



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENOLICOS, CONTENIDO
DE CAFEÍNA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN GRANOS DE CAFÉ
DE DIFERENTES REGIONES PRODUCTORAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

LAZCANO SÁNCHEZ ELIDAI

ASESORAS:

**M EN C. SELENE PASCUAL BUSTAMENTE
DRA. MARÍA GABRIELA VARGAS MARTÍNEZ**

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

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

Identificación de compuestos fenólicos, contenido de cafeína y actividad antioxidante en granos de café de diferentes regiones productoras.

Que presenta la pasante: Elidaí Lazcano Sánchez

Con número de cuenta: 410033700 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"


Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de Junio de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
VOCAL	Q.F.B. Alberto Parra Oaxaca	
SECRETARIO	M. en C. Selene Pascual Bustamante	
1er. SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	
2do. SUPLENTE	M. en C. Alma Adela Lira Vargas	

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

IHM/mmgm*



Bienaventurado el hombre que halla la
sabiduría, Y que obtiene la inteligencia;

Porque su ganancia es mejor que la
ganancia de la plata, y sus frutos más
que el oro fino.

Más preciosa es que las piedras
preciosas; Y todo lo que puedes
desear, no se puede comparar a ella.

PROVERBIOS 3:13-15

Agradezco al COMECYT por la beca otorgada para la presentación de este trabajo, en el

"VIII Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones-AITEP 2014" en la Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito-Ecuador.

Agradezco a la empresa
"CAFÉ ORIENTAL" en
especial al Ing. Gerardo
Vázquez Rangel por el apoyo
y tiempo brindado para que
este trabajo pudiera
llevarse a cabo.



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primordialmente a Dios que me ha dado la sabiduría para poderla concluir.

A mi papá, Luis Lazcano y mi mamá, Guadalupe Sánchez por todo el apoyo brindado para poder concluir esta etapa.

A mis hermanos Luis y Eliel por brindarme su cariño y ánimo para realizar mis sueños.

Al amor de mi vida, llegaste en el momento indicado te amo y te amaré por siempre Iván Espinosa.

Y finalmente a mis hermosas sobrinas, Irais y Keren que trajeron a mi vida más retos para ser ese ejemplo hacia ustedes.

EL PRINCIPIO DE LA SABIDURÍA ES EL TEMOR DE
JEHOVÁ.
PROVERBIOS 1:7

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme una familia maravillosa, por guiarme en todo momento, por levantarme en momentos de desánimo y porque a pesar de como es el ser humano aun así nos recibe para que tengamos lo mejor en esta vida.

A una persona extraordinaria, mi papá, su ejemplo ha sido lo mejor que me ha dado, gracias por tenerme esa paciencia, por escucharme, por todos esos consejos que me ha brindado, gracias por todo el apoyo tanto económico como moral, gracias por amarme como lo hace, LO AMO PAPI.

A la mujer que amaré por toda la vida, mi mami, gracias por dedicarte a nosotros, gracias por todos esos desvelos que te hice pasar, gracias por apoyarme, gracias por aguantar mis ratos feos, te amo mucho MAMI nunca te cambiaría porque por ti has hecho de mí una mujer única.

A mi hermano Eliel, te quiero mucho como no te imaginas, gracias por apoyarme en este trayecto de mi vida, gracias por siempre estar al pendiente de mí, te quiero y siempre querré lo mejor para mi familia.

A mi hermano Luis, que puedo decir de ti, si tan solo el escucharme y al hablar es para mí un orgullo tenerte como hermano, gracias por el amor que me brindas.

Al hombre que me hace feliz, al que me hace sonreír cuando estoy triste, al hombre que sin duda alguna nunca lo cambiaría por nada a ti Iván, gracias por apoyarme en todos mis sueños, te admiro chiquito porque sé que lograrás muchas cosas en la vida, te amo más allá de lo que crees , TE AMO IVAN.

A dos hermosas pequeñas que llegaron a esta familia para dar alegría a nuestras vidas, Irais y Keren, sobrinas las amo mucho y deseo lo mejor para ustedes.

A la familia Ramos Sánchez, Sánchez Rangel, Sánchez Navarro, Herrera Sánchez, Morales Sánchez, Isac y Rosamar Sánchez les agradezco mucho por los consejos dados, que con el ejemplo me demostraron que las cosas se pueden hacer no importando las circunstancias, Tía Susi gracias porque un día me ofreció algo que nunca pude haber imaginado, Tía Sara usted fue la que me impulso a estudiar esta profesión le agradezco mucho, Tío Ramiro mis respetos para usted lo admiro mucho, los quiero mucho tanto tíos(as) como Primos(as), deseo lo mejor para cada uno y que los éxitos sigan creciendo.

A la familia Sánchez Anaya en especial a mi tío Jacinto por sus consejos que siempre fueron atinados, por hacernos pasar momentos felices, A la familia Velasco Sánchez en especial a mi tía Tere que siempre me ha dado de su amor y cariño en todo momento.

A la familia Lazcano Flores, Lazcano Romero, Lazcano Chico, Gonzales Lazcano, Rodríguez Lazcano, Carlos y Mario Lazcano, que sin darse cuenta influyeron en mi vida para ser una gran persona, Dios les bendiga.

A todos los hermanos en la fe que siempre estuvieron al pendiente de mi les agradezco mucho y Dios sea bendiciéndoles en gran manera.

A mis amigos de la prepa; Blanca, Eduardo, Oscar, Laura y Lizbeth, aunque tomamos diferentes caminos, siempre traigo en mis pensamientos todos esos momentos especiales que pasamos, deseo lo mejor para sus vidas y familia, que sigan teniendo mucho éxito en la vida, los quiero mucho.

A una mujer especial que estuvo durante esta etapa compartiendo conmigo momentos de felicidad, tristeza, experiencias, caídas, que siempre se esfuerza por alcanzar sus metas, que demuestra ser una persona comprometida, gracias VERO, te quiero mucho, te deseo lo mejor y recuerda que siempre contarás conmigo, nunca lo olvides.

A mis compañeros(as) Laura, Claudia Andrea, Andy, Vaeli, Gaby, Andrea, Saddam, Tiare, Dacia, Aide, que durante este tiempo hicieron ameno el trayecto de esta etapa, de cada uno llevo un aprendizaje y les agradezco el haberlos conocido, también a los chicos de la generación 33 que los conocí poquito pero también me llevo bonitos recuerdos de ustedes, "muchos éxitos a todos".

A la M. en C. Selene Pascual, por su tiempo, orientación, paciencia, motivación para que yo pudiera concluir este trabajo, de corazón te agradezco todo ese interés que pusiste para la mejora de este trabajo, por todo el apoyo que me brindaste para los congresos, me llevo un gran aprendizaje de ti.

A la Dra. Andrea Trejo, por brindarme en todo momento su apoyo para que se realizará este proyecto, nunca voy a olvidar que me dio todas las herramientas para que se cumpliera la tesis como yo la quería, por compartir con nosotros sus conocimientos, por aconsejarnos para ser cada día mejores, por todos esos momentos que pase en el CAT, por esos viajes que fueron una gran experiencia, por siempre preocuparse por nosotros, sin duda alguna el taller de “frutos y hortalizas” fue una gran decisión, GRACIAS DOCTORA.

A la Dra. Ma. Gabriela Vargas, sí que fue una gran experiencia el haber trabajado con usted, tan solo con el poco tiempo que pudimos trabajar me llevo un pequeño mundo de conocimiento analítico, le agradezco su dedicación para la realización y mejora de esta tesis.

A mis sinodales, Dra. Carolina Moreno, Q.F.B. Alberto Parra, I.A. Alberto Solís y la futura Dra. Alma Lira, gracias por el tiempo invertido en la revisión y mejora de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme las puertas y ser parte de ella, por dejarme haber realizado mi sueño.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por brindarme a los mejores profesores y ofrecerme lo necesario para que adquiriera los conocimientos y experiencias que se requieren para un mundo laboral.

Índice General

Índice General	i
Resumen	9
1. Introducción.....	11
2.1. Generalidades del café.....	14
2.1.1. Clasificación botánica	14
2.1.2. Clasificación morfológica del café.....	14
2.1.3. Importancia económica	16
2.1.3.1. Producción mundial.....	16
2.1.3.2. Producción nacional	16
2.1.4. Especies de café	17
2.1.5. Factores ambientales que están relacionados con la calidad y propiedades del grano de café.	19
2.1.6. Proceso de obtención del grano de café verde.....	20
2.1.6.1. Procesamiento por vía seca	20
2.1.6.2. Procesamiento por vía húmeda.....	21
2.1.7. Proceso de obtención del grano de café tostado	24
2.1.8. Composición química del café	25
2.1.8.1. Cafeína	27
2.1.8.2. Fenoles	28
2.1.8.3. Polifenoles en el café.....	30
2.1.9. Radicales libres y efecto antioxidante	33
2.1.10. Calidad en el café	34
2.1.10.1. Terminología de catación en el café.....	35
3. Objetivos	38
4. Materiales y Métodos	41
4.1. Cuadro metodológico	41
4.2. Material biológico	42
4.3. Tostado de los granos de café verde.....	44

4.3.1. Desarrollo de las curvas de tostado en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México	44
4.4. Tratamiento de la muestra	45
4.5. Evaluación del efecto del nivel de tostado y la región de procedencia en granos de café	46
4.6. Evaluación de los parámetros químicos y el método cromatográfico, en granos de café de diferentes marcas comerciales	46
4.7. Técnica Analíticas	46
4.7.1. Parámetros Físicos.....	46
4.7.2. Parámetros Fisicoquímicos.....	47
4.8. Método cromatográfico	48
4.8.1. Tratamiento de la muestra para la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos y cafeína	48
4.8.2. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos y cafeína por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)	49
4.9. Análisis Sensorial	51
4.9.1. Tratamiento de la muestra	51
4.9.2. Atributos evaluados para el Análisis Sensorial	51
4.10. Análisis estadístico	52
5. Resultados y Análisis	54
5.1. Efecto de la procedencia sobre el color en granos de café verde	54
5.1.1. Efecto de la procedencia sobre el contenido de fenoles totales en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México.....	56
5.1.2. Efecto de la procedencia sobre el contenido de cafeína en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México	57
5.1.3. Efecto de la procedencia sobre la capacidad antioxidante en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México	58
5.2. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el color y luminosidad en granos de café de diferentes regiones productoras de México.....	60
5.2.1. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el contenido de fenoles en granos de café de diferentes regiones productora de México	65
5.2.2. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el contenido de cafeína en granos de café de diferentes regiones de México.	67
5.2.3. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre la capacidad antioxidante en granos de café de diferentes regiones productora de México	70

5.3. Efecto del contenido de fenoles en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales.	72
5.3.1. Efecto del contenido de cafeína en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales.	74
5.3.2. Actividad antioxidante en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales	76
5.3.3. Evaluación sensorial (cuerpo, aroma, acidez y sabor) en granos de café tostado medio de diferentes procedencias.	78
5.4. Influencia de la procedencia y el nivel de tostado en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en granos de café.	80
5.4.1. Influencia de la procedencia en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en café de tostado medio.	85
5.4.2. Influencia de la marca en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en café de tostado medio.	88
Conclusiones	93
Recomendaciones	95
6. Referencias	97
Anexo A	106

