así como de vitaminas C y E, y β caroteno y la prevención de la enfermedad coronaria. Hertog (1993) determinó que la ingesta de flavonoides en la dieta, se asoció con una reducción de las muertes por enfermedades coronarias. Esto debe de ser tomado en cuenta de manera personal y en las instancias gubernamentales correspondientes (SSA) ya que el cáncer es la tercer causa de muerte entre las mexicanas (64.7% mujeres, 35.3 % hombres) y la segunda causa en mujeres de 35 a 44 años (INEGI).

En general se observa que los subproductos del café tienen muchas propiedades benéficas para la salud. Se mencionan a continuación algunas de éstas:

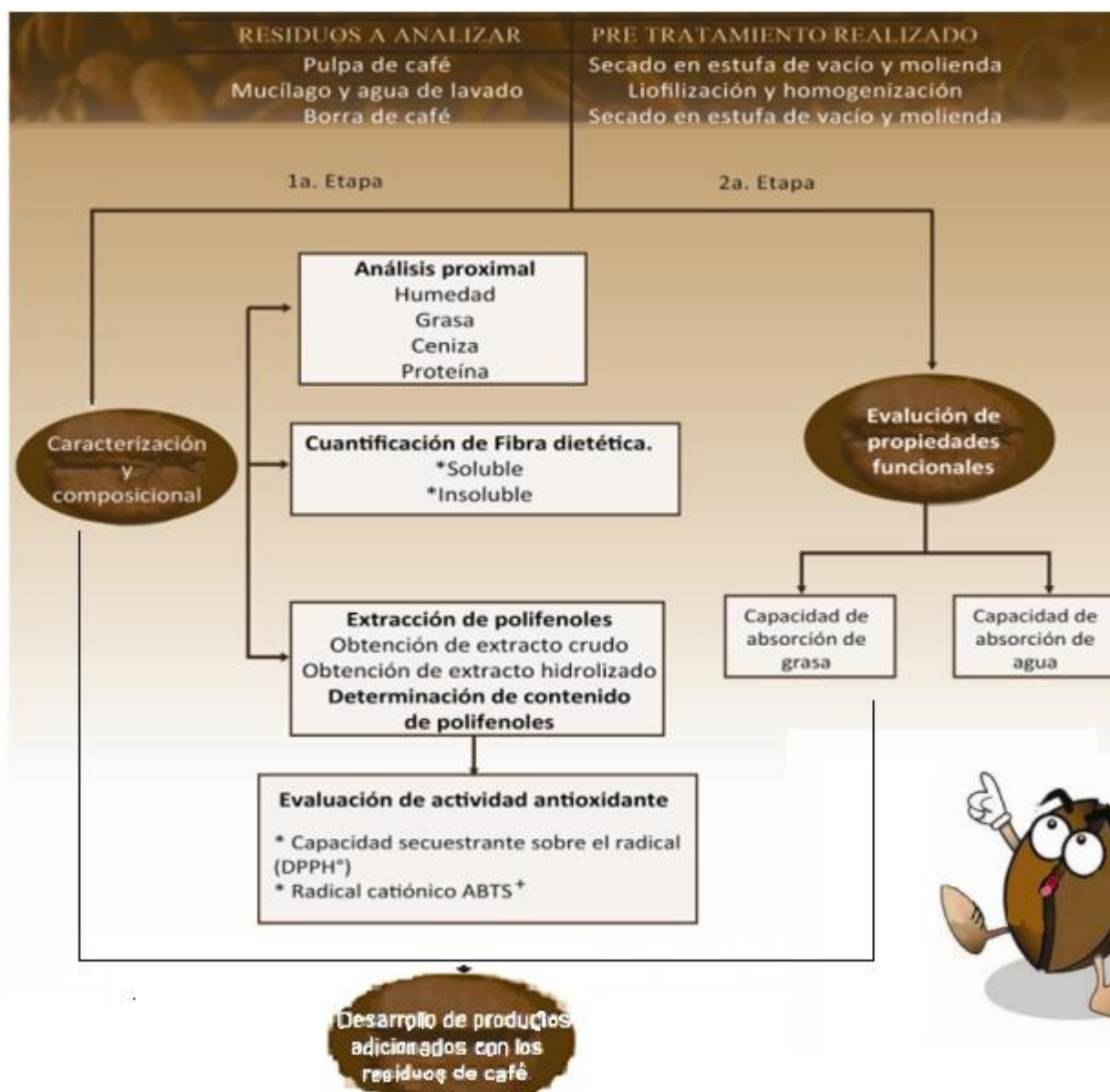


- **Fibra soluble dietética:** La aterosclerosis surge cuando se cargan las arterias con depósitos de colesterol (esto es, lipoproteínas de baja densidad). De suma importancia al respecto son las arterias coronarias y el peligro de un ataque cardíaco. Las pectinas del café también elevan el nivel de las lipoproteínas de alta densidad, que son benéficas debido a que las pectinas encierran los ácidos biliares (de donde proceden esos colesterol) y los llevan a través del intestino delgado hasta el intestino grueso o el colon, donde algunos de ellos se convierte en alimento para las bacterias, que a su vez protegen contra el cáncer de colon.
- **Propiedades de intercambio de cationes:** Las pectinas, en forma de oligosacáridos galacturónicos, son como resinas de intercambio de iones, siendo capaces de formar complejos con calcio puro, hierro y otros iones de carácter divalente en la dieta y así llevarlos fuera del cuerpo, reduciendo considerablemente el nivel de esos importantes elementos nutritivos.
- **Antioxidantes:** El mucílago del café y en especial la pulpa, contienen sustancias químicas polifenólicas, antocianinas, proantocianinas, y cianuros, bioflavonoides y taninos, además, por supuesto, de cafeína y ácidos clorogénicos que son muy buenos antioxidantes.



2. Metodología.

2.1 Diagrama general de la investigación.



2.2 Caracterización química de los residuos.

2.2.1 Recolección y estabilización de residuos.

Se trabajó con dos residuos del beneficio del café (*pulpa seca de café* y *mucilago con agua de lavado*) y con el residuo obtenido después de la preparación de la bebida que es *la borra*. Estos residuos fueron recolectados en el mes de enero de una Finca cafetalera perteneciente a la familia Galván la cual está ubicada en Coatepec Veracruz.



Se recolectó la muestra de pulpa de café en el momento de hacer el despulpado del café cereza; teniendo un rendimiento del 20 % de café con mucilago, ya que de cada kilogramo de café cerezo que se despulpa se obtienen alrededor de 800 g de pulpa fresca. Se tomaron 3 kg de pulpa fresca y se congelaron para ser transportados al laboratorio. Posteriormente se secó la pulpa en estufa de vacío (National Appliance Company modelo 5831) una vez seca la pulpa se homogenizó.

Se recolectaron 3 L de agua de lavado, con la cual se extrajo el mucilago del café; dicha agua contiene el mucilago fermentado; este residuo también fue congelado para su transporte. Posteriormente en el laboratorio fue ultracongelado con hielo seco y acetona para posteriormente liofilizarse.

El residuo de borra fue recolectado después de la extracción en cafetera. Posteriormente fue secado en estufa de vacío (National Appliance Company modelo 5831) durante 8 hrs a 70 °C y homogenizado para su análisis.

2.2.2 Caracterización composicional de los residuos y producto elaborado.

A cada una de los residuos y a las galletas se le realizó un análisis proximal como se indica a continuación:

Humedad: secado en estufa de vacío (National Appliance Company modelo 5831) a 70° C durante 8 horas (Kirk R. S., (1996))

Cenizas: Determinación por calcinación y mufla a 550°C (Kirk R. S., (1996)).

Proteína total: método micro-Kjeldahl utilizando 6.25 como factor de conversión de % Nitrógeno a %Proteína.

Extracto etéreo: Método de Goldfish con éter de petróleo como disolvente, durante 7 horas (James, 1999)

Carbohidratos totales: cálculo por diferencia con el resto de los componentes.

2.2.3 Caracterización de la fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble:

Propuesta por (Mañas y Bravo, 1994) (ver Anexo 2).



2.2.4 Extracción y determinación del contenido de polifenoles totales.

Extracción con etanol/ácido clorhídrico.

Se pesaron 5 g de muestra desengrasada en un matraz de bola de fondo plano y se agregaron 50 mL de una solución 1.2 M de HCl en etanol. Esta mezcla se dejó en agitación en un sistema de reflujo con calentamiento a 90°C por 3 horas.

Pasado el tiempo se enfrió y se diluyó con 25 mL de etanol, se centrifugó la mezcla por 15 minutos a 1500 rpm. El sobrenadante obtenido se concentró a sequedad en un rotavapor (Buchi Rotavapor R-200-205) a 40 °C para terminar el secado total, se sometió la muestra en el matraz a un flujo de N₂ y se redisolvió en 8 mL de éter etílico hasta que éste ya no evidenció la presencia de compuestos fenólicos por la coloración del solvente. La fase orgánica total se volvió a concentrar en rotavapor (Buchi Rotavapor R-200-205) a 40 °C y se disolvió en 8 mL de etanol, así se obtuvo lo que más adelante se denominó extracto hidrolizado.

Determinación de polifenoles totales

La cantidad de PF totales se determina por el método descrito por (Matthaus, 2002). La concentración de PF se calculó usando ácido gálico como estándar y los resultados se expresan como mg de ácido gálico/g de muestra. (Anexo)

Para la curva de calibración se podría utilizar ac. caféico y expresar los resultados de contenido de fenoles de cada extracto en mg/g de peso seco de la muestra, basándose en la curva de calibración del material de referencia de ácido caféico, pero este ácido no ha sido estudiado para este fin y podría arrojar muchas diferencias. El ácido gálico ya fue estudiado y las absorbancias que se obtienen son directamente proporcionales (figura 30) a la concentración lo que hace más fácil la interrelación con la muestra a analizar de ahí que se utilice el término “Unidades de ácido gálico equivalentes por gramo de extracto o materia vegetal seca”.