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción morfológica de la planta de café	15
Tabla 2. Variedades arabicas que se cultivan en México.....	18
Tabla 3. Composición media de café verde frente a tostado (% materia seca).....	25
Tabla 4. Productos alimenticios con alto contenido de antioxidantes.....	34
Tabla 5. Componentes aromáticos del café.....	35
Tabla 6. Perfil aromático del café	36
Tabla 7. Muestras de café con diferentes niveles de tostado.	42
Tabla 8. Muestras de café de diferentes marcas comerciales.....	43
Tabla 9. Módulos que componen el HPLC marca Shimadzu.	49
Tabla 10. Gradiente programado para la elución de los polifenoles.	50

Índice de Figuras

Figura 1. Café cereza.....	14
Figura 2. Países productores de café (millones de sacos de 6 Kg).....	16
Figura 3. Porcentaje de participación en producción de café verde en México.	17
Figura 4. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía seca.	20
Figura 5. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía húmeda.	22
Figura 6. Diagrama de proceso del grano de café tostado.....	24
Figura 7. Estructura química de la cafeína.	28
Figura 8. Fenol.	28
Figura 9. Elementos estructurales de los polifenoles.	29
Figura 10. Estructura del ácido cafeico.	30
Figura 11. Estructura del ácido clorogénico.....	31
Figura 12. Estructura del ácido quínico.....	32
Figura 13. Tostadora de Café (Marca Porta Café).	44
Figura 14. Curvas de tostado de granos de café verde a los diferentes niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro), provenientes de los estados de Oaxaca (A), Nayarit (B), Puebla (C) y Chiapas (D). 45	45
Figura 15. Molino de Café (Marca Halmiton Beach).....	45
Figura 16. Colorímetro (Marca Konica Minolta Modelo CM-600d).	47
Figura 17. Espectrofotómetro (Marca Thermospectronic modelo Genesys 10 uv).....	48
Figura 18. Cromatografo de líquidos de alta resolución (HPLC) marca Shimadzu.	49
Figura 19. Formato utilizado para el análisis sensorial.	52
Figura 20. Evaluación de croma en granos de café verde 100% Arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México.	54
Figura 21. Luminosidad en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México.....	55
Figura 22. Contenido de fenoles totales en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México..	56
Figura 23. Contenido de cafeína en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México.....	58

Figura 24. Actividad antioxidante en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México.....	59
Figura 25. Cromo en mezclas de café verde 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E)	61
Figura 26. Luminosidad en granos de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E)	63
Figura 27. Contenido de fenoles totales en mezclas de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E).....	65
Figura 28. Contenido de cafeína en mezclas de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz (A), Chiapas (B), Puebla (C), Oaxaca (D) y Nayarit (E).....	68
Figura 29. Actividad antioxidante en granos de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E).....	70
Figura 30. Contenido de fenoles totales en granos de café de marcas comerciales 100% arabica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C)	73
Figura 31. Contenido de cafeína en granos de café de marcas comerciales 100% arabica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C).....	75
Figura 32. Actividad antioxidante en granos de café de marcas comerciales 100% arábica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C).....	77
Figura 33. Análisis descriptivo cuantitativo de los granos de café tostado medio 100% arábico de diferentes procedencias	79
Figura 34. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de ácido clorogénico en granos de café de diferentes regiones productoras.....	81
Figura 35. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de ácido cafeico en granos de café de diferentes regiones productoras.....	82
Figura 36. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de cafeína en granos de café de diferentes regiones productoras.	84
Figura 37. Influencia de la procedencia en la concentración de ácido clorogénico en granos de café de diferentes regiones productoras.....	85
Figura 38. Influencia de la procedencia en la concentración de ácido cafeico en granos de café de diferentes regiones productoras.....	86
Figura 39. Influencia de la procedencia en la concentración de cafeína en granos de café de diferentes regiones productoras.	87

Figura 40. Influencia de la marca en la concentración de ácido clorogénico en granos de café de diferentes regiones productoras.	88
Figura 41. Influencia de la marca en la concentración de ácido cafeico en granos de café de diferentes regiones productoras.	89
Figura 42. Influencia de la marca en la concentración de cafeína en granos de café de diferentes regiones productoras.....	90
Figura 43. Cromatograma de los estándares usados para la identificación de los cafés problema.....	108
Figura 44. Cromatogramas de café verde (A) y café tostado (B).....	109



Resumen





Resumen

Para este estudio se emplearon granos de café y cuatro niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro) procedente de las diferentes regiones de México. En cuanto a los países de Colombia y Vietnam se emplearon granos de café tostado medio. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tostado en granos de café variedad 100% arábica procedente de diferentes regiones de México (Veracruz, Puebla, Oaxaca, Nayarit y Chiapas), también evaluar el efecto de granos de café tostado de diferentes marcas comerciales de los países de Colombia, Vietnam y México sobre el contenido de fenoles, cafeína y actividad antioxidante y por último realizar una evaluación sensorial sobre los granos de café con mayor actividad antioxidante. El contenido de fenoles totales fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu, para la actividad antioxidante se empleó el radical ABTS⁺ y el contenido de cafeína se realizó por espectrofotometría y por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

En cuanto al contenido de fenoles totales se encontró que los procedentes del estado de Veracruz obtuvieron el menor contenido de fenoles con 80.11 mg ácido gálico/g de muestra y los granos de café del estado de Oaxaca tuvieron el mayor contenido con 115.45 mg ácido gálico/g de muestra. En cuantos a los granos de café de diferentes marcas, en promedio los granos de café de Colombia presentaron el menor contenido de estos compuestos con 81.29 mg ácido gálico/g de muestra y los granos de café de México presentaron el mayor contenido con 107.68 mg ácido gálico/g de muestra. En la actividad antioxidante se observó una tendencia que conforme aumenta el nivel de tostado disminuye la actividad antioxidante, los granos de café Colombia obtuvieron la mayor actividad antioxidante. Para el contenido de cafeína, se observó diferencias de contenido entre los métodos de cuantificación realizados, el contenido de cafeína se incrementa ligeramente durante el tueste.

Se concluye que el tostado tiene una influencia directa sobre la composición química de los granos de café y que estos cambios químicos van a ser determinantes en las propiedades sensoriales de la bebida de café.



Introducción





1. Introducción

El café es uno de los productos más comercializados en términos globales y también la bebida no alcohólica más consumida actualmente en todo el mundo. Su alto consumo ha estimulado el desarrollo de estudios relacionados a la actividad biológica del grano y constituyentes del café verde y especialmente el café tostado, que es utilizado para preparar diferentes tipos de bebidas (Gutiérrez, 2002).

El café pertenece a la familia de las rubiáceas, en la que se incluyen más de 500 géneros y alrededor de 800 especies. De todas las especies, solamente se cultivan 10, y dos de ellas han sido descritas como las más importantes por corresponder a más del 90% de la producción mundial: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* conocida como Robusta (Antiasarán *et al.*, 2000).

México ocupa el 6° lugar como productor, ya que en el 2012 se produjeron 1, 336, 882, 14 toneladas de café cuyo valor fue de \$8, 647, 580, 35 pesos (SIAP, 2013) y el 11° lugar como exportador a nivel mundial (SAGARPA, 2013). El café se cultiva en 12 estados de la República Mexicana, destacando Chiapas y Veracruz que concentran el 70% de la producción nacional (México Produce, 2013).

En los últimos años se vienen desarrollando en el mundo propuestas de productos alimenticios con características diferentes a las fisicoquímicas y sensoriales, es decir, alimentos fisiológicamente funcionales; por tal motivo, se ha venido investigando al café, su composición, propiedades y su relación con la salud. Los granos de café contienen antioxidantes como cafeína, ácidos fenólicos (cafeico y clorogénico), polifenoles y alcaloides; el contenido de estos componentes varía entre especies y lugar de origen y le dan al café la calidad de alimento funcional y nutracéutico (Naranjo *et al.*, 2011).

Gutiérrez, (2002), menciona que estos compuestos contribuyen en el aroma y sabor del producto final, siendo los principales determinantes del sabor del café, además de ser los precursores de los pigmentos característicos en la bebida, por otra parte indica que hay estudios que apuntan a que la mayoría de estos compuestos han recibido interés por sus efectos potencialmente protectores



en el tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas (cataratas y diabetes mellitus), cardiovasculares, cáncer, e incluso, neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson (Gutiérrez, 2002).

Por otra parte, el café es un cultivo que tiene gran aceptación a nivel mundial debido a su aroma y sabor distintivos. Estos atributos sensoriales son los más importantes y producen mezclas complejas de numerosos compuestos volátiles (González *et al.*, 2011).

Por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del grado de tostado y las regiones de procedencia en los granos de café, sobre el contenido de cafeína, actividad antioxidante y contenido e identificación de fenoles, para establecer la calidad del producto mexicano en comparación con los extranjeros Colombia y Vietnam.



Antecedentes





2.1. Generalidades del café

2.1.1. Clasificación botánica

El café pertenece al género *coffea* y a la familia de las rubiáceas la cual tiene muchas especies originarias en su mayoría del trópico, y que se distinguen por ciertos caracteres de la flor (Figura 1). Entre las cuales se encuentran las quinas, ipecacuana, los jazmines, las gardenias, entre otras (Saenz, 1990).



Figura 1. Café cereza.

FUENTE: La industria del Café, (2011).

Existen numerosas especies de cafeto y diferentes variedades de cada especie, las especies más importantes son del género *coffea* y son conocidas como:

- ☉ *Coffea Arabica* Linneo (conocido como Arabica o Arábiga). Es originario de Etiopia, crecen en diferentes suelos, a diferentes altitudes, en distintos climas o porque están sujetas a diferentes influencias. El arbusto del café arabica crece en alturas que van desde los 800 a los 2000 metros y su cultivo se desarrolla en plantaciones. Destacan las variedades como, Typica, Bourbon, Java, Criollo (Saenz, 1990).
- ☉ *Coffea Canephora* Pierre Ex Froehner (conocida como robusta). Es nativo de los bosques ecuatoriales del África. Crecen aproximadamente 1000 metros de altura. Se trata de un árbol o arbusto liso, con hojas anchas. Destacan variedades como: Comilón, Kouilloi, Niaouli, Uganda (Saenz, 1990).

2.1.2. Clasificación morfológica del café

La especie de café más extensamente cultivada en el mundo es el *Coffea arábiga*. Las características genéticas de la planta de café se expresaran en dependencia de los ambientes en que se desarrollen y su manejo de años anteriores (Tabla 1) (Blanco *et al.*, 2003).



Tabla 1. Descripción morfológica de la planta de café

PARTE DE LA PLANTA	DESCRIPCIÓN
 <p>Tallo</p> 	<p>Leñoso, erecto, de longitud variable en función al clima y al suelo, en las variedades comerciales varía de 2.0 a 5.0 m de altura.</p>
 <p>Ramas</p> 	<p>El tallo da origen a dos tipos de ramificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La primera que forma un ángulo abierto, que tiene un crecimiento horizontal y que en ella se manifiesta la producción, se le conoce como ramificación plagio trópica. ✓ El segundo tipo de ramificación da origen a los tallos ortotrópicos y surgen del tallo principalmente cuando este ha sido recortado o dañado por plagas o enfermedades. Este tipo de tallos siguen una trayectoria vertical formando un ángulo bastante cerrado con respecto al tallo principal.
 <p>Hojas</p> 	<p>Son opuestas y alternas en el tallo orto trópico de los cafetos jóvenes y en las ramas plagio-trópicas simplemente son opuestas. Son de color verde oscuro y brillante en la superficie y verde claro mate en el interior. Presentan una forma oval y terminan en punta, sus bordes son ondulados.</p>
 <p>Flores</p> 	<p>Se les encuentra formando grupos en las axilas de las flores de las ramas plagiotropicas y en ocasiones acurren en tallos ortrópicos de madera interna. La corona es blanca y formada por cinco pétalos fusionados en su base, dando origen al tubo de la corola, el cual se encuentra inserto en la parte superior del ovario.</p>
 <p>Fruto</p> 	<p>Del resultado de la unión del grano de polen con el ovulo forman el fruto y las semillas. El fruto es una drupa de superficie lisa, brillante de pulpa delgada fácilmente desprendible del pergamino.</p>
 <p>Semillas</p> 	<p>La semilla está compuesta de dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Almendra es dura y de color verdoso. Está cubierta de una película plateada cuando está seca. Y del embrión que es una planta muy pequeña que está dentro de la almendra y se alimenta de ella en los primeros meses de desarrollo de la planta. ✓ Pergamino: protege a la semilla y está cubierto por una sustancia azucarada denominada “mucilago” o “baba”. La parte roja o amarilla del fruto maduro se le conoce con el nombre de pulpa.

FUENTE: Saenz (1990); Imágenes tomadas de: PROCAFE (2014) y FINCA ALTA (2013).



2.1.3. Importancia económica

2.1.3.1. Producción Mundial

En el 2011, Brasil se consolidó como el principal productor mundial de café (entre 43,5 y 48 millones de sacos de 60 kilogramos), seguido por Vietnam (18,5 millones), Colombia (9,2 millones), Indonesia (8,5 millones), Etiopía (7,4 millones), India (4,7 millones) y México (4,4 millones), según datos de la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (Figura 2) (FAO, 2013).

México ocupa el undécimo lugar como exportador de café, destacando Brasil como primer exportador (SAGARPA, 2013).

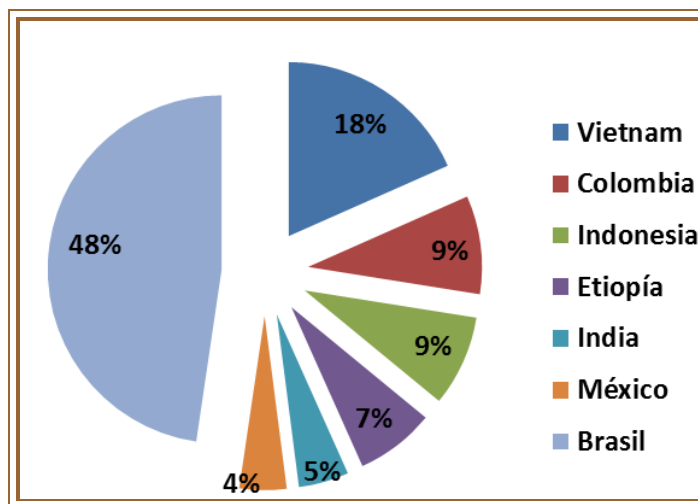


Figura 2. Países productores de café (millones de sacos de 6 Kg).
FUENTE: Elaborado a partir de datos obtenidos de FAO, (2013).

2.1.3.2. Producción nacional

A nivel mundial, México ocupa el sexto lugar como productor de café, la producción de café en el país se concentra en 12 estados, entre ellos Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca con 94% de la producción, 85% de la superficie y 83% de productores (SAGARPA, 2013).



De acuerdo con la información de la Organización Internacional del Café, Chiapas y Veracruz se destacan como los principales estados productores de café en México con un 35%, le sigue el estado de Oaxaca con 12% de participación y en menor porcentaje se encuentran los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, San Luis Potosí y Tabasco con 1.5% (Figura 3) (ANACAFE, 2014).



Figura 3. Porcentaje de participación en producción de café verde en México.
FUENTE: ANACAFE, (2014).

2.1.4. Especies de café

El material genético es uno de los elementos importantes a considerar en la producción de cultivos, ya sea por su productividad, adaptación a las condiciones agroclimáticas y resistencia a plagas y enfermedades. Por lo que en el café, el cambio y promoción de nuevas variedades está muy relacionado con la modificación de los sistemas de cultivo (Saenz, 1990). Las variedades más importantes en las regiones cafetaleras de México provienen de las especies Coffea arabica (Tabla 2).



Tabla 2. Variedades arabicas que se cultivan en México

VARIEDAD	CARACTERISTICAS GENERALES	CARACTERISTICAS DE SABOR
<p>Typica</p> 	<p>Los cafetos de esta variedad alcanzan hasta 4m de altura, su ramificación no es abundante, puede exhibir frutos de color rojo o amarillo.</p>	<p>Agradable buqué, exquisito sabor, acentuada acidez, demasiado aroma y leve cuerpo.</p>
<p>Bourbon</p> 	<p>Los arbustos tienen una forma más cilíndrica y su ramificación es más profusa.</p>	<p>Buen sabor, buena acidez, leve aroma, abundante cuerpo.</p>
<p>Mundo Novo</p> 	<p>Variedad que se originó del cruzamiento natural del Typica y Bourbon, por lo que es un híbrido</p>	<p>Aroma leve, notorio cuerpo, acidez leve y ligeramente suave.</p>
<p>Caturra</p> 	<p>Se le considera una mutación de la variedad Bourbon, sus frutos y semillas son similares, se conocen selecciones con frutos maduros de color rojo y amarillo.</p>	<p>Leve aroma, poca acidez, notorio cuerpo.</p>
<p>Colombia</p> 	<p>Esta variedad de porte bajo es muy parecida al Caturra en cuanto a tamaño y forma del árbol pero tiene resistencia a la royal del cafeto.</p>	<p>Suave, ácido y muy aromático.</p>

FUENTE: Saenz (1990), Santoyo *et al.* (1996). Imágenes tomadas de Monroing (2014).



2.1.5. Factores ambientales que están relacionados con la calidad y propiedades del grano de café.



Ubicación geográfica

El café se produce fundamentalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país. Todas estas son áreas estratégicas para la conservación de la biodiversidad. Más del 70% de los cafetales mexicanos se encuentra arriba de los 600 metros de altitud, lo que aunado a los microclimas, permite una alta calidad. El café de altura, cultivado por arriba de los 900 metros sobre el nivel del mar, es de los más cotizados. De los 12 estados productores, 4 concentran la mayor cantidad: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca (CAFESCA, 2013).



Altitud

El 85% de los cafés producidos se encuentran sobre los 500 msnm, y sólo un 15% por debajo de ellos; el 42% se ubican entre los 500 y los 1000 msnm, y el resto por encima de este nivel. En Chiapas, el 25% se localizan por debajo de los 500 msnm, y en las regiones del golfo solo el 6% están en la altitud, Oaxaca y Veracruz son los estados con mayor proporción de cafetales en zonas elevadas. En términos generales, los cafetales en México se encuentran ubicados a una altura sobre el nivel del mar adecuada para una buena producción (Saenz, 1990).



Clima

Los climas óptimos son los cálidos y semicalidos, con temperatura media anual que oscila entre los 18 y 21°C y no mayor de 26 y 16°C. La precipitación ideal fluctúa entre 1200 y 1800 mm anuales con una temporada seca para permitir la floración de la planta. Se requiere también de días cortos, por lo que los cafetales pueden estar situados en México y fuera de los 23°C de altitud norte y en alturas entre los 300 y 1600 msnm (Saenz, 1990).



Relieve

Los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café, por su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrientes y, por ser aptos para la mecanización.

Deben evitarse pendientes mayores de 45% para que no se produzcan procesos erosivos que deterioren el suelo o, en su defecto, deben aplicarse buenas medidas de conservación, lo cual facilita la producción de café en suelos con pendientes hasta 60 y 70% (Alvarado y Rojas, 1994).

2.1.6. Proceso de obtención del grano de café verde

Con el procesamiento o beneficio del café se consigue el aislamiento de la semilla, mediante la eliminación de las diversas capas que rodean la baya y su secado hasta que el contenido en humedad del haba verde de café sea inferior al 12%. Existen dos métodos esenciales (Antiasarán *et al.*, 2000).

2.1.6.1. Procesamiento por vía seca

Los beneficios por la vía seca manifiestan una buena calidad en aroma, sabor y cuerpo de la bebida, cuando se tienen los controles adecuados en el beneficio del grano (Figura 4) (Antiasarán *et al.*, 2000).

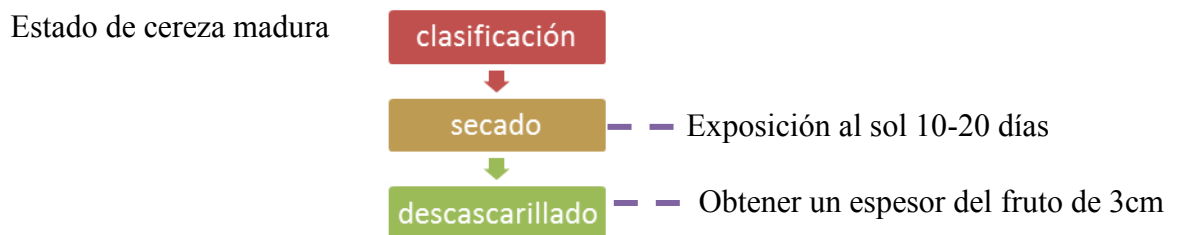


Figura 4. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía seca.
 FUENTE: Elaborado a partir de Antiasarán *et al.*, (2000).



Clasificación: en esta etapa de proceso se separan las cerezas que no están maduras de las que están demasiado maduras y de las que están dañadas, para quitar la suciedad, la tierra, las ramas y las hojas. Eso puede hacerse aventando, por lo general a mano, usando una criba grande. Las cerezas que no se quieran o cualquier otra materia que no pueda aventarse, podrá recogerse de la parte de arriba de la criba. Las cerezas maduras pueden también separarse poniéndolas a flotar en canales de lavado cerca de las superficies de secado (ICO, 2013).

Secado: Las cerezas de café se extienden al sol, o bien en patios grandes de cemento o ladrillo, o bien en esteras alzadas hasta la altura de la cintura sobre caballetes. A medida que las cerezas secan, se rastrillan o se les da vuelta a mano para que sequen por igual. Puede llevar hasta cuatro semanas secar las cerezas al nivel máximo de un contenido de humedad del 12.5%, dependiendo de las condiciones atmosféricas. En los cafetales más grandes se hace a veces el secado a máquina para acelerar el proceso después de que se haya secado antes el café al sol durante unos cuantos días. La operación de secado es la etapa más importante del proceso, puesto que afecta a la calidad final del café verde. Un café que haya secado demasiado se volverá quebradizo y dará demasiados granos quebrados durante la criba (los granos quebrados se consideran defectuosos). Un café que no haya secado lo suficiente tendrá demasiada humedad y será proclive a un rápido deterioro ocasionado por hongos y bacterias (ICO, 2013).

Descascarillado: Las cerezas secas se almacenan a granel en silos especiales hasta que se envían al molino, donde se criban, se separan, se clasifican y se meten en sacos. La descascaradora quita de una vez todas las capas exteriores de la cereza seca (ICO, 2013).

2.1.6.2. Procesamiento por vía húmeda

El proceso por vía húmeda ayuda a reducir y endulzar las notas intensas de fruta, amargura y produce una bebida suave (Figura 5).