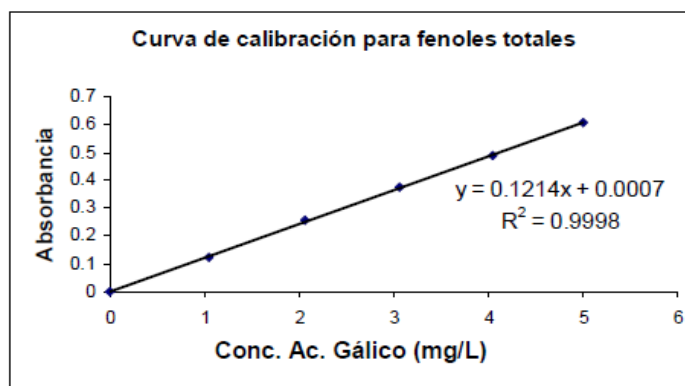


Figura 30. Curva de calibración para fenoles totales con Ac. Gálico.

2.2.5 Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos.

Se llevó a cabo mediante una comparación con un estándar de actividad antioxidante conocida, Trolox, derivado carboxílico del α -tocoferol (Sigma Aldrich).

Ajustando el contenido de polifenoles de los extractos obtenidos a 200 ppm se analiza lo sig:

2.2.5.1 Capacidad secuestrante sobre el radical 1,1-Difenil-2-picrilhidrazil (DPPH).

La reducción del radical DPPH $^{\circ}$ se observa como un cambio de color de morado a amarillo, presentando un decremento en la absorbancia a 515nm, cuando el radical es reducido por un antioxidante mediante la donación de un hidrógeno o de un electrón para formar una molécula diamagnética estable (Matthaus, 2002) (Anexo 2)

2.2.5.2 Capacidad secuestrante sobre el radical Ácido 2,2'- azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) ABTS $^{+}$

El radical ABTS, el cual a diferencia del radical DPPH $^{\circ}$ debe ser generado por una reacción enzimática (peroxidasa) o química (dióxido de manganeso, persulfato de potasio). En este trabajo el radical se generó vía química, esta radical se observa en la siguiente figura 31 (Martínez-Tome y Murcia, 2004)

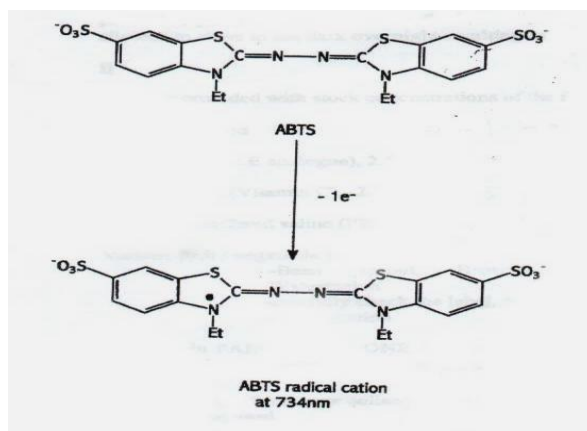


Figura 31. Oxidación del reactivo ABTS a $ABTS^+$ (Tan Tze Guan, 2012)

2.3 Evaluación de las propiedades funcionales de la fibra dietética.

2.3.1 Capacidad de retención del agua.

La capacidad de retención de agua se define como la cantidad de agua que permanece unida a la fibra hidratada después de la aplicación de una fuerza externa ya sea presión, o más comúnmente centrifugación. La capacidad de retención de agua se expresa como el volumen de agua retenida por gramo de muestra seca (Robertson, 2000) (Anexo)

2.3.2. Capacidad de retención de aceite.

La capacidad de retención de aceite, es un parámetro que determina la propiedad de la fibra, principalmente la FDI para retener dentro de sus poros las moléculas de aceite.

La capacidad de retención de aceite se calculó como el volumen (mL) de aceite absorbidos entre la masa (g) de muestra (Abdul-Hamid, 2006) (Ver Anexo)

2.4 Desarrollo de alimentos adicionados con los residuos del café.

2.4.1 Selección de producto a elaborar y residuos que se emplearán.

Una vez que se obtuvieron y analizaron los residuos (Cascarilla, agua de lavado y borra) generados en el beneficio del café se seleccionó un alimento en el cual fuera conveniente la incorporación de los residuos a emplear (Borra y cascarilla). Y el alimento a formular propuesto fue una galleta de avena y nuez.



Se buscó la formulación a utilizar, esto con el fin de conocer la técnica y las variables en la elaboración de las galletas; se realizaron pruebas de error y ensayo con diferentes formulaciones para poder estandarizar la fórmula final.

Las pruebas se efectuaron contando con la materia prima, el material y el equipo de laboratorio, donde se realizaron las pruebas necesarias variando y adecuando tanto las formulaciones adquiridas como las condiciones de temperatura, tiempo de cocción, hasta optimizar lo que sería la “Fórmula patrón”

2.4.1.1 Fórmula patrón para elaboración de galletas.

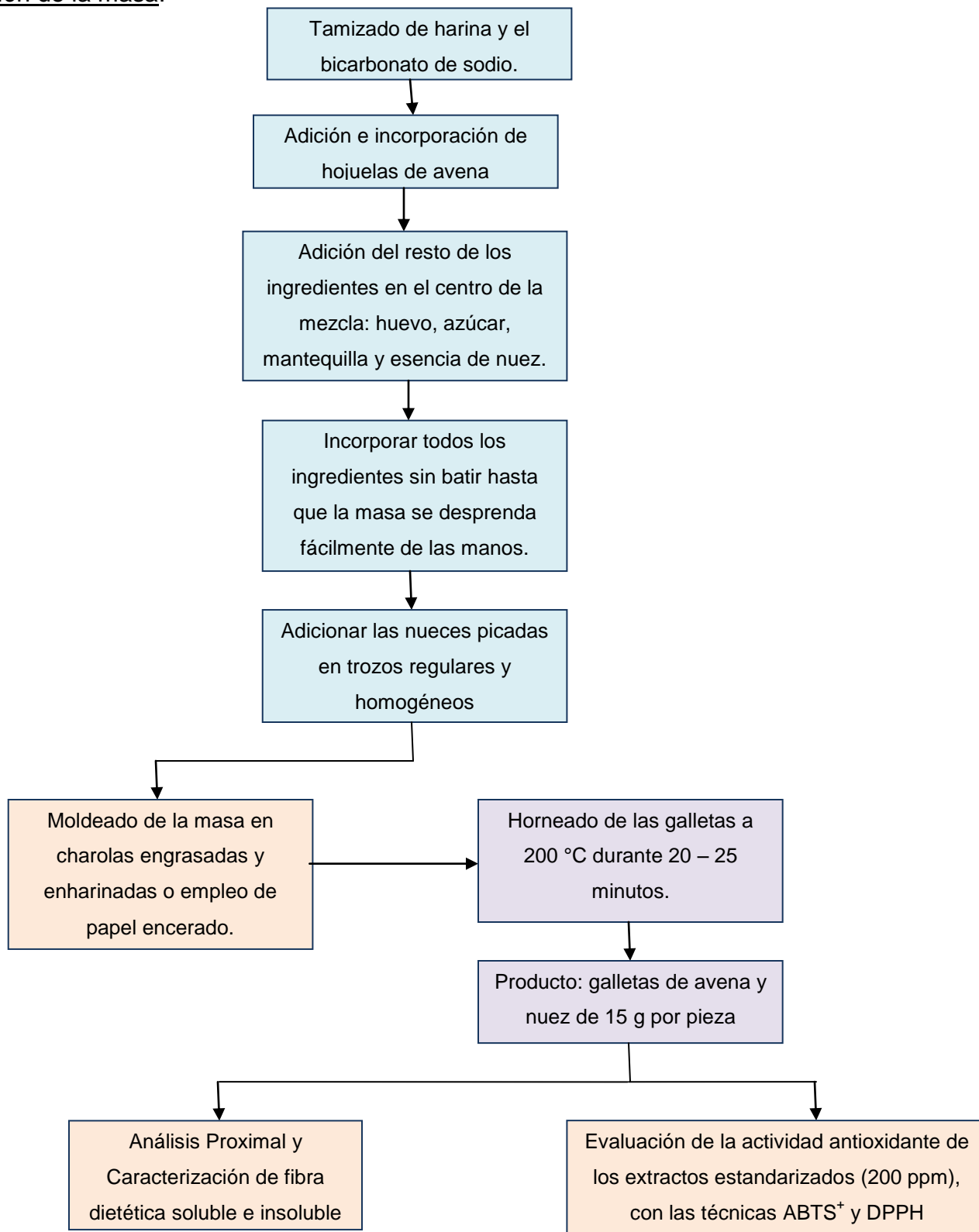
Componente	Formula patrón de galleta (%)
Avena	21.31
Harina	20.22
Mantequilla	29.34
Azúcar	10.88
Huevos	9.02
Nueces	8.49
Esencia de nuez (mL)	0.36
Bicarbonato de sodio	0.38
Total	100



2.4.2 Proceso de elaboración de las galletas.

2.4.2.1 Diagrama de elaboración de galletas.

Elaboración de la masa.





Una vez realizada y analizada la formula patrón se prosiguió a la adición de los residuos del café; únicamente se utilizaron los residuo de cascarilla y borra ya que el agua de lavado es un residuo de difícil control por el proceso de fermentación que se da debido a su composición química y también lleva un tratamiento de secado costoso, por lo que para el caso particular de este residuos no es factible utilizarlo en la producción de un alimento. Obteniéndose la formulación (Ver tabla 10) vista ya en (%) de adición en relación a la formula patrón.

Tabla 10. Formulación de galletas con adición de residuos.

Componente	Galleta sin residuos de café (%)	Galleta con residuos de café (%)
Avena	21.31	25.28
Harina	20.22	25.28
Mantequilla	29.34	17.21
Azúcar	10.88	12.91
Huevos	9.02	10.70
Nueces	8.49	5.38
Esencia de nuez (mL)	0.36	1.08
Polvo para hornear (Bicarbonato de sodio)	0.38	0.45
Residuos adicionados		
Borra	0.0	1.08
Cascarilla	0.0	0.54
Goma Guar	0.0	0.11
Total	100	100.00



Los residuos del café adicionados a la formula patrón se molieron y homogenizaron para ser mezclados con la masa de la formulación patrón y así después del horneado obtener las galletas de avena y nuez adicionadas con residuos de café.

Con el criterio de solubilidad se puede dividir la fibra en fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS). Con el fin de buscar una relación de FDI/FDS igual a 3:1 (la cual es recomendable para mejor efecto de la fibra); se realizó un balance del contenido de fibra soluble e insoluble en la galleta elaborada con la formulación patrón y también con los valores obtenidos de los residuos cascarilla y borra; con este balance se observó que el resultado de FDS sería muy bajo es por esto que se decidió el empleo de la goma guar que contiene 100% de FDS. Esta adición dio mejor textura al producto final y se logró el balance recomendado. Con respecto a la ingesta deseable para un adulto debe ser de 25 – 35 g/día con el producto elaborado se busca cubrir esta ingesta diaria y lograr beneficios a la salud.



3. Resultados y discusión.

3.1 Determinación de composición química de los residuos de café.

Tras el deshidratado de los residuos del café, se llevó a cabo la molienda de los tres residuos, obteniendo así la materia prima para el análisis.

Con el fin de comparar el contenido de los principales componentes, se expresaron los resultados en base seca Tabla 11.

Tabla 11. Composición proximal de residuos de café expresada en **base seca**.

Muestra Componente	CASCARILLA	AGUA DE LAVADO	BORRA
Cenizas (%)	6.88 ± 0.15 ^c	0.23 ± 0.01 ^a	1.59 ± 0.20 ^b
Proteína (%)	5.62 ± 1.39 ^b	0.90 ± 0.0 ^a	9.83 ± 0.40 ^c
Grasa (%)	1.77 ± 0.39 ^a	1.29 ± 0.14 ^a	5.99 ± 0.11 ^b
Fibra soluble (%)	8.08 ± 0.45 ^b	5.60 ± 0.38 ^a	9.17 ± 0.46 ^c
Fibra insoluble (%)	62.36 ± 7.42 ^b	1.87 ± 0.75 ^a	61.58 ± 0.24 ^b
Carbohidratos digeribles (%)	15.28	88.15	11.85

a-c: Letras distintas indican diferencia significativa con $\alpha=0.05$

En la Tabla 11 se expresan los resultados del análisis proximal en base seca realizados a los residuos del café, también se elaboraron Analisis de varianza multiple (ANOVAS) simples que permiten distinguir diferencias significativas entre los residuos.

La determinación de cenizas se realiza para conocer las sustancias minerales, el residuo está formado por sustancias inorgánicas.

Los resultados para el análisis de cenizas observados en la Tabla 11 se muestran valores estadísticamente diferentes entre cada residuo analizado. Esta diferencia indica que el contenido de minerales, mayor para el caso de la cascarilla, puede deberse al proceso que



lleva cada residuo y/o a una diferencia química normal debido a su composición; se podría pensar que hubo pérdidas por volatilización, para el caso de la borra, ya que se utilizan temperaturas elevadas para el tostado del café y se hacen extracciones con vapor de agua (cafeteras) ; para el caso de agua de lavado los minerales presentes en el mucílago podrían ser mayoritariamente insolubles y por esta razón no ser extraídas en el lavado o haberse perdido por interacción entre los constituyentes químicos ya que este residuo llevó un proceso de fermentación.

Comparando con los valores de cenizas presentados por (Faria, Garcia y col., 2010) de 5.78 % para el análisis de la cascarilla se tiene un valor semejante.

El análisis de proteína se realiza para determinar la materia nitrogenada total, que incluye tanto al nitrógeno proteico como al no proteico. La proteína cruda se halla multiplicando el nitrógeno total por un factor, que se ha calculado considerando los componentes básicos de un gran número de muestras del mismo alimento, y expresando el resultado como proteína.

En el análisis de proteína en base seca se tiene mayor cantidad en la borra que proviene de una previa extracción con vapor de agua por lo que se espera que sean proteínas insolubles en agua como las prolaminas que aparecen en semillas vegetales (endospermo).

Comparando el valor de proteína obtenido en la cascarilla 5.62 % se observa que fue inferior a los contenidos en base seca encontrados por (Souza, 2005) de 8.40 y 8.16 %, respectivamente; lo que podría deberse a la variedad empleada o a que estas cascarillas pudieron provenir de diferentes etapas del corte. Para el caso del agua de lavado el contenido de proteína es muy bajo de 0.90% pudiendo ser un valor normal debido a la composición química del residuo ya que esta consta básicamente de carbohidratos.

Con el procedimiento para extracción de grasa se logra identificar materia grasa capaz de disolverse en solventes orgánicos muy eficaces para la grasa y mediante la posterior evaporación del disolvente tener un valor final de grasa extraída y así conocer el % presente en un alimento. La extracción de grasa se hace por medio de disolventes, los disolventes más empleados son el hexano y el éter de petróleo en este estudio se empleo éter de petróleo por ser una muestra que ya fue procesada y contiene coloración..



En relación al porcentaje de grasa, este fue claramente superior comparando con los valores reportados de 0.6; 0.97 y 1.0 % señalados por (Faria et.al. en,2010) (Souza, et.al, 2005) (Bressani, et.al, 1972), respectivamente.

En el contenido de grasa no se encontró diferencia significativa entre las muestras de cascarilla y agua de lavado; en el caso de la borra se extrajo mayor cantidad de grasa; la borra procede de lo que es la semilla del café cerezo y a pesar de ya haber sido procesado (secado, tostado, molido y extraído) esta semilla alcanza a conservar parte de su aceite.

Los hidratos de carbono normalmente se obtienen por diferencia. Esta determinación se realiza ya que es importante saber el aporte energético que se tiene para realizar un balance adecuado. En el cálculo de carbohidratos por diferencia se obtiene mayor cantidad de carbohidratos en el caso del agua de lavado. Esto tiene sentido ya que es el residuo que contiene al mucílago, en el que se da una fermentación por la alta concentración de azúcares; el agua de lavado es rica en carbohidratos por su composición química (pectinas, azúcares y ácidos orgánicos).

Con estos resultados se buscará hacer una mezcla de los residuos para analizar la mejor mezcla de éstos y emplearlo como suplemento o aditivo en alimentos.

Los datos obtenidos indican que los residuos de café pueden ser fuente potencial de proteína y carbohidratos y por ser un subproducto recuperable del beneficio del café reviste mayor interés su aprovechamiento.

3.2 Caracterización de la fibra.

La determinación de fibra se realiza con base en la simulación de los cambios químicos, que les ocurre a los componentes de la fibra en el tracto gastrointestinal humano, utilizando métodos gravimétricos cuyas enzimas tienen una alta actividad para hidrolizar almidones y proteínas que se encuentran formando la estructura de la fibra, conjuntamente con los polisacáridos indigeribles. Por lo cual, el valor estimado y las características de la fibra dietética probablemente, sean muy similares al obtenido del proceso digestivo normal. Para la caracterización de la fibra en soluble e insoluble se realizan dos filtrados, el primero es para



obtener la fibra dietética Insoluble esta se obtiene antes de la adición del EtOH al 95% ya que al agregar este la fibra soluble precipita por lo que en el segundo filtrado se obtendrá la fibra dietética soluble.

Los resultados de estas determinaciones se encuentran reportados en la Tabla 11; para el caso de fibra dietética insoluble (BS) se realizó el análisis estadístico observándose una diferencia significativa entre el agua de lavado con la cascarilla y la borra; entre la borra y la cascarilla no existe una diferencia significativa obteniéndose valores en un intervalo de 62.36% y 61.57% . Éstos pueden ser variables por la ubicación exterior del tejido en el caso de la cascarilla, considerando que la relación FDI/FDS es menor en los tejidos internos (endocarpo, mesocarpo) respecto a los externos (epicarpo) esto ya que se componen básicamente de celulosa y hemicelulosa (Jaime, 2002).

Para el agua de lavado se encontró mayor cantidad de FS que FI esto se debe a la presencia del mucilago del café ya que químicamente el mucílago contiene pectinas que son estructuras ricas en ácidos urónicos, son solubles en agua caliente y tienden a formar geles; su estructura consiste en cadenas no ramificadas de ácido galacturónico unidas por enlaces α 1,4 y en sus cadenas laterales puede tener ramnosa, arabinosa, xilosa y fucosa; aquí se da una hidrólisis de las protopectinas resultando en la desintegración de la pared celular. En el agua de lavado, además de pectinas, se encuentran azúcares y ácidos orgánicos derivados del metabolismo y la conversión del almidón (Villanova y Carbonell, 1974)

Debido a la composición química del café y su parte externa (cascarilla) se obtuvo un porcentaje de FDI de 60% en la cascarilla y borra. Ya que en el grano de café verde la mayor reserva de polisacáridos se encuentra en la pared celular constituida típicamente por microfibrillas de celulosa, envuelta por una fase continua de lignina, pectinas y hemicelulosas. (Cliford, 1985)



Tabla 11. Composición de las fracciones de fibra en cada residuo. Resultados expresados en g/100 g residuo. (Base seca).

MUESTRA	FDT%	FDI %	FDS %	Relación FDI:FDS
CASCARILLA	70.44	62.36	8.08	7.71:1
AGUA DE LAVADO	7.47	1.87	5.60	0.04:1
BORRA	70.75	61.58	9.17	6.71:1

FDS: Fibra dietaría soluble
FDT: Fibra dietética total
FDI: Fibra dietética insoluble

Haciendo una comparación del aporte de fibra dietética insoluble y soluble de cada residuo de café en base seca se observa: que para el caso de la cascarilla se tiene una relación de 7.71:1 FDI:FDS siendo este un residuo mayormente de fibra insoluble, el mismo caso se obtiene para el residuo de borra; esto puede causar un problema al emplear estos residuos como fibra ya que no se tiene la relación sugerirá de 3:1 para un mayor beneficio.