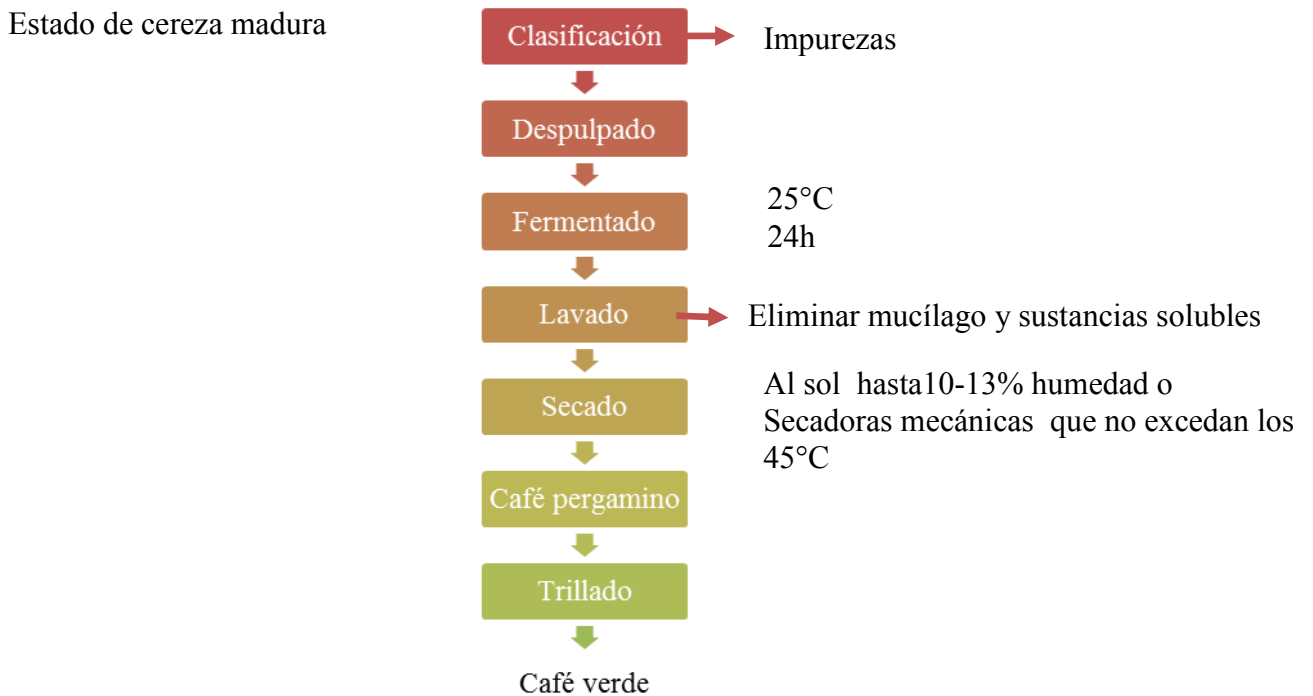


Figura 5. Diagrama de proceso para la obtención de grano de café verde por vía húmeda.
FUENTE: Elaborado a partir de Antiasarán *et al.*, (2000).

Clasificación: La cosecha de café, consiste en recolectar selectivamente solo las cerezas maduras, evitando el quiebre de las ramas y la destrucción de las yemas florales y las hojas. La cosecha de café debe realizarse en estado de cereza madura. Se debe evitar cosechar los frutos verdes o inmaduros, porque tienen bajo rendimiento y provocan en la bebida un gusto verdoso (Duicela *et al.*, 2010).

Despulpado: Consisten en eliminar la pulpa, usando máquinas despulpadoras. Esta operación debe realizarse el mismo día de la cosecha. El café despulpado es colocado en tanques de cemento, plástico y/o madera para su fermentación (Duicela *et al.*, 2010).

Fermentación: Es el proceso por el cual el mucílago adherido al café es degradado por enzimas que ocurren naturalmente en el café cereza y elaborados por la microbiota del producto natural. Después de la fermentación, el mucílago es removido mediante lavado, permitiendo un secado rápido de los granos y una mejora en la apariencia de los mismos, resultando una relación directa en la calidad final de la bebida. Cuando la fermentación de café es prolongada por mucho tiempo,



se produce una sobre fermentación y la influencia de microorganismos se acentúa y comienza el proceso de producción de compuestos responsables de sabores indeseables (Duicela *et al.*, 2010).

Lavado: Se realiza para eliminar todo el mucílago y sustancias solubles que se forman durante la fermentación. En el caso de los cafés fermentados naturalmente se requiere alrededor de 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco. Para lavar el café se utilizan tanques tina o de fermentación, recipientes, canalones, de acuerdo al volumen de producción a beneficiarse y al tipo de planta de beneficio. El agua utilizada para lavar, como en todas las etapas de elaboración, debe ser limpia para asegurar la calidad del producto final (Duicela *et al.*, 2010).

Secado: Es la etapa de beneficio que tiene el propósito de disminuir la humedad del grano hasta llegar al 10-13 por ciento, porcentaje con el que se puede almacenar el café sin sufrir ataques de hongos o adquirir olor y sabor indeseables. El secado natural o al sol se realiza en tendales o patios de cemento; y/o, en las marquesinas y permite lograr una mejor calidad si los granos no se rehumedecen; por eso, es conveniente cubrir inmediatamente el café con lonas, en caso de lluvias. El tiempo del secado al sol depende de las condiciones climáticas de la región, del espesor de la capa de café y de la frecuencia con la que se remueva el grano (Duicela *et al.*, 2010).

Por otra parte se puede secar la semilla en diversos tipos de secadoras mecánicas que utilizan aire a presión, controlando que la temperatura no exceda los 45° C. El área puede ser calentada por medio de estufas, hornos, quemadores que funcionan a base de carbón, leña, energía eléctrica o gas (Duicela *et al.*, 2010).

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

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



2.1.7. Proceso de obtención del grano de café tostado

Una vez depositado de todas sus envolturas, el café verde está listo para ser tostado. Es el proceso más importante que sufrirá el café y de él dependerán muchas de las cualidades que se desarrollarán en la taza (Figura 6). Es un proceso que depende básicamente de la naturaleza del café, de la temperatura, del tiempo y de la cinética de transferencia de calor (Antiasarán *et al.*, 2000).

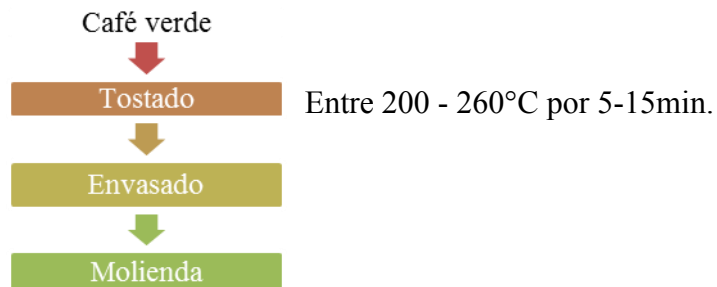


Figura 6. Diagrama de proceso del grano de café tostado.
FUENTE: Elaborado a partir de Mendoza y Calva, (2010).

Tostado: El café verde es sometido a un tratamiento que se lleva a cabo en los tostadores a temperaturas entre 200 y 260°C, durante 5-15 minutos. En este proceso se lleva a cabo una serie de transformaciones con respecto al café verde, como son un aumento de volumen, modificaciones estructurales, cambios de color, pérdida de peso, así como generación de compuestos rápidos y aromáticos (Mendoza y Calva, 2010).

Se pueden definir cuatro grados de tueste: ligero, medio, oscuro y muy oscuro. Dependiendo del país consumidor, se tendrá en cuenta un tipo de tueste u otro. Así, se busca el grado de tueste de acuerdo con el color de grano. En términos generales, cuanto más claro sea el color, menor será el grado de tueste, y el sabor resultará más suave, más ácido, con menos cuerpo y menos amargo. Por el contrario, cuanto más oscuro sea, estará más tostado, tendrá más cuerpo y el sabor será más fuerte, más amargo y menos ácido (Antiasarán *et al.*, 2000).

Envasado: Tras el tostado, el café se somete a un enfriamiento rápido para evitar que se quemé en exceso y pierda los aromas adquiridos; después, ya está listo para su envasado y venta al consumidos directamente en grano o molido. El envasado debe ser en frascos de vidrio, latas o



bolsas laminadas con papel de aluminio, en atmósfera protectora (nitrógeno o CO₂), resguardando del oxígeno y de la humedad, para conservar sus características óptimas (Mendoza y Calva, 2010).

Molienda: Tiene por objeto triturar los granos de café para obtener un tamaño de partícula adecuado y, así, poder realizar el proceso de extracción con agua caliente (Mendoza y Calva, 2010).

2.1.8. Composición química del café

Mucho se ha hablado sobre la composición química del café tostado y los cambios inducidos por el tueste. Las transformaciones son importantes en la mayoría de los componentes del café verde pero otros compuestos permanecen sin cambios, como se refleja en la (Tabla 3) (Antiasarán *et al.*, 2000).

Tabla 3. Composición media de café verde frente a tostado (% materia seca).

CONSTITUYENTES	ARÁBICA		INFUSIÓN ^a
	VERDE	TOSTADO	
Polisacáridos	49.8	38.0	24.0
Lípidos	16.2	17.0	0.8
Proteínas	9.8	7.5	6.0
Agua	8-12	0-5	--
Sacarosa	8.0	0	0.8
Ác. clorogénicos y derivados	6.5	2.5	14.8
Minerales	4.2	4.5	14.0
Cafeína	1.2	1.3	4.8
Ácidos alifáticos	1.1	1.6	---
Trigonelina	1.0	1.0	1.6
Aminoácidos libres	0.5	0	--

^aCafé: Coffea arabica, tueste normal, preparado con 50g/L.

FUENTE: Antiasarán *et al.* (2000); Mendoza y Calva (2010).



Trigonelina

Es una piridina que se encuentra en el café verde en una proporción que oscila entre 0,7 y 1% según la variedad. Este compuesto, aporta sabor amargo, se degrada en parte durante el tostado dando lugar a ácido nicotínico y a la formación de una serie de sustancias de naturaleza pirrónica y piridínica, que ejercen una notable influencia sobre el aroma (Mendoza y Calva ,2010).



Proteínas y aminoácidos

Los aminoácidos se encuentran en el café verde unidos en su mayor parte a proteínas, y libres en un 5%. Los niveles de aminoácidos libres dependen de la maduración del grano. Se ha observado que la concentración de triptófano, treonina, glicina, tirosina, serina, alanina, lisina y arginina, decrece con la maduración: todos ellos son precursores del aroma del café tostado (Antiasarán *et al.*, 2000).



Carbohidratos

Existen preferentemente como compuestos insolubles; además de celulosa, hay otros polisacáridos, formados por manosa, galactosa y arabinosa. Una parte de los polisacáridos se degradan, durante el tostado, en fragmentos que son solubles (Belitz *et al.*, 2011).



Lípidos

La parte lipídica del grano verde se presenta fundamentalmente en el endospermo (triacilglicérols y otros), y un 0.2-0.3% en la capa cerosa que recubre el grano.

La composición de los ácidos grasos es diferente dependiendo de si se trata de la capa externa o no. La cera contiene compuestos fenólicos que derivan de combinación del grupo amino primario de la 5- hidroxitriptamida con ácidos palmítico, araquidónico behénico. La composición de los triacilglicéridos predomina el ácido linoleico (40-50%), seguido del palmítico (30-35%). Dentro



de los ésteres diterpénicos, el más abundante es el palmítico (40-45%), seguido del linoleico (26%) (Antiasarán *et al.*, 2000).