Al comparar la relación obtenida de cascarilla (7.71:1) con otro estudio donde la cascarilla de café deshidratada tiene una relación FDI/FDS en el intervalo de 5.40:1, esta diferencia podría ser atribuida al estado de madurez del fruto, ya que, el porcentaje de celulosa y de lignina aumenta con la maduración. (Moreno, 2004) En el caso de esta investigación la madurez del fruto era la sugerida (cereza de café roja) para corte pero en un corte de segunda etapa lo que puede dar frutos más maduros.

La borra de café es otro de los subproductos que presentan alta proporción de fibra insoluble aquí se espera tener mayoritariamente celulosa, hemicelulosa y lignina.

La relación FDI/FDS de la cascarilla y borra de café del presente trabajo es comparable a la de Limón variedad *Eureka* (5.5: 1) y de naranja variedad *Valencia* (5.3: 1) (Figuerola, Hurtado, Estévez, & Chiffelle, 2005.) mientras que los residuos de pulpa de manzana variable. Liberty (9.9: 1), pulpa de manzana variable. Granny Smith (12.9: 1) (Figuerola, Hurtado, Estévez, &



Chiffelle, 2005.) y piña sin cáscara parcialmente agotados (36:1) (Fernández, 2006) presentan una relación más alta; estos comparativos se hacen con productos distintos al café ya que no se han encontrado datos referentes.

Con estos resultados se puede hacer la propuesta de emplear los residuos de café en la elaboración de alimentos, a reserva de hacer más estudios y pruebas como análisis toxicológico.

Para utilizar aditivos que posean fibra (en este caso los residuos de café), se recomienda tener una relación de 3:1 de FDI:FDS; (Redondo-Márquez, 2002) (Guzmán Claud, 2008) los resultados sirvieron para buscar hacer mezclas para llegar a la relación deseada y poder emplear la fibra de los residuos en un alimento.

3.3. Evaluación de actividad antioxidante. (Matthaus, 2002)

El método espectrofotométrico empleado para determinar polifenoles se basa en el descrito por Folin y Ciocalteu (1927), para la determinación de polifenoles totales, se fundamenta en su carácter reductor y es el más empleado. Se utiliza como reactivo una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se reducen al oxidar los compuestos fenólicos, originando óxidos azules de wolframio (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}). La absorbancia del color azul desarrollado se mide a 765 nm. Los resultados se expresan en mg de ácido gálico por 100 g de pulpa de frutos.

Se realizó la extracción de los polifenoles por el método que incluye condiciones de hidrólisis con ácido clorhídrico y alta temperatura en etanol. Se espera que con la hidrólisis ácida se obtenga mayor cantidad de polifenoles ya que se permite la liberación de los polifenoles que se encuentran fuertemente asociados con la pared celular de las semillas (Vincent, Kim, & Kevin, 2007)

En la Figura 32 se presentan los valores de contenido de PF de los residuos de café. Estos polifenoles al poseer grupos fenólicos (mayoritariamente ésteres fenólicos en café) actúan como agentes antioxidantes que ayudan a combatir los radicales libres y a hacer frente al estrés oxidativo (Amarowicz, Dongowski, 2009) por esto que entre mayor sea la concentración de Polifenoles, dicha muestra podría tener mejores beneficios.

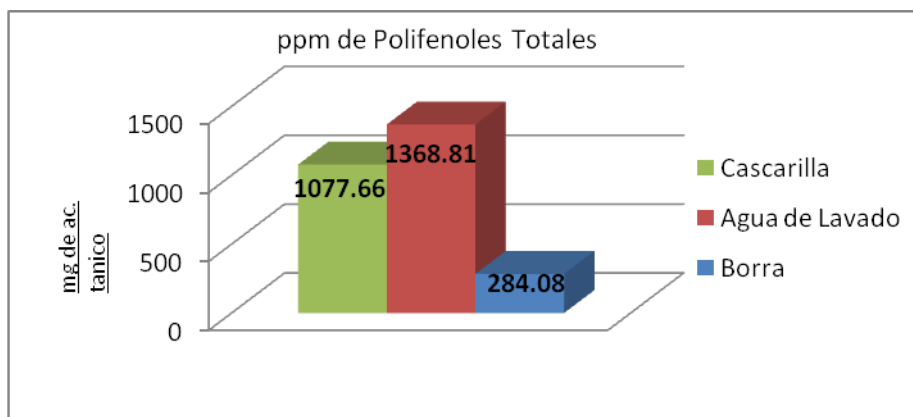


Figura 32. Contenido de polifenoles totales en ppm de los residuos del café analizados.

Se compararon los valores de polifenoles (expresados en mg de ac. tánico/kg) obtenidos en cada residuo de café con los obtenidos por Reyes, 2006 para un estudio de Chia, estos resultados tienen valores entre 1237 y 1497 mg ácido tánico/ kg de extracto de chia Jalisco y extracto de chia Sinaloa respectivamente; por lo que para la cascarilla y agua de lavado se tiene un valor intermedio en comparación con la Chia, lo cual da la posibilidad de que los residuos del café tengan actividad antioxidante; en el caso de la Borra se tienen valores bajos debido a la previa extracción que tiene para obtener la bebida.

3.3.1 Actividad antioxidante.

Este análisis se realizó para determinar la eficiencia de los antioxidantes estandarizados; para esta investigación se eligieron dos métodos basados en la determinación de la capacidad secuestrante, rápidos y sencillos; el DPPH° y el ABTS⁺ en donde el uso de especies radicales libres que al ser capturados por la mezcla polifenólica, provocan un deterioro en el color que se puede cuantificar espectrofotométricamente (Roginsky *et al.*, 2005)

Para las pruebas de actividad antioxidante se utilizaron estos extractos hidrolizados llevados a 200 ppm ya que por norma en los alimentos los antioxidantes comerciales se utilizan en esta concentración. Se realizó al mismo tiempo un ensayo comparativo con Trolox a 200 ppm este como control.



3.3.2 Capacidad secuestrante sobre el radical (DPPH•)

Este método, desarrollado por (Brand-Williams, 1995), se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH•, por antioxidantes. (Siddhuraju *et al*, 2002)

Los resultados de la evaluación de la capacidad secuestrante del radical DPPH° se muestran en la Tabla 12 y en la Figura 33 se muestra la cinética del efecto secuestrante, empleando como control el Trolox.

Tabla 12. Capacidad secuestrante sobre el radical DPPH°

Muestra	CASCARILLA	AGUA DE LAVADO	BORRA	TROLOX
%CS con 50 µL del extracto a 200ppm	17.67	8.97	23.31	93.77

%CS= Capacidad secuestrante del DPPH° t=16 min

En la Figura 33 están representados los resultados de la cinética de actividad de los extractos obtenidos de cada residuo analizado. Se observa un porcentaje de capacidad secuestrante a los 16 minutos (%CS) del radical en el caso del extracto de la Cascarilla de 17.67%, para el extracto del agua de lavado es de 8.97% y para la borra es de 23.31% los tres residuos presentan diferencias significativas entre si. Comparando con el %CS de Trolox que fue de 93.77%, los residuos de café presentan una baja capacidad secuestrante del radical DPPH°, aunque para el caso de la borra se tiene mejor porcentaje.

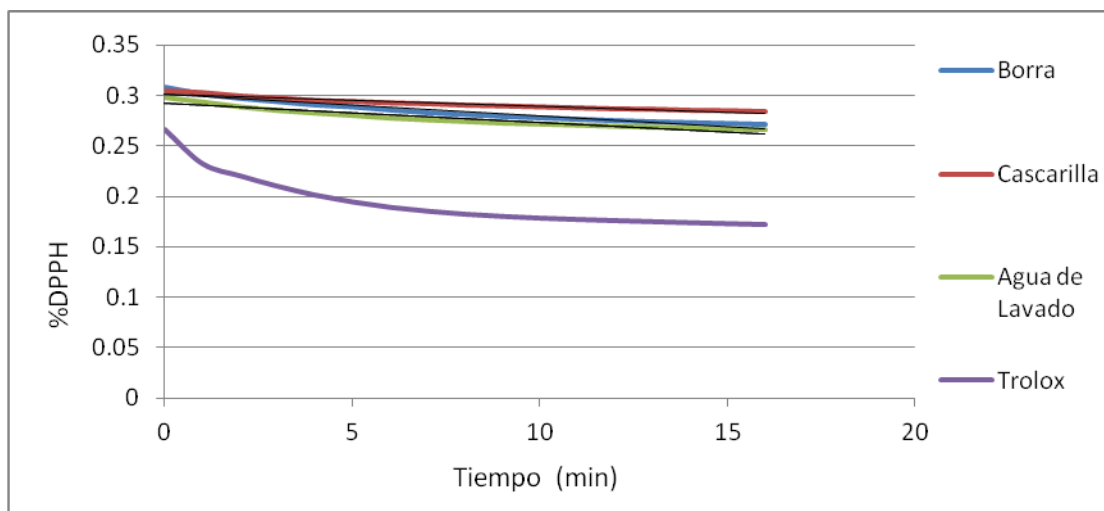




Figura 33. Cinética del efecto secuestrante de DPPH° del extracto estandarizado a 200 ppm de polifenoles totales.

La inhibición para Trolox se da con una mayor velocidad en los primeros 2 min (Ver fig. 33) posterior a este tiempo sigue habiendo inhibición pero con menor velocidad lo que indica que el DPPH° se estabiliza rápidamente con los polifenoles. Por lo que se puede deducir que el Trolox es un buen antioxidante por eso se emplea como control.

3.3.3 Capacidad secuestrante sobre el radical ABTS⁺.

En esta metodología el ABTS tiene que ser generado tras una reacción; el radical ABTS^{•+}. 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. Una vez formado el radical ABTS^{•+} se diluye con etanol hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0,70 ($\pm 0,1$) a 754 nm (longitud de onda de máxima absorción). Con el ABTS se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, este análisis se realizó para evaluar la actividad antioxidante de los residuos del café.