Minerales

Las cenizas del café contienen preferentemente potasio (1.1%), seguido de calcio (0.2%) y magnesio (0.2%). Entre los aniones predominan el fosfato (0.2%) y el sulfato (0.1%) (Belitz *et al.*, 2011).



Compuestos volátiles

El perfil aromático del café está compuesto de las siguientes notas: dulce/caramelo, terroso, azufrado/tostado y a humo/fenólico (Belitz *et al.*, 2011). La presencia de algunos compuestos volátiles se deben a: alcoholes, carbonilos, ésteres, furanos, fenoles y tioles, y la concentración de muchos de estos compuestos aumentan con el tueste, mientras que otros desaparecen por su degradación (Antiasarán *et al.*, 2000).

2.1.8.1. Cafeína

La cafeína (Figura 7) es el componente más importante, en cuanto a las propiedades fisiológicas del café. Es un estimulante del sistema nervioso central, y entre sus acciones cabe destacar la capacidad de incrementar el volumen de sangre bombeada en cada contracción cardíaca y el aumento de la frecuencia cardíaca. Favorece la contracción muscular, aumenta la capacidad respiratoria y retrasa la fatiga (Antiasarán *et al.*, 2000).

La cafeína (1, 37-trimetilxantina), se presenta en el café verde en forma de complejo con el clorogenato potásico, en proporción 1:1. Este complejo es muy poco soluble y de este modo dificulta la libre movilidad de la cafeína por los distintos tejidos; de otro modo, la cafeína resultaría tóxica para las células del café verde (Antiasarán *et al.*, 2000).



El contenido de cafeína es claramente superior en los cafés Robusta; estos cafés contienen el doble de cafeína que los cafés Arábicas (Antiasarán *et al.*, 2000). La cafeína confiere un 10% del característico sabor amargo de la bebida de café (Antiasarán *et al.*, 2000).

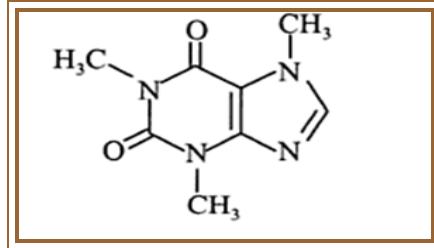


Figura 7. Estructura química de la cafeína.
FUENTE: Blogdisea (2013).

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

2.1.8.2. Fenoles

Los *fenoles* son alcoholes aromáticos. Están compuestos de moléculas que tienen un grupo $-OH$ unido a un átomo de carbono de un anillo bencénico. La estructura que se encuentra en todos los fenoles es el fenol (Figura 8) (Quiñones *et al.*, 2012).

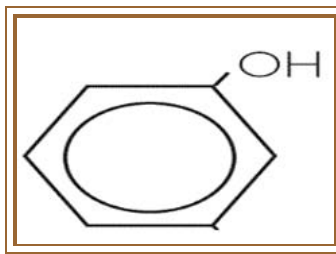


Figura 8. Fenol.
FUENTE: Química (2013).

Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos.



Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Figura 9) (Quiñones *et al.*, 2012).

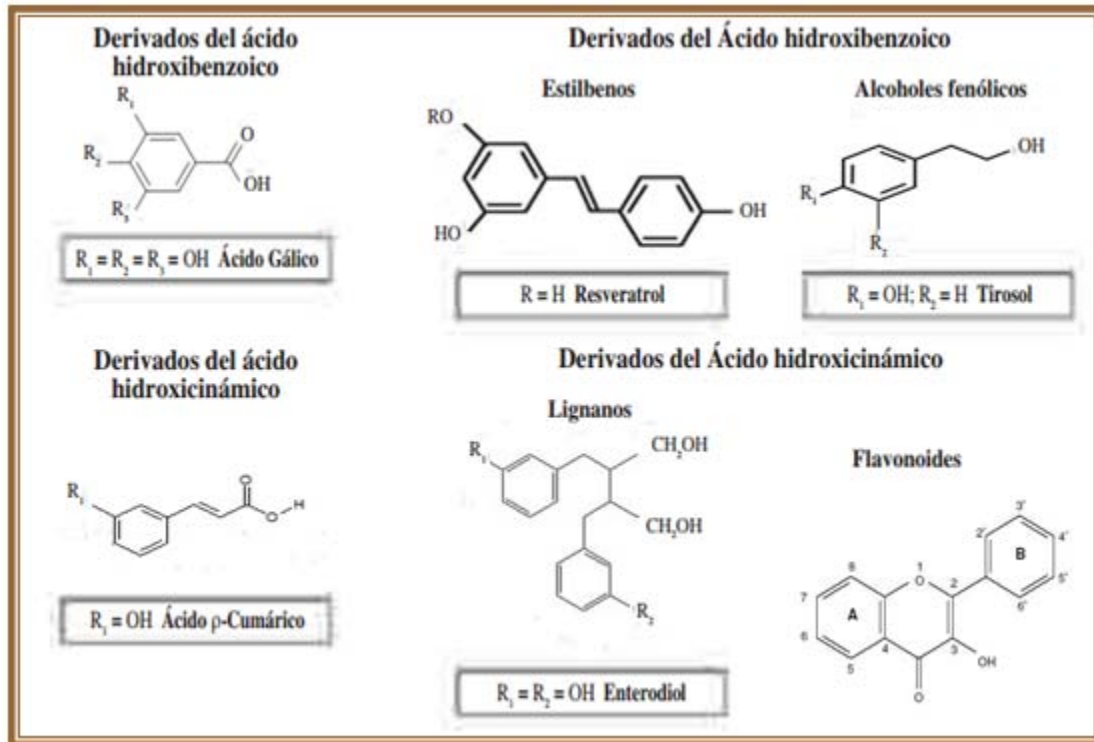


Figura 9. Elementos estructurales de los polifenoles.
FUENTE: Quiñones *et al.* (2012).

Los polifenoles poseen una estructura química ideal para la actividad como consumidores de radicales libres. Su propiedad como antioxidante, proviene de su gran reactividad como donantes de electrones e hidrógenos y de la capacidad del radical formado para estabilizar y deslocalizar el electrón desapareado (termina la reacción en cadena) y de su habilidad para quelar iones de metales de transición (Mendoza y Calva, 2010).

Los polifenoles se originan principalmente en las plantas, que los sintetizan en gran cantidad, como producto de su metabolismo secundario. Algunos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales. Otros participan en funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (hídrico, luminoso, etc.) (Fennema, 2000).



Las fuentes de polifenoles incluyen frutas (frutos cítricos, manzanas, uvas, fresas, cerezas, peras, frambuesas y mangos), verduras (tomates, pimientos, cebollas, brócoli, espárragos y aceitunas), también están presentes en la avena, cebada, arroz, té, vino, chocolate negro y café (Fennema, 2000).

Los compuestos fenólicos disminuyen con el grado de madurez en las frutas, pero aumentan como respuesta al estrés producido por magulladuras y por infecciones fúngicas. La importancia y la magnitud de estas variaciones depende mucho del producto vegetal y de las condiciones de almacenamiento (Fennema, 2000).

2.1.8.3. Polifenoles en el café

Dentro de los compuestos fenólicos encontrados en el café son; ácidos fenólico, cumárico, cafeico y clorogénicos, este último un éster del ácido cafeico y el ácido quínico.



Ácido cafeico

El ácido cafeico (Figura 10) y otros compuestos fenólicos como los ácidos sinápico o ferúlico, incubados en presencia de lipoproteínas de baja densidad (LDL), incrementan la protección de estas lipoproteínas contra la oxidación con la relación cafeico > sinápico > ferúlico.

Estas moléculas pueden ejercer un efecto sinérgico o antagónico cuando están presentes en mezclas complejas (Gutiérrez, 2002).

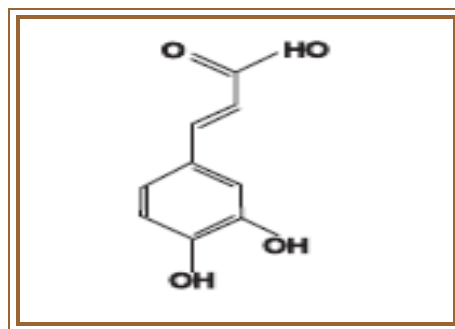


Figura 10. Estructura del ácido cafeico.
FUENTE: Marín y Puerta (2008).



Ácidos clorogénicos

La denominación de ácidos clorogénicos sólo es aplicable al ácido 5-cafeoilquínico (Figura 11), el más importante en la naturaleza en general y el café en particular. Se encuentran en las plantas como metabolitos secundarios y se asocian frecuentemente con protectores contra los ataques de insectos y microorganismos (Antiasarán *et al.*, 2000).

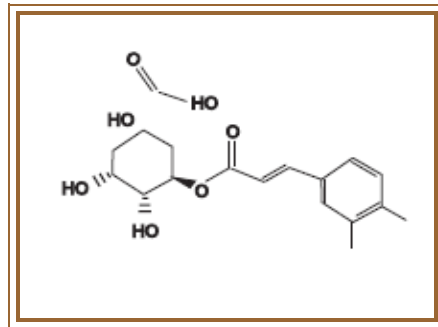


Figura 11. Estructura del ácido clorogénico.
FUENTE: Marín y Puerta (2008)

Están presentes en gran cantidad en el grano de café verde, en forma de sales de potasio, en igual porcentaje que la cafeína 1:1 se encuentra en el café Arábica entre el 6 y 7%, incrementándose en la maduración y decreciendo en la germinación. Por lo que se ha propuesto como un indicador del estado de maduración del grano (Antiasarán *et al.*, 2000).

Los ácidos clorogénicos son los responsables de la percepción organoléptica del amargor y astringencia (Antiasarán *et al.*, 2000).



Ácido quínico

Es el carboxiácido mayoritario en los ácidos clorogénicos su contenido se acentúa en un 1.5% en los granos viejos y son los responsables de la percepción organoléptica de la acidez. Este apreciado atributo está relacionado directamente con la altitud del cultivo del café, y está presente en los denominados cafés de altura, sinónimo de calidad (Figura 12) (Antiasarán *et al.*, 2000).

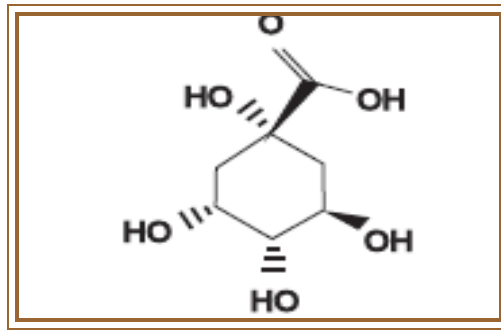






Figura 12. Estructura del ácido quínico.
FUENTE: Marín y Puerta (2008).

Los compuestos fenólicos de las plantas tienen como propiedades generales las de ser antioxidantes, ejercer efectos quelantes y modular la actividad de varios sistemas enzimáticos, de modo que actúan mayoritariamente en la dieta como elementos que promueven salud ante factores químicos, físicos que son estresantes para el organismo y también para disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares y cancerígenas (Quiñones *et al.*, 2012).