Los resultados para el ABTS⁺ se muestran en la Tabla 13 y gráficamente en la Figura 34. Se comparan los resultados con un control (Trolox).

Tabla 13. Porcentaje de la capacidad secuestrante sobre el radical ABTS⁺

Muestras	CASCARILLA	AGUA DE LAVADO	BORRA	TROLOX
%CS	6.55	14.65	46.10	96.60

%CS= Capacidad secuestrante del ABTS⁺ t=15 min

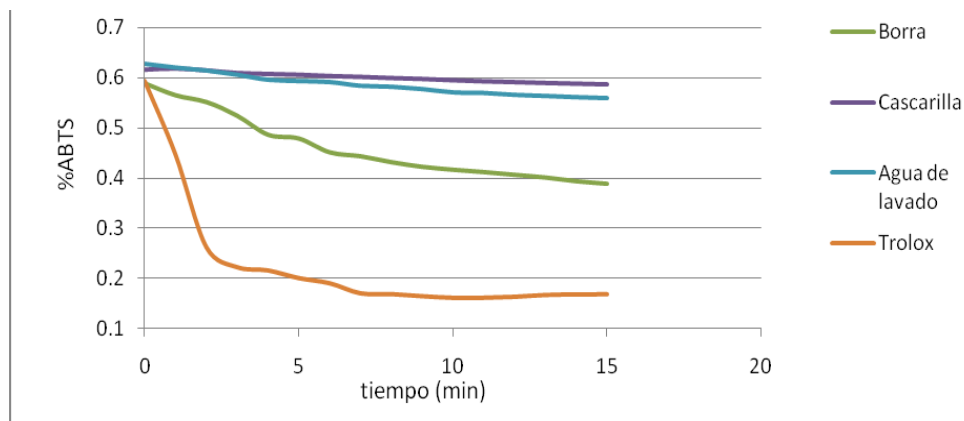


Figura 34. Cinética del efecto secuestrante de $ABTS^+$ del extracto estandarizado a 200 ppm de compuestos fenólicos.

Como se observa en la figura 34, en el caso del Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico 97%), el decaimiento del radical $ABTS^+$ tiene una mayor velocidad de reacción que puede ser causado por el ácido carboxílico presente en el Trolox. Este decaimiento se da mayormente en un intervalo de 2 minutos debido a que se estabilizó el radical $ABTS^+$ con los antioxidantes ya que el Trolox actúa como antioxidante de referencia. (Otro antioxidante de referencia puede ser el ácido ascórbico).

En el caso de los residuos para Borra se tiene un mejor comportamiento comparado con la cascarilla y el agua de lavado; esto se puede deber a la capacidad secuestrante de los compuestos fenólicos, que a pesar de haberse llevado un proceso de tostado del cual se esperaría una reducción de la capacidad antioxidante del café comparada con la del café verde, (debido a la pérdida de compuestos polifenólicos y la formación de otros antioxidantes menos activos), se encontró que el tostado no afectó este residuo de manera importante; ya que es el residuo con mejor actividad observada.

Para el caso de la cascarilla y el agua de lavado se tiene una pendiente y velocidad de reacción muy pequeña esto ya que los compuestos polifenoles encontrados (Cascarilla 1077 ppm y agua 1368 ppm) son poco reactivos; a pesar de en el caso de la cascarilla se esperaría una mayor capacidad secuestrante ya que en esta se pretendía encontrar de manera natural los ácidos clorogénico y caféico principalmente; pudiendo haber reaccionado en algún momento del proceso de este residuo, como en la fermentación.



Comparando ambas técnicas de determinación de actividad antioxidante de especies radicales, se observa que los extractos determinados con ABTS⁺ presentan mejor la capacidad secuestrante. Eso ya que en los primeros 2 minutos el secuestro fue mayor con respecto de la cinética. La determinación con DPPH mostró un menor secuestro respecto a la determinación con ABTS⁺. El tiempo de análisis es menor para el método ABTS, mientras que para el método DPPH se requiere un tiempo mayor, presentándose en algunas muestras muy baja o casi nula capacidad secuestrante, lo que sugiere la realización de estudios adicionales.

Para el caso de las muestras se encontró que la borra tiene un mejor poder antioxidante seguida por el agua de lavado y al final la cascarilla. Con base en esto se esperaría que los residuos con más posibilidades de ser empleados como aditivo en un alimento serían la borra y el agua de lavado, aunque para la cascarilla se considera importante analizarla más a detalle.

3.4 Evaluación de propiedades funcionales.

Es importante evaluar las propiedades físicas de los residuos de la fibra, con las cuales se pueda obtener información para describir el probable comportamiento fisiológico de la matriz fibrosa. En este trabajo se hicieron los análisis de capacidad de retención de agua y capacidad de retención de grasa a los tres residuos del café.

Esta fibra puede estar dirigida a la elaboración de nuevos productos estableciendo una relación óptima y aprovechar las propiedades tecnológicas de la fibra.

En la Tabla 14 se resumen los resultados de la evaluación de dos propiedades funcionales: capacidad de retención del agua (CRA) y capacidad de retención de grasas (OHO) para los residuos.



Tabla 14. Propiedades funcionales de los residuos del café deshidratados

Propiedad Muestra	Capacidad de retención de agua (g agua/g muestra)	Capacidad de retención de grasa (mL aceite/g muestra)
CASCARILLA	11.53 ± 0.43 ^c	0.66 ± 0.16 ^a
AGUA DE LAVADO	9.78 ± 0.07 ^b	0.93 ± 0.10 ^b
BORRA	8.55 ± 0.58 ^a	1.22 ± 0.03 ^c

a-c Letras iguales NO representan diferencia estadística letras distintas representan diferencia significativa con $\alpha=0.05$ entre residuos analizados (Ver Anexo)

Los resultados reportados en la Tabla 14 muestran para la capacidad de retención de agua de los residuos de café deshidratados es alta en función del criterio que indica que, una fibra tiene alta capacidad de retención de agua cuando su valor oscila entre 10 y 12 g/g (Sánchez, 2005).

Comparando los resultados de Reyes, 2006 que son para capacidad de retención de agua de 22.33 para Chia Jalisco, 19.33 Chia Sinaloa; 4.89 en salvado de arroz (Abdul-Hamid, 2006) y 3.5 salvado de avena (Guillon, 2000) se puede decir de manera general que las propiedades evaluadas presentan resultados que se encuentran intermedios a los vistos en los anteriores. Esta situación se debe principalmente a la composición de los residuos ricos en fibra.

Es importante mencionar que para algunos polisacáridos, como la celulosa, la dispersión final no es posible debido a la conformación lineal (la celulosa se hincha pero no se disuelve; resultado contrario con la fibra presente en el agua de lavado (pectinas y mucilago).

Con base en la composición de los residuos se puede correlacionar de cierta manera la capacidad de retención de agua ya que se esperaría que el agua de lavado fuera el de mayor retención de esta debido a las sustancias pécticas presentes que son solubles en agua y tienden a formar geles; la justificación que se da a esto es que en el proceso de liofilización se perdió mucha materia.



La capacidad de adsorción de grasa depende de las propiedades superficiales, densidad, espesor y naturaleza hidrofobicidad de las partículas de la fibra. La capacidad de adsorción de grasa de los residuos del café deshidratados que varía de 0.6 a 1.22 g/g es inferior a los valores reportados para las frutas y vegetales (<2 g/g) y cereales (2 – 4 g/g) (Lefebvre, 1997).

3.5 Residuos del café a emplear.

Con los resultados obtenidos de los tres residuos del café, se tomó la decisión de adicionar únicamente la cascarilla y la borra en la elaboración de las galletas; y para tener el balance de FDI:FDS se adicionó goma guar ya que el residuo de agua de lavado es difícil de manejar y su rendimiento es muy bajo.

3.6. Desarrollo de productos con residuos de café.

3.6.1 Formulación.

Para el desarrollo de la formulación patrón se buscó elaborar un producto cuyas materias primas fueran fácilmente mezcladas con los residuos del café, que no interfirieran químicamente con el residuo y que además de esto se obtuviera un producto con características sensoriales agradables al consumidor; ya que la industria de alimentos busca el desarrollo de nuevos productos que además de satisfacer el gusto del público consumidor le aporte beneficios como es el caso de la fibras y antioxidantes presentes en estos residuos.

A la formulación de galletas adicionadas con la fibra de café (ver figura 35) también se le adicionó goma Guar esto para obtener la proporción de 3/1 entre insoluble y soluble como se recomienda (Sánchez, 2006).

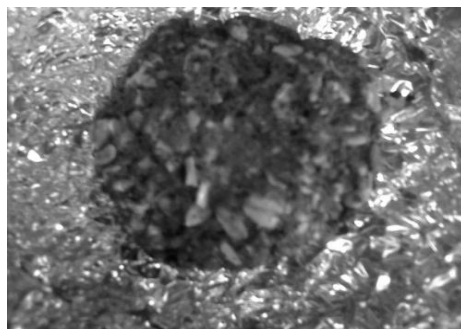


Figura 35. Galleta elaborada a base de residuos de café.



También se redujo la cantidad de grasa (disminuyendo la adición de mantequilla y nuez) ya que en la formulación patrón propuesta se obtuvo un valor de 29.41 % de grasa, que es un porcentaje elevado y no favorable si se busca el desarrollo de alimentos benéficos a la salud.

3.6.2 Determinación de composición química de la galleta con y sin adición de los residuos de café.

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos en base húmeda del análisis proximal realizado a las galletas con y sin adición de residuos de café.

Tabla 16. Composición química proximal de galletas con y sin residuos de café base húmeda.

Muestra Componente	GALLETAS SIN RESIDUOS DE CAFÉ	GALLETAS CON RESIDUOS DE CAFÉ
Humedad (%)	2.22 ± 0.11	4.10± 0.17
Cenizas (%)	1.17 ± 0.02	1.40 ± 0.006
Proteína (%)	14.09 ±0.45	8.98 ±0.12
Grasa (%)	29.41 ± 0.01	7.10 ± 0.81
Fibra soluble (%)	1.78 ± 0.72	3.91 ± 0.58
Fibra insoluble (%)	8.85 ± 0.29	10.24 ± 0.29
Carbohidratos digeribles (%)	42.47	74.51

La galleta adicionada con los residuos cascarilla y borra de café presenta un valor de 4.10% en la determinación de humedad, teniendo un incremento de casi el doble (45.9% de aumento); esto puede deberse a que los residuos incorporados tienden a retener el agua a causa del alto contenido de fibra y a la adición de la goma guar, ya que esta goma es un aditivo que favorece la retención de agua proporcionando la conservación de humedad a la masa aún después del horneado, siendo esto favorable sensorialmente para el producto terminado y para vida útil o de anaquel. (Valderrama, 1996)



En el caso de los minerales se tiene un incremento de 16 % en relación con el valor obtenido en la formulación patrón, este aumento es causado por los residuos adicionados, ya que en particular la cascarilla contiene 6.88% y la borra 1.59% de minerales; analizando estos porcentajes de minerales en los residuos, se esperaría un mayor incremento; este pudo no darse debido a la solubilización de éstos. (Karmas, 1975)

En cuanto al porcentaje de proteína se obtuvo una disminución del 36.3% en relación con la formulación patrón analizada. Esta reducción se debe a que en la formulación de las galletas con residuos de café se redujo en un 36.6% la cantidad de nueces (buscado bajar % de grasa) y debido a que las nueces contienen un valor elevado de proteína (10 – 15 %) al cambiar su porción se obtuvo un porcentaje menor (Agricultura, 2011)

En el porcentaje de grasa se obtuvo la disminución buscada, ya que en la formulación patrón se observó un elevado contenido de grasa (29.41%), siendo un porcentaje poco conveniente para el alimento propuesto; ya que se busca obtener beneficios para la salud con la elaboración de este producto adicionado con los residuos estudiados; con esto no se dice que la grasa sea perjudicial para la salud solo que el tipo de grasa y la cantidad era excesiva para el fin del producto.

Al reducir el contenido lipídico (de la galleta adicionada con residuos) en un 75.85%, esto bajando la cantidad de mantequilla (41.34% menos en relación a la formulación patrón) y nuez (36.6% menos en relación a la formulación patrón) no se vieron afectadas las características sensoriales ni físicas del producto final.

Los valores de fibra obtenidos en las galletas con residuo de cascarilla y borra fueron satisfactorios (FDI 3.91 y FDI 10.24) ya que analizando cada residuo y el porcentaje adicionado de cada uno se ve que se logró tener una proporción de (2.61:1) cercana a la recomendada (3:1); aunque para esto se requirió de el uso de goma guar que tiene valores de 100% fibra soluble debido a que en los residuos se observó que la proporción de la fibra soluble es muy baja (cascarilla 8.08 FDS y borra 9.17 FDS) en relación a la FDI (cascarilla 62.36 y borra 61.56).

El producto obtenido con la adición de residuos y goma guar fue sensorialmente agradable y favorable para tener la proporción adecuada y así brindar los beneficios que otorga la fibra.



3.6.3 Caracterización de la fibra.

En la tabla 17 se muestran valores en el contenido de fibra dietética total (FDT), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS); así como la proporción de éstas con las galletas elaboradas.

Tabla 17. Composición de las fracciones de fibra en las galletas con y sin residuo de café. Resultados expresados en g/100 g residuo

MUESTRA	FDT%	FDI %	FDS %	Relación FDI:FDS
GALLETA SIN RESIDUO DE CAFÉ	10.63	8.85	1.78	5:1
GALLETA CON RESIDUO DE CAFÉ	14.15	10.24	3.91	2.6:1

FDS: Fibra dietética soluble
FDI: Fibra dietética insoluble
FDT: Fibra dietética total

Comparando los valores obtenidos en las galletas sin residuo y las galletas con residuo se encontró que si hubo un aumento del 25% en el valor de FDT; esto hace creer que al consumirse el producto desarrollado se pueden tener los beneficios de la fibra.

En cuanto a la relación que se recomienda (3:1) FDI:FDS se observan resultados más cercanos en las galletas con los residuos (2.6:1) al tener esta relación se puede garantizar una mejor acción de los beneficios de la fibra (Sánchez, 2006)

La IDR para el caso de fibra dietética se requiere una ingesta de 30 g (Hidalgo, 1994) la cual en el caso del producto desarrollado se cubre con la ingesta de 14 galletas ya que las galletas tiene un peso de 15 g y si cada pieza tiene un promedio de 2.2 g de fibra dietética total se requerirían 14 galletas para cubrir la IDR ; aunque se recomienda que esta fibra sea de una dieta balanceada (diversas fuentes de fibra) por lo que se sugiere un consumo de 3 galletas al día, esto ya que el aporte energético por galleta es alto 80 kcal teniendo un aporte total de las tres galletas de 240 kcal y 6.6 g de fibra dietética total.



3.6.4 Evaluación de actividad antioxidante.

Una vez elaboradas las galletas con la adición de los residuos del café (cascarilla y borra) se evaluó la actividad antioxidante del producto. Esto con la finalidad de comprobar que la actividad continúa una vez mezclados los ingredientes y sometidos a un proceso como en este caso el horneado de las galletas con residuos de café.

3.6.4.1 Capacidad secuestrante sobre el radical (DPPH[•])

En la figura 36 se muestran los resultados de la evaluación de la capacidad secuestrante sobre el radical DPPH[•] de la galleta que contenía los residuos de café (cascarilla y borra). Este análisis se realizó conjuntamente con el Trolox empleado como control.

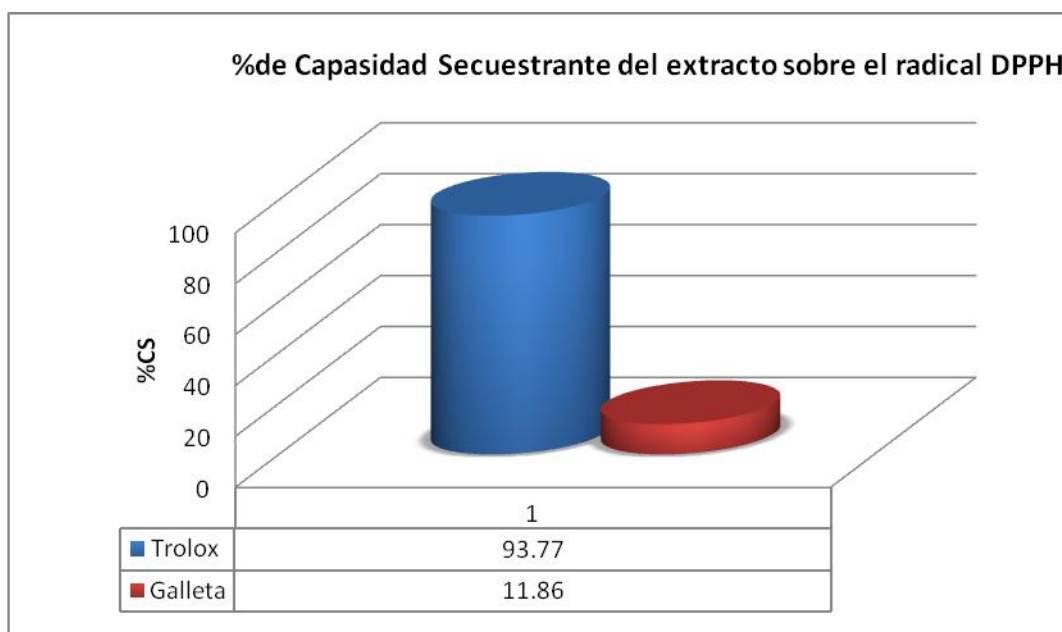


Figura 36. Porcentaje de la capacidad secuestrante del extracto de galleta con residuos de café estandarizada a 200 ppm.

Como se observa en la figura 36 la capacidad secuestrante de la galleta es bajo, % de CS 11.86 con el obtenido por el Trolox. De los residuos obtuvimos que el que mejor capacidad secuestrante tiene es la borra con 23.31% esto se esperaba ya que en el grano de café es en donde se encuentran en mayor cantidad los antioxidantes.

Hubo una disminución de la Capacidad Secuestrante de los dos residuos en el producto elaborado, esto podría ser provocado por el proceso de horneado de la galleta (250°C) pero



no se encontró información que sustentó, lo que puede dejar una area de oportunidad para mas investigaciones.

3.6.4.2 Capacidad secuestrante sobre el radical ABTS⁺

En la Figura 37 se presentan los resultados de la evaluación sobre el radical ABTS⁺ en la galleta elaborada con residuos del café.

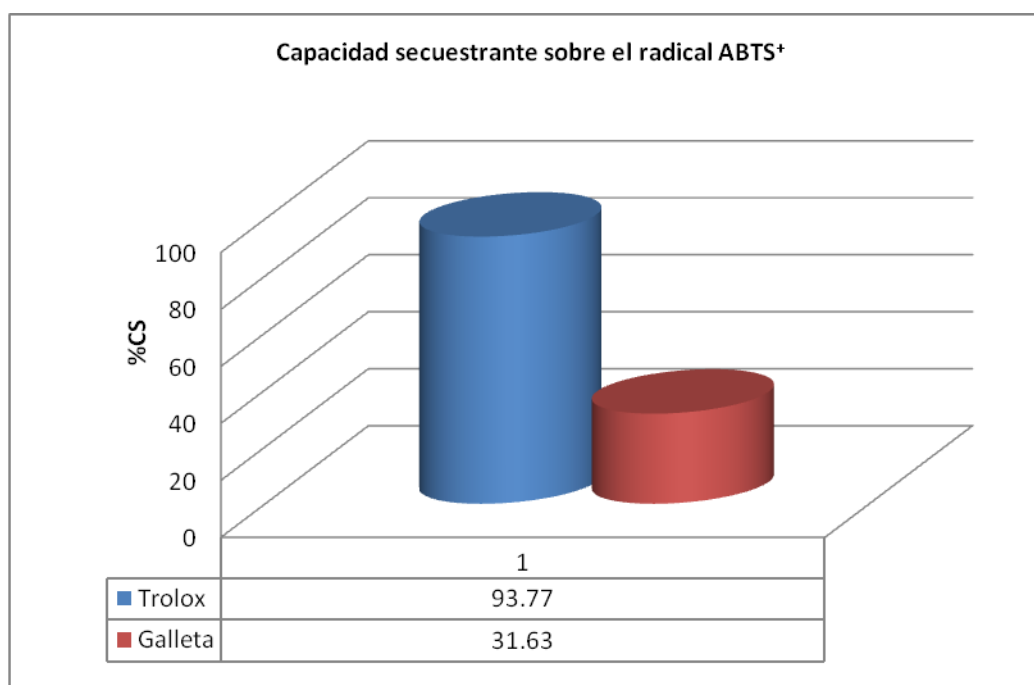


Figura 37. Capacidad secuestrante sobre el radical ABTS⁺ del extracto de galleta con residuos de café estandarizada a 200 ppm.