Tueste del café

El tueste del café es una fase vital dentro de su cadena de elaboración. Un buen tueste influye más en la calidad de una taza de café, que la bondad de la mezcla escogida. El proceso de tostar los granos del café verde consiste en someterlos durante un tiempo limitado a una alta temperatura, intervalo durante el cual:

-  Pierde peso, alrededor del 15/20%, debido en gran parte a la evaporación de su humedad y en menor parte a la pirólisis de algunos componentes.
-  El grano aumenta de volumen, entre un 30 y un 50% o más.
-  El color amarillo verdoso se transforma en un marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido.
-  La composición química del grano sufre una importante transformación, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. Azúcares, grasas, proteínas, sustancias nitrogenadas no proteicas, ácidos, todo sufre una transformación debido a las altas temperaturas a que es sometido el grano (FEC, 2014).











2.1.9. Radicales libres y efecto antioxidante

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón desapareado, por lo que son muy reactivos, ya que tienden a captar un electrón de otros átomos con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica (Venereo, 2002).

Existe un término que incluye a los radicales libres y a otras especies no radicálicas, pero que pueden participar en reacciones que llevan a la elevación de los agentes prooxidantes y son las especies reactivas del oxígeno (EROS) (Venereo, 2002).

Las principales especies reactivas del oxígeno o sustancias prooxidantes son:

-  Radical hidroxilo (HO)[•]
-  Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)
-  Anión superóxido (O₂⁻)
-  Oxígeno singlete (1O₂)
-  Oxígeno nítrico (NO)
-  Peróxido (ROO)
-  Semiquinona (Q)
-  Ozono

Los antioxidantes de los alimentos pueden ser definidos como cualquier sustancia que es capaz de aplazar, retardar o prevenir el desarrollo de ranciedad en el alimento u otro deterioro del flavor que se produzca como consecuencia de la oxidación (Tabla 4). Los antioxidantes retardan el desarrollo de sabores inadecuado prologando el período de inducción, por lo que su adición al final de este período no consigue retardar el desarrollo del enranciamiento. Los antioxidantes pueden inhibir o retardar la oxidación captando radicales libres (Pokorny *et al.*, 2001).



Tabla 4. Productos alimenticios con alto contenido de antioxidantes.

PRODUCTO	ANTIOXIDANTE
Frijol de soya	Isoflavonas, Ácidos Fenólicos
Té verde, té negro	Polifenoles, Catequinas
Café	Esteres Fenólicos
Vino tinto	Ácidos fenólicos, Polifenoles
Aceites vegetales, germen de trigo, apio y pescado	Vitamina E
Limón, lima, naranja, tomate y coliflor	Vitamina C
Zanahoria tomate, verduras y frutas amarillas y anaranjadas	Carotenoides

FUENTE: Avello y Suwalsky (2006).

Granos de café verdes contienen antioxidantes, tales como los ácidos clorogénico, ácidos fenólicos, polifenoles y alcaloides; su contenido varía principalmente de la especie de árbol (*Coffea arabica* o *Coffea canephora*), de su origen y de las condiciones de tostado (Brezová *et al.*, 2008).

2.1.10. Calidad en el café

En el mercado mundial del café, el factor primordial que determina la decisión del cliente al momento de la compra es la calidad del grano, ello asociado al aroma, sabor, cuerpo, acidez y consistencia del mismo. La calidad se determina por el conjunto de características físicas y organolépticas que motivan a un comprador a pagar un precio diferenciado por el producto, lo que representa un mejor ingreso y mayor rentabilidad para el agricultor. El incumplimiento de los requisitos de calidad del café, no sólo afecta a los caficultores en términos de ingresos, sino que paralelamente, determina que se afecte también a los diferentes eslabones de la cadena productiva de este cultivo (Marín, 2013).

Basándose en su origen, se divide a los componentes aromáticos del café de acuerdo a su procedencia en tres grupos (Tabla 5).



Tabla 5. Componentes aromáticos del café.

GRUPO	CARACTERÍSTICAS
I	<p>Aquellos compuestos que resultan de reacciones enzimáticas que ocurren en el grano del café mientras aún es un organismo vivo. Integrado principalmente por ésteres y aldehídos, los cuales son más volátiles y más comúnmente encontrados en el aroma seco del café recién molido. Este grupo se puede subdividir a su vez en tres categorías básicas; floral, frutal y herbal.</p>
II	<p>Este grupo contiene compuestos aromáticos que resultan de la caramelización que ocurre durante el tostado. Las categorías de este grupo son: aroma a nuez, caramelo y chocolate. Este grupo de compuestos es moderadamente volátil y se encuentra tanto en la taza como en los vapores de la infusión al ser tragada. El grupo está compuesto de aldehídos, cetonas, compuestos carbonílicos de azúcares y compuestos tipo pirazina, los cuales se combinan con las características de gusto para crear los principales atributos del sabor de cada tipo de café que es lo que diferencia un café de otro.</p>
III	<p>A este grupo pertenecen los compuestos aromáticos que resultan de la reacción de destilación seca (quemado) de la fibra del grano, el cual está formado principalmente por compuestos heterocíclicos e hidrocarburos que son menos volátiles y se encuentran sobre todo en los vapores del resabio del café recién preparado. Este grupo comprende tres categorías básicas: terpeno, especia y carbón.</p>

Fuente: Escamilla (1997).

2.1.10.1. Terminología de catación en el café

Las evaluaciones sensoriales nos permiten comunicar lo que es el alimento, como se ha transformado y finalmente si gusta o no al consumidor, al igual que nos va ayudar a mejorar en la calidad del producto (Escamilla, 1997).

La bebida es una infusión preparada mediante la extracción de las sustancias solubles y la suspensión de una porción de las sustancias insolubles del café tostado y molido, utilizando agua recién hervida (NOM-149-SCFI-2001).

La acidez es el sabor primario resultante de la disolución de un ácido orgánico y percibido en las regiones laterales de la lengua, se compara al gusto del ácido cítrico (NOM-149-SCFI-2001).

Los malos sabores son los sabores indeseables en la bebida de café. Estos pueden originarse por errores de procesamiento o por contaminaciones que hayan ocurrido desde la cosecha hasta la



preparación misma de la bebida. Los malos sabores más comunes son: terroso, mohoso, agrio, fermento, hierba y añejo (NOM-149-SCFI-2001).

El sabor es una característica que describe la combinación compleja de los atributos gustativos y olfativos percibidos en la bebida durante la catación (Duicela *et al.*, 2010).

El cuerpo es una característica determinada por el contenido de sólidos solubles en la bebida y resulta de la combinación de varias percepciones captadas durante la catación como la sensación de plenitud y consistencia. El café robusta se caracteriza por tener un elevado cuerpo (Duicela *et al.*, 2010).

De acuerdo a su percepción, se establece que el perfil aromático total del café (Tabla 6) se define como bouquet y que éste está compuesto de los siguientes parámetros.

Tabla 6. Perfil aromático del café

Fragancia	Los gases del café recién molido. Cuando los granos se muelen, la fibra del grano se calienta y se fragmenta, lo que permite que escape bióxido de carbono, el cual al salir, extrae otros materiales orgánicos, arrastrándolos como gases que son predominantes ésteres, los cuales forman la esencia de la fragancia del café. Normalmente la fragancia huele dulce simulando algún tipo de flor o similar a una especia dulce.
Aroma	Son los gases de la bebida recién preparada. Cuando el café molido entra en contacto con agua caliente, el calor del agua cambia parte del material orgánico del café de líquido a gas. Estos gases recién liberados, muchos de los cuales son ésteres de mayor tamaño, aldehídos y cetonas, forman la esencia del aroma del café, la más compleja mezcla de gases de todo el buqué. En general, el aroma es una mezcla de notas frutales, herbales y parecidos a nuez. Aunque el patrón corresponde a café, las notas frutales o herbales normalmente dominan.
Nariz	Los vapores son arrastrados al tragar el café. Cuando el café se sorbe vigorosamente hacia la parte posterior del paladar, material orgánico presente en la bebida en fase líquida cambia a fase vapor. Además se libera inmediatamente cualquier material gaseoso atrapado en el líquido. Estos vapores que son sobre todo compuestos carbonílicos provenientes de los azúcares, forma la esencia de la “Nariz” del café.
Resabio	Al tragar o catar café, cuando se simula el trago al expeler por la laringe para forzar aire en los pasajes nasales algo del material orgánico más pesado de la bebida se vaporiza. Este conjunto de olores forma la esencia del resabio de café, literalmente la sensación de sabor percibida después de la gustativa.

Fuente: NOM-149-SCFI-200.



Objetivos





3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la influencia del grado de tostado realizado a granos de café 100% (*Coffea arabica*) de diferente procedencia mexicana y extranjera, sobre parámetros fisicoquímicos, propiedades sensoriales y la cuantificación de algunos polifenoles individuales, con la finalidad de contribuir a la caracterización de granos de café mexicano con los granos de café extranjeros.

Objetivo Particular 1: Realizar la cuantificación de fenoles totales, actividad antioxidante y concentración de cafeína en extractos de granos de café 100% arabica en granos verdes y con diferentes niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro), de diferentes regiones (Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Nayarit) por métodos espectrofotométricos, evaluando el efecto de procedencia y tostado sobre las características de los granos de café.

Objetivo Particular 2: Implementar una metodología por HPLC que sea capaz de identificar y cuantificar polifenoles individuales de extractos de café 100% arabica en granos verdes y con diferentes niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro), de diferentes regiones (Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Nayarit), así como la cafeína presente en dichas muestras para determinar los cambios generados en estos compuestos debido a la procedencia y el nivel de tostado.

Objetivo Particular 3: Determinar el efecto de la procedencia (Vietnam, México y Colombia) en granos de café 100% arabica con tostado medio sobre el contenido de fenoles, capacidad antioxidante y contenido de cafeína por métodos espectrofotométricos para caracterizar los cafés mexicanos con los cafés extranjeros.

Objetivo Particular 4: Identificar y cuantificar polifenoles individuales de extractos de café 100% arabica con tostado medio de diferentes países (Vietnam, México y Colombia), así como la cafeína por HPLC para comparar los cambios generados por la procedencia.



Objetivo Particular 5: Llevar a cabo el análisis sensorial de los extractos de granos de café 100% arabica con tostado medio de diferentes procedencias (Vietnam, México y Colombia), evaluando el sabor, acidez, aroma y cuerpo por medio de una prueba hedónica de aceptación, para caracterizar los cafés mexicanos con respecto a los extranjeros.