Con esta técnica se obtuvo un valor mas alto (31.63%) en la capacidad secuestrante que como anteriormente se mencionó se esperaba un mayor porcentaje basandose en los resultados obtenidos en especial con el residuo de borra. Se pudo tener pérdida de éstos antioxidantes en el proceso de horneado o al darse la mezcla por los cambios de pH ya que con respecto a los residuos en especial por la borra se esperaba una actividad antioxidante mayor al 40% .



Tabla 18. Resultados de las dos metodologías utilizadas en el análisis de la actividad antioxidante para cada residuo y para el producto desarrollado con éstos.

Muestras	%CS sobre el radical DPPH*	%CS sobre el radical ABTS ⁺
Borra	23.31	46.10
Cascarilla	17.67	6.55
Galleta con residuos de café	11.86	31.63

En la tabla 18 se muestran los valores obtenidos para cada residuo y finalmente los valores reportados en el alimento desarrollado con dichos residuos. Con esto se confirma que existe una disminución de la CS en el producto, probablemente causada por el proceso de horneado; pero aun así existe este beneficio en el producto, teniendo características antioxidantes.



CONCLUSIONES.

Conocer la composición química de los residuos analizados del beneficio del café y posteriores a este es importante para saber las características y el comportamiento de cada residuo.

Para el caso de la pulpa de café o cascarilla se tiene un residuo compuesto principalmente de celulosa y lignina ya que es una estructura que le da protección al fruto. Con esta composición y el análisis realizado en el presente trabajo se puede concluir que la pulpa de café puede ser una buena fuente de fibra insoluble, minerales y proteína.

En el caso de la borra se tienen valores similares a los de la cascarilla pero con mayor contenido de grasa, siendo un dato esperado ya que la borra proviene del grano de café ya procesado en el cual se encuentran diversos ácidos grasos (causantes del aroma), algunos son volatilizados en el proceso de tostado, pero otros permanecen presentes en el residuo.

El agua de lavado está compuesta a base de mucilago y azúcares, estos y los microorganismos provocan que este residuo fermente rápidamente por lo que se vuelve un residuo difícil de tratar y de secar posteriormente.

El balance obtenido de FDI/FDS es de 7.71:1 cascarilla, 0.04:1 agua de lavado y 6.71:1 para borra por lo que fue necesario realizar una formulación para los alimentos en los cuales fueron aplicados los residuos elegidos. Ya que para que la fibra pueda cumplir con los efectos fisiológicos favorables a la salud se debe buscar el balance de 3:1 FDI/FDS. Lo anterior se logró con las galletas; obteniéndose un producto sensorialmente agradable y benéfico para la salud.

Por su actividad antioxidante los residuos del café pueden ser utilizados como una buena fuente de antioxidantes naturales, siendo más evidente esta característica en la borra (46% en análisis con ABTS⁺ y 23.31 % con DPPH*) para el caso de la cascarilla se obtuvieron los siguientes valores (6.55% en análisis con ABTS⁺ y 17.67 % con DPPH*) .

Debido a su composición química, los residuos evaluados presentaron bajas propiedades funcionales de capacidad de retención de agua (Cascarilla 11.53%, Agua de Lavado 9.76 y



Borra 8.55) y en canto a la capacidad de retención de aceite para la borra se obtuvo un valor más significativo 1.22%.

Para el desarrollo del producto los residuos del café mas adecuados y convenientes a utilizar fueron la borra de café y la cascarilla por su alto contenido de fibra y antioxidantes.



Anexo (Metodologías).

Contenido en fibra dietética total, soluble e insoluble. (AOAC 962.09)

El contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble se lo determinó mediante el método Enzimático – Gravimétrico. La fibra es medida por duplicado en muestras previamente deshidratadas y con un contenido de grasa menor al 10%. Las muestras fueron sometidas a digestión a 98°C con α -amilasa para producir la gelatinización, hidrólisis y la despolimerización del almidón; se incubó a 60°C con proteasa y amyloglucosidasa para producir la solubilización y despolimerización de las proteínas y para hidrolizar los fragmentos de almidón a glucosa. Posteriormente las muestras fueron tratadas con cuatro volúmenes de etanol para facilitar la precipitación de la fibra dietética soluble y para la remoción de la proteína y glucosa despolimerizada proveniente del almidón. Este residuo fue filtrado y lavado con etanol (78 y 95%) y acetona, se sometió a un proceso de secado a 103°C y luego de ello se lo pesó.

Para la determinación de la fibra dietética insoluble, luego de la acción de las enzimas (α -amilasa, proteasa y amyloglucosidasa) se filtra la solución, el residuo es lavado con dos alícuotas de 10 mL de agua caliente, etanol al 95% y acetona, el residuo se seca a 103°C en una estufa durante toda la noche y se enfría.

En el procedimiento para la determinación de fibra dietética soluble la solución que contiene una mezcla de las enzimas empleadas para los procesos anteriormente descritos, fue filtrada, al líquido resultante de la filtración se le agregó etanol al 95% a 60°C para ayudar a la precipitación de la fibra dietética soluble, esta solución se filtró y se lavó con etanol (78 y 95%) y acetona. Finalmente el residuo se secó, enfrió y pesó.

En los tres procedimientos anteriores un duplicado se analizó para proteína y el otro fue incinerado a 525°C para la determinación de cenizas. El valor numérico de la fibra dietética (total, soluble e insoluble), corresponde al resultado de la diferencia entre el peso del residuo



filtrado seco y los porcentajes de la proteína y ceniza determinados independientemente aplicando las técnicas habituales.

Determinación de polifenoles totales. (Matthaus, 2002)

Se tomaron 2 mL de la solución de extracto alcohólico concentrado de FD y se aforaron a un volumen de 5 mL con HCl 0,3%, se tomó una alícuota de 100 μ L de la solución resultante y se adicionaron a 2 mL de Na₂CO₃ al 2%. Después de dos minutos se agregaron 100 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido en agua destilada (1:1v/v). Transcurridos 30 min se leyó la absorbancia a 750 nm usando un espectrofotómetro.

Capacidad secuestrante sobre el radical 1,1-Difenil-2-picrilhidrazil (DPPH°)

Se adicionaron 2 mL de una solución de DPPH° (Sigma Aldrich) 3.6 X 10.⁶ M a 50 ml del extracto de PF estandarizados a 200 ppm. El decremento en la absorbancia a 515 nm se registro continuamente durante 16 min posteriormente en intervalos de 5 min hasta que no se presento variación de la absorbancia (45 a 50 min) a temperatura ambiente. El efecto secuestrante (decremento en la absorbancia a 515 nm y consecuente disminución del porcentaje de DPPH° se trazo gráficamente en función del tiempo. El porcentaje de la capacidad secuestrante sobre el radical DPPH° se calcula de la sig formula:

$$\%CS_{DPPH^{\circ}} = \frac{Abs\ t=0 - Abs\ t=16}{Abs\ t=0} \times 100$$

Capacidad de retención de agua. (Femenia, Lefebvre et al. 1997)

Para determinar la cantidad de agua retenida por un peso conocido de fibra el siguiente procedimiento: se peso 1 g de muestra y se colocó en un tubo de centrifuga, se adicionan 30 mL de H₂O destilada, se agito y se dejo en reposo 18 hrs. Después de este tiempo se centrifugó a 3000 rpm durante 20 min, se decanta el sobrenadante y se pesó el residuo hidratado, posteriormente el residuo es secado a 70°C hasta peso constante (Robertson et. Al., 2000)



Capacidad de adsorción de Aceite. (Femenia, Lefebvre et al. 1997)

En tubos de centrifuga de 40 mL se agregaron 4 g de muestra y 20 mL de aceite de maíz, la mezcla se agitó por 30 min; posterior a esto, se centrifugaron los tubos a 1600g durante 25 min, se decantó y determinó la cantidad de aceite libre, restándosele a los 20 mL iniciales (Abdul Hamid y Luan, 2000)



Bibliografía

Abdul-Hamid, A. L. (2006). *Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran*. Food Chemistry, 68, pp 15-19.

Depto. de Agricultura (2011). *Deposito de documentos de la FAO*. Legumbres , nueces y semillas oleaginosas. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/W0073S/w0073s0v.htm> [Ultimo acceso el 12 de enero del 2012]

Akaki, P.,(2012) Se rezaga México en la produccion de café. *Gaceta UNAM* , pág. 12.[Fecha de publicación 9 de Enero de 2012].

Amarowicz, R., Dongowiski,G. (2009). Influence of Postharvest Processing and Storage on the Phenolic Acids and Flvonoids in Foods. . Molecular and Nutrition Food Research. , 53 pp 151-183.

Andary, C. y Cosson, M. (1997). Histolocalization of plant polyphenols in foods,. Escocia Aberdeen.

Anónimo. (2010). *Red de consumidores de café*.,Disponible en:Red de consumidores de café: <http://www.redcafe.org/industrializacion.htm> [Ultimo acceso Noviembre del 2011]

Aserca-DGOF-DAEM, S. (2008). Mercado Internacional del café. Disponible en: Mercado Internacional del café: <http://www.infoaserca.gob.mx/analisis/cafe.pdf> [Ultimo acceso el 27 de Noviembre de 2011.]

Belitz, H., Grosh, W. y Schieberle, P. (2004). Food Chemistry. pp. 939-951 Alemania: Tercera edición.

Bradbury Allan George William, B. H. (2004). *Patente n° ES2218764T3*. Illinois.

Brand-Williams, W. (1995). Use of free radical method to evaluuate antioxidant activity. Alemania: Lebensm Wiss Technology.

Bressani, R., Estrada, E., y Jarquín, R. (1972). Pulpa y pergamino de café.



Forum del café. La física y química del tueste del café, 2011 [En línea] (Actualizado al 31 de Agosto de 2011). Disponible en: <http://www.forumdelcafe.com> [Ultimo acceso el 11 de Enero de 2012].

Cavin, C.(2002). Cafestol and kahweol, two coffee specific diterpenes with anticarcinogenic activity. *Food Chem Toxicol* (40(8):1155-63).

CECAFE, C. E. (2008). *Historia del café*. Disponible en: CECAFE-GUERRERO: <http://arluccass.tripod.com/cecafe/origen.html>, [Ultimo acceso el 17 de Noviembre de 2011]

Cliford. (1985). *Coffe botanyc biochemistry and production of beans and beverage*. 457 p. Westport, The Avi Publishing.

Cummings, J. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition* , 61 (S1):S5.

Dávila, M., (1996). Lombricultura en pulpa de café. Brasil *CENICAFE* , 11 p No 225.

Eccehomo Delgado, C.(2002). Isotermas de sorcion y secado de pectinas de café. *Revista Colombiana de Física Vol 34* , pp 541 - 544.

El Financiero. (2011). *Incursionará La Selva Café en bebidas funcionales*. [Internet] (Actualizado el 27 de Noviembre de 2011) Disponible en: http://www.franquiciashoy.com/franchise_news_november_2007/incursionara-la-selva-cafe-en-bebidas-funcionales446.cfm [Ultimo acceso el 21 de enero del 2012]

Elena, G. (1999) Degradacion enzimatica y características físicas y químicas. [Ultimo acceso 27 de Diciembre de 2011].

Falguni Guharay CATIE (Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza), 2004. *Manejo de la calidad en el beneficiado humedo*. [En línea] (Actualizado al 08 de diciembre del 2009). Disponible en: http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/cafe_calidad.pdf [Ultimo acceso el 18 de enero del 2012].



Faria, D., Garcia, R., Tonucci, R., y Tavares, V., (2010). Producción y composición de comida para animales con cáscara de café. *Revista Brasileña de zootecnia* , 39 (3) pp 471 -478.

Fernández, M. A. (2006). "Obtención de Concentrado de fibra de Piña . México Ciencia y tecnología de alimentos.

Figuerola, F., Hurtado, M., Estévez, A., y Chiffelle, I. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91(3):pp 395- 401.

Garavito, A., y Puerta, G. (1998). Utilización del micílago de café en la alimentación de cerdos. *Revista Cenicafé (Colombia)* , pp 231 -256.

González-Hita. (2009). Nutrición y salud. México: Ed Cuéllar Ayala.

Guerrero, J. (2008). Estudio de Diagnostico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café. de Estudio de Diagnostico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café. [Ultima consulta Noviembre de 2011]

Guillon, F.(2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. 33: 233-245. *Food Research, International*.

Guzmán Claud, E. (2008). Fibra Dietética. Universidad. de. Chile. . Santiago de Chile: Instituto de Nutrición Chile.

Hidalgo, R. (1994). La fibra dietética. *Los carbohidratos en nutrición humana*. Madrid. Rojas Hidalgo E, editor.<http://4.bp.blogspot.com>. [17 de Noviembre de 2011]

Jaime, L. E. (2002). "Structural Carbohydrate Differences and Potential Source of Dietary Fiber of Onion. *Agricultura y Química de alimentos* , pp 122-128.

James, C. (1999). *Analytical Chemistry of Foods*. Gaithersburg, Maryland. An Aspen Publication.

Karmas, H. (1975). *Nutritional evaluation of food processing*. Londres: 2ª Ed.



Kirk R., (1996). Composición y análisis de alimentos de Pearson . México: segunda edición; Compañía editorial continental SA de CV.

Lardé, G., Velazquez, E., Rodriguez, N., y Hernandez, O. (1997). Situación actual de los desechos líquidos del café en El Salvador". pp. 425 -428. Costa Rica: ICAFE/IICA-PROMECAFE.

Lefebvre, F. (1997). *Physical and Sensory Properties of Model Foods Supplemented with Cauliflower Fiber..* Journal of Food Science , 62. 4: pp 635-639.

Lorenzo del Panta, G. R. (2010). Red Regional para el apoyo a las asociaciones de pequeños productores de café .Se encuentra en: Estudio sistema de tratamiento de las aguas mieles en Salcedo: www.cafeycaffe.org [Ultima revision Noviembre de 2011]

Reyes, E. R. (2008). Papel artesanal a partir de pulpa de café para el desarrollo sustentable del beneficio de café., Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, 94340 Orizaba, Ver, México: Se encuentra en: <http://www3.inecol.edu.mx> [Ultima revision el 8 de Diciembre de 2011]

Moya, M. D. (1990). Obtencion de derivados celulósicos a partir de desechos de café, . Costarica: Agronomia costarricense .

Mañas, E., y Bravo, L.(1994). Sources of error in dietary fibre analysis: Food Chemistry, 50, pp 331-342.

Martínez, A. (2011). Ciencia, tecnología e inovación para la caficultura colombiana. Se encuentra en: [http://www.ipf.com.co/descargas/avance tecnico%20cenicafe zynmucil.pdf](http://www.ipf.com.co/descargas/avance_tecnico%20cenicafe_zynmucil.pdf) [Ultima revision el 27 de Noviembre de 201]

Martínez-Tome, M., y Murcia, M. F. (2004). Evaluation of antioxidant capacity of cereal brans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* , 52, pp 4690- 4699.

Matthaus, B. (2002). Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 50 pp 3445, 3447.



Moreno, V.(2004). Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Costa Rica: Centro agronomico tropical de investigación y enseñanza.

Naczk, M., y Shahidi, F. (1995). Foods phenolics, Sources, chemistry, Effects, Application, Tecnnomic. En M. S. Naczk. Pennsylvania, USA.

Olthof M., (2003). Chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside and black tea phenols are extensively metabolized in humans. *J. Nutrition.* , 133(6):pp 1806-1814. .

Ortega Posadas, M. (2010). Creación de un beneficio de café en la congregación de El Tronconal, Ver., para comercializarlo en café pergamino. (R. A. Córdova, Editor) Encontrado en: <http://www.uv.mx/bbuvi/Beneficio.pdf> [Ultima revision el 2011]

Oxfam, I. (2002). Pobreza en tu taza. La verdad sobre el negocio del café. San Luis.

Pujol Rodriguez, Z. L. (1998). Estudio de Impacto Ambiental del Cultivo y Procesamiento del Café. Programa de desarrollo urbano sostenible. En P. Rodriguez, Programa de desarrollo urbano sostenible. Sistema Nacional para el Desarrollo sostenible. (pág. 20).Costa Rica:

Rathinavelu, R., y Graziosi, G. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Italia: Departamento de Biología de la Universidad de Trieste.

Redondo-Márquez, L. (2002). La fibra terapéutica. . Barcelona: Glosa.

Reyes Caudillo, E. (2006). La chia (Salvia hispánica): fuente de fibra dietética total con propiedades funcionales y antioxidantes. México: Facultad de Química UNAM. Tesis

Robbins, R. (2003). *Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology*: J. Agric. Food Chem. .

Robertson, J. M. (2000). *Hydration properties of dietary fiber and resistant starch*. Collaboraty Study.

Rovira, J. (2011). *La física y la química en el tueste del café*.,se encuentra en: <http://www.forumdelcafe.com> [Utilizado en Enero de 2012]



Sanchez Guzman. (2006). Fibra Dietética. *Unidad de dietética y Nutrición.* , (v.21 supl.2) Madrid.

Souza, A. L., Garcia, R., y Valadares-Filho, S. (2005). Cascara de café en dietas de vacas en lacteos . *Revista Brasileira de Zootecnia.* , 34(6):pp 2496-2504.

Tan Tze Guan, M. W. (2012). *Antioxidant activities of some tropical fruits.* Singapore: Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, National University of Singapore.

Trantwein, E., Kunath, R., y Erbersdobler, H. (1999). Increased fecal bile acid excretion and changes in the circulating bile acid pool are involved in the hypocholesterolemic and gallstonepreventive actions of psyllium in hamsters. *J Nutrition* , pp 129:896-902.

Valderrama, J. O. (1996). *Centro de Información tecnologica.* Chile: Editorial del Norte.

Velioglu, Y., y Gao, L. a. (1998.). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. 46, pp 4113-4117.

Villanova, M., y Carbonell, A. (1974). Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de sosa caustica. Costa Rica: Depto. de estudios Técnicos y diversificación. Tesis

Vincent, H., Kim, E., y Kevin, R. V. (2007). Oxidative stress and potential interventions to reduce oxidative stress in overweight and obesity. *Diabetes, Obesity and Metabolism.* 9: pp 813-839.

Vinson, J., Dabbag, Y., y Jang., M. (1995). Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an in vitro oxi-dation model for heart disease: *J. Agric. Food Chem.* 43, pp 2800-2802.

Wageningen University, T. N. (2010). *Food-Info.net.* Se encuentra en: <http://www.food-info.net/es/products/coffee/chemistry.htm> [Utilizado el día 17 de Noviembre de 2011]

Yen, G., Duh, P., y Chiang., D. (2000.). *Antioxidant activity of an-thraquinones and anthrone.* *Food Chemistry.* 70,pp 437-441.