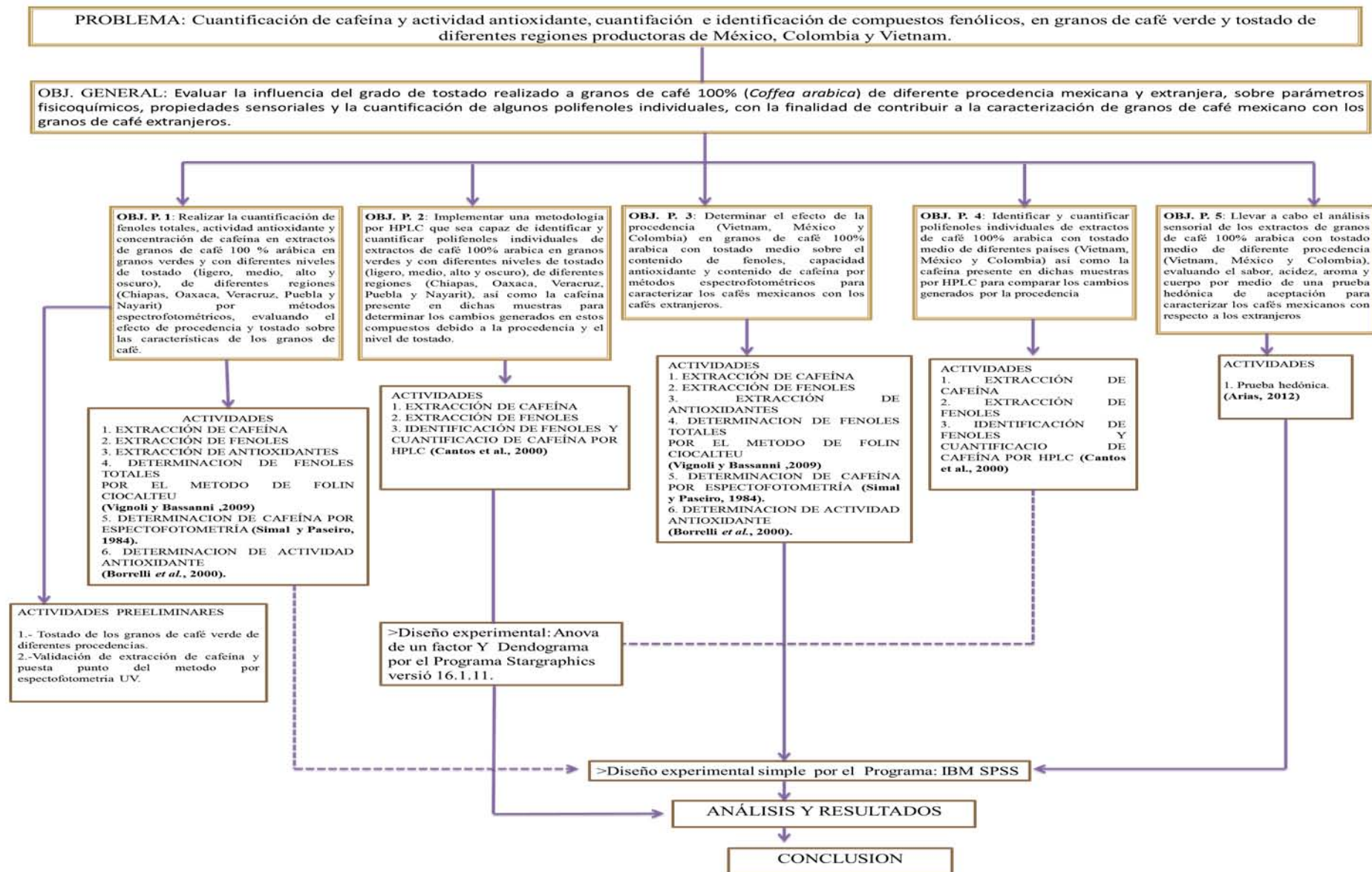


Materiales y Métodos



4. Materiales y Métodos

4.1. Cuadro metodológico





4.2. Material biológico

Se emplearon mezclas de granos de café 100% arabica de diferentes regiones (Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Puebla y Nayarit) los cuales se analizaron en estado verde y con diferentes niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro). Estos granos fueron proporcionados por la empresa Café Oriental y productores de café Pécora. La (Tabla 7) muestra los cafés estudiados.

Tabla 7. Muestras de café con diferentes niveles de tostado.

PROCEDENCIA	CAFÉ VERDE	CAFÉ A LOS DISTINTOS NIVELES DE TOSTADO			
		95 (LIGERO)	75 (MEDIANO)	55 (ALTO)	25 (OSCURO)
OAXACA					
CHIAPAS					
VERACRUZ					
PUEBLA					
NAYARIT					



Para la evaluación de granos de café comerciales se obtuvieron muestras de café procedentes de México, Colombia y Vietnam, los granos de café son mezclas de café 100% arabica con tostado medio. En la (Tabla 8) se muestran los cafés estudiados.

Tabla 8. Muestras de café de diferentes marcas comerciales

PROCEDENCIA	MARCAS COMERCIALES			
MÉXICO	GARAT	PUNTA DEL CIELO	SANTA FE	LOS PORTALES
				
COLOMBIA	1	2	3	4
				
VIETNAM	ARABICA 1	ARABICA 2	ARABICA BUTTERFLY	DA LAT
				



4.3. Tostado de los granos de café verde

Los granos de café de Nayarit, Chiapas, Oaxaca y Puebla fueron proporcionados en verde por lo que se procedió a tostarlos.

El tostado de los granos de café verde, se hizo en una tostadora marca Porta café (Figura 13), fijando diferentes temperaturas según el nivel de tostado que se requirió, las temperaturas fueron; 215°C para tostado ligero, 225°C para tostado medio, 235°C para tostado alto y 245°C para tostado oscuro, obteniendo las curvas de tostado para cada café.



Figura 13. Tostadora de Café (Marca Porta Café).

4.3.1. Desarrollo de las curvas de tostado en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México

En la (Figura 14) se muestran las curvas de tostado a las que se sometieron los granos de café verde de diferentes regiones productoras de México estos granos se colocaron a diferentes temperaturas para tener los niveles de tostado requeridos para este estudio; 245°C para un tostado oscuro, 235°C tostado alto, 225°C tostado medio y 215°C tostado claro, las temperaturas para tostar el café varían dependiendo del productor, ya que comúnmente lo clasifica por el grado de tostado y por comparación visual con los discos de color Agtron (NMX-F-013-SCFI-2000).

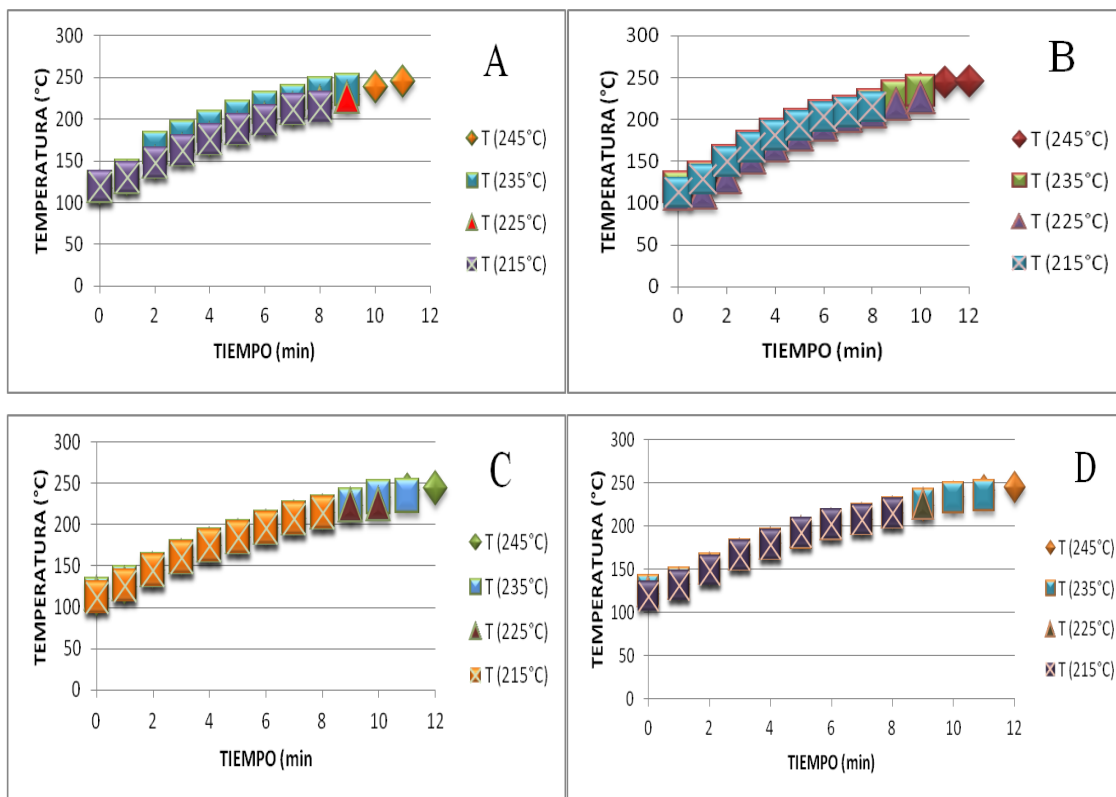


Figura 14. Curvas de tostado de granos de café verde a los diferentes niveles de tostado (ligero, medio, alto y oscuro), provenientes de los estados de Oaxaca (A), Nayarit (B), Puebla (C) y Chiapas (D).

4.4. Tratamiento de la muestra

Las muestras fueron pulverizadas en un molino (Figura 15) marca Hamilton Beach por 30 segundos para asegurar su homogeneización y favorecer la extracción requerida para su posterior análisis físico, químico y cromatográfico.



Figura 15. Molino de Café (Marca Hamilton Beach).



4.5. Evaluación del efecto del nivel de tostado y la región de procedencia en granos de café

Los granos de café de Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz se obtuvieron a diferentes niveles de tostado que posteriormente fueron estudiados por triplicado para su análisis físico (Color y Luminosidad), químico (Fenoles Totales, Cafeína y Capacidad antioxidante) y cromatográfico (Identificación de compuestos Fenólicos y Cafeína por HPLC) descritos en los puntos 4.7 y 4.8.

4.6. Evaluación de los parámetros químicos y el método cromatográfico, en granos de café de diferentes marcas comerciales

Los granos de café de México, Colombia y Vietnam fueron estudiados por triplicado para su análisis químico y cromatográfico descritos en los puntos 4.7 y 4.8, así como también sus propiedades sensoriales descrito en el punto 4.9.

4.7. Técnica Analíticas

4.7.1. Parámetros Físicos

Determinación de color

El color de los granos de café fue determinado con un colorímetro Konica Minolta (CM-600D) (Figura 16) basándose en el modelo CIELAB, en este modelo, el espacio de color es un sistema coordinado cartesiano definido por tres coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) de magnitudes adimensionales. La coordenada acromática L^* es la luminosidad o claridad y representa si un color es oscuro, gris o claro, variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco. Las coordenadas cromáticas a^* y b^* forman un plano perpendicular a L^* . La coordenada a^* corresponde a rojo si $a^* > 0$, o a verde si $a^* < 0$. La coordenada b^* corresponde al amarillo si $b^* > 0$, y al azul si $b^* < 0$ (Carvajal *et al.*, 2011). El valor de luminosidad L^* es el mismo, y las coordenadas cromáticas (C^*) se define usando la siguiente ecuación:

$$C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{(1/2)}$$

Los granos de café se colocaron en una caja petri y por lectura directa del colorímetro se hacen mediciones en diferentes ángulos de la caja.



Figura 16. Colorímetro (Marca Konica Minolta Modelo CM-600d).

4.7.2. Parámetros Fisicoquímicos



Fenoles Totales

La concentración de fenoles totales en extractos de café fue medida por espectrofotometría (Figura 17) basándose en una reacción colorimétrica de óxido reducción. El agente oxidante utilizado fue el reactivo de Folin-Ciocalteu (Vignoli *et al.*, 2009). El contenido de fenoles totales se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva estándar de ácido gálico en un rango de 0 a 1 mg/mL a 765nm, expresándose como mg de ácido gálico/g de muestra.



Contenido de Cafeína

El contenido de cafeína fue medida por espectrofotometría (Figura 17) basándose en la clarificación de la muestra con OMg y soluciones de Carrez (Simal y Paseiro, 1984). Los extractos se obtuvieron de una infusión de 45 minutos con agua y OMg, posteriormente se clarificaron con sales de Carrez. Para la curva patrón se utilizó cafeína estándar con un rango de 0 a 0.1mg/ml a 286nm. Los resultados se expresaron en mg de cafeína/g de muestra.



Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante se basa en la decoloración del radical catiónico ABTS⁺ como resultado de la transferencia de un átomo de hidrogeno de un compuesto antioxidante (Borrelli *et al.*, 2002). Los extractos se obtuvieron de una infusión con agua a 75°C con una relación 1:3 y se dejaron reposar por 5 minutos. El radical libre fue producido mediante la reacción con persulfato de potasio y el reactivo ABTS. Para la curva patrón se realizaron soluciones preparadas del estándar Trolox. Que fueron leídas a una absorbancia de 734nm en un espectrofotómetro (Figura 17). Los resultados se expresaron en mmol equivalentes de Trolox/g de muestra.



Figura 17. Espectrofotómetro (Marca Thermospectronic modelo Genesys 10 uv).

4.8. Método cromatográfico

4.8.1. Tratamiento de la muestra para la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos y cafeína

La extracción de la muestra se basó en la metodología de Pérez *et al.*, (2012), con ligeras modificaciones. Se pesaron 8.0 g de muestra (café verde y tostado en grano), el grano se pulverizo previamente en un molino (Halmiton Beatch) por 30 segundos, para después realizarse la pesada. Se colocó la muestra en el porta-filtros de una cafetera a presión (marca Krups), se dreño el vapor de agua, tomando al finalizar del proceso 30 mL resultantes de la infusión dejándose enfriar por 3 min. El sobrenadante fue filtrado en papel Whatman No. 40, descartándose los sólidos del fondo y añadiéndole el estándar interno de ácido salicílico para posteriormente aforar a 50 mL con agua desionizada. Finalmente, se filtró la solución con



acrodiscos (marca Millipore) de apertura de 0.45 μm colocándose la muestra en viales de 1.5 mL para su análisis en el HPLC.

4.8.2. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos y cafeína por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

La identificación de los compuestos fenólicos y la cafeína se basó en el método descrito por Cantos *et al.*, (2000) con algunas modificaciones. Se introdujeron 20 μL de extracto a una columna $\mu\text{Bondapak C}_{18}$ (ODS 3.9 x 150 mm, 10 μm tamaño de partícula) en un equipo de cromatografía de líquidos de alta resolución (Figura 18) equipado con los módulos indicados en la *Tabla 9*.



Figura 18. Cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) marca Shimadzu.

Tabla 9. Módulos que componen el HPLC marca Shimadzu.

Instrumento	Características
Bomba mecánica	Marca SHIMADZU Modelo LC-10AT
Desgasificador	Marca SHIMADZU Modelo DGU-14A FCV-10AL
Mezclador	Marca SHIMADZU
Auto Inyector	Marca SHIMADZU Modelo SIL-10A
Horno de la columna	Marca SHIMADZU Modelo CTO-10A
Detector de arreglo de diodos	Marca SHIMADZU Modelo SPD-M20A
Controlador	Marca SHIMADZU Modelo CBM-20A



Los disolventes que se emplearon fueron ácido fórmico al 5 % (disolvente A) y metanol grado HPLC (disolvente B) previamente filtrados y desgasificados. Los tiempos del gradiente de elución se muestran en la (Tabla 10).

Tabla 10. Gradiente programado para la elución de los polifenoles.

Tiempo (min)	Fase móvil A (%)	Fase móvil B (%)
0 - 25	100	0
25 - 40	5	95
40 - 50	5	95
50 - 55	100	0
55 - 70	100	0

Para el análisis cualitativo en la identificación de los fenoles, se realizó por adición del estándar específico y confirmación por el incremento de su señal. Adicionalmente, los espectros de absorción de los analitos los cuales fueron comparados con los espectros de absorción de estándares en base de datos, reiterándonos la identificación inequívoca.

Para el análisis cuantitativo se obtuvieron las alturas de los picos de cada componente y se utilizó el método de Factor de respuesta (FR) que consistió en la medición repetida de una mezcla de estándares de ácido clorogénico, ácido cafeíco, cafeína y un estándar interno (ácido salicílico) a concentraciones de 100.70, 102.90, 102.96 y 105.96 ppm respectivamente (ver Ec. 1). Para la detección se midieron los cromatogramas a 3 longitudes de onda (272 nm para cafeína, 296 nm para ácido salicílico y 325 para ácido clorogénico y ácido cafeíco), además de que se obtuvieron los espectros de absorción a cada hertz colectado.

$$FR_{Fenol} = \frac{[E.I.]_{STD} * H_{Fenol}}{[Fenol]_{STD} * H_{E.I}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

FR_{Fenol} = Factor de Respuesta por cada fenol

$[E. I.]_{STD}$ = Concentración del estándar interno (ácido salicílico)

$[Fenol]_{STD}$ = Concentración del fenol estudiado

H_{Fenol} = Altura del Fenol



$H_{E.I.}$ = Altura del Estándar interno

Después de obtener los factores de respuesta de cada estándar del fenol específico y la cafeína, se procede a obtener la concentración de los fenoles (ácido clorogénico y ácido cafeico) y cafeína en los extractos problema de café, mediante la Ecuación 2:

$$[Fenol]_{Extracto} = \frac{[E.I.]_{STD} * H_{Fenol}}{H_{E.I.} * FR_{Fenol}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

$[Fenol]_{Extracto}$ = Concentración del fenol estudiado en el extracto de café

$[E. I.]_{STD}$ = Concentración del estándar interno (ácido salicílico)

H_{Fenol} = Altura del Fenol (en el extracto)

$H_{E. I.}$ = Altura del Estándar interno

FR_{Fenol} = Factor de respuesta obtenida con anterioridad de la Ec.1

4.9. Análisis Sensorial

Se realizó el análisis sensorial en granos de café procedentes de México marca Santa Fe, Vietnam marca Arabica Butterfly y Colombia No.4, estos fueron clasificados por su alta actividad antioxidante. Por lo consiguiente se utilizó una prueba hedónica de aceptación (Arias, 2012).

4.9.1. Tratamiento de la muestra

Se pesaron 60g de café por un litro de agua. La preparación de la bebida se hizo por infusión en una cafetera eléctrica marca Oster, la infusión se vertió en vasos de plástico para su análisis sensorial (Escamilla J. T., 1997).

4.9.2. Atributos evaluados para el Análisis Sensorial

A continuación se presenta el formato utilizado por los panelistas usando una prueba hedónica (Figura 19), con una escala del 0-4 para la descripción y calificación de los descriptores del perfil aromático del café.



HOJA DE RESPUESTA

Nombre: _____ Fecha: _____

Frente a ti se presenta un set de 3 muestras, evalúa a cada una de ellas de acuerdo a los parámetros que se indican de lado izquierdo.

NOTA: Para evaluar cada parámetro, en la parte de abajo se indica la escala de cada uno de acuerdo a la letra correspondiente.

		415	721	931
^A AROMA		_____	_____	_____
^B CUERPO		_____	_____	_____
^C ACIDEZ		_____	_____	_____
^D SABOR		_____	_____	_____

LETRA	A	B	C	D
	0 AUSENTE	0 LIGERO	0 AUSENTE	0 NO MEGUSTA
	1 LIGERO	1 MEDIO	1 DEBIL	1 MEDIO ME GUSTA
	2 MEDIO	2 REGULAR	2 LIGERO	2 NO ME GUSTA NI ME DISGUSTA
	3 COMPLETO	3 BUENO	3 MEDIO	3 ME GUSTA POCO
	4 RICO	4 COMPLETO	4 COMPLETA	4 ME GUSTA

Figura 19. Formato utilizado para el análisis sensorial.

4.10. Análisis estadístico.

Para los parámetros físicos y fisicoquímicos se aplicó un análisis de varianza anova y comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5% por el programa estadístico IBM SPSS.

Para el método cromatográfico (HPLC) se aplicó un análisis de anova de un factor y multivariante aplicando un nivel de significancia del 5% por el programa estadístico Stargraphics versión 16.1.11.



Resultados y Análisis





5. Resultados y Análisis

5.1. Efecto de la procedencia sobre el color en granos de café verde

El mantenimiento de la coloración verde, verdoso o verde azulado de los granos de café durante el almacenamiento es muy importante, dado que esta característica visual a menudo determina la aceptación o rechazo del producto durante su comercialización (Meira *et al.*, 2013).

El croma representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo, y puede relacionarse con el ancho de banda de la luz que estamos visualizando (Moreno, 2004).

En la Figura 20 se muestran los resultados obtenidos en el parámetro de croma para los granos de café verdes.

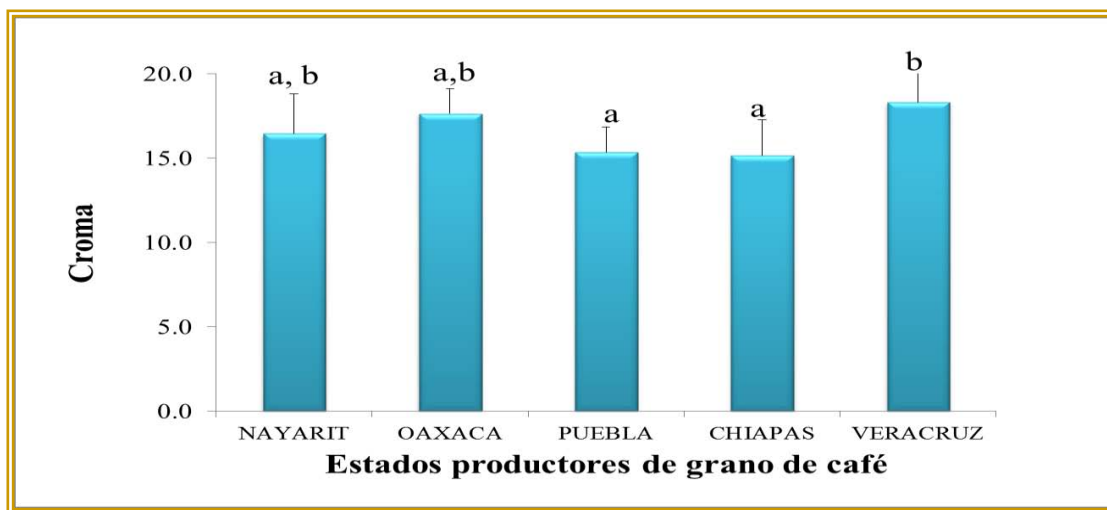


Figura 20. Evaluación de croma en granos de café verde 100% Arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México. Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café verde procedentes del estado de Veracruz presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro, quienes tuvieron un mayor croma de 18.32, siguiéndole los granos de café del estado de Oaxaca con un croma de 17.64 y en menor croma el estado de Chiapas con 15.16. Herrera (2013), estudio granos de café verdes 100% arábica variedad Typica de diferentes procedencias, obteniendo un intervalo de 4.87-5.60 de croma, así en este estudio se puede ver que



se obtuvieron mayores cromas comparados con este autor, la diferencia de cromas se puede atribuir al proceso de secado de la semilla del café ya que un buen secado brinda una buena apariencia uniformidad del color y mejores cualidades en la bebida (Marín, 2013), en los cafés estudiados el color del grano es verde, Puerta (1999), menciona que el color del café almendra beneficiado por vía seca es amarillo o café, en comparación con el grano de café procesado vía húmeda que es verde.

La coordenada acromática L* es la luminosidad o claridad y representa si un color es oscuro, gris o claro, variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco (Carvajal *et al.*, 2011).

En la Figura 21 se presentan los resultados obtenidos de luminosidad en granos de café verde de diferentes procedencias.

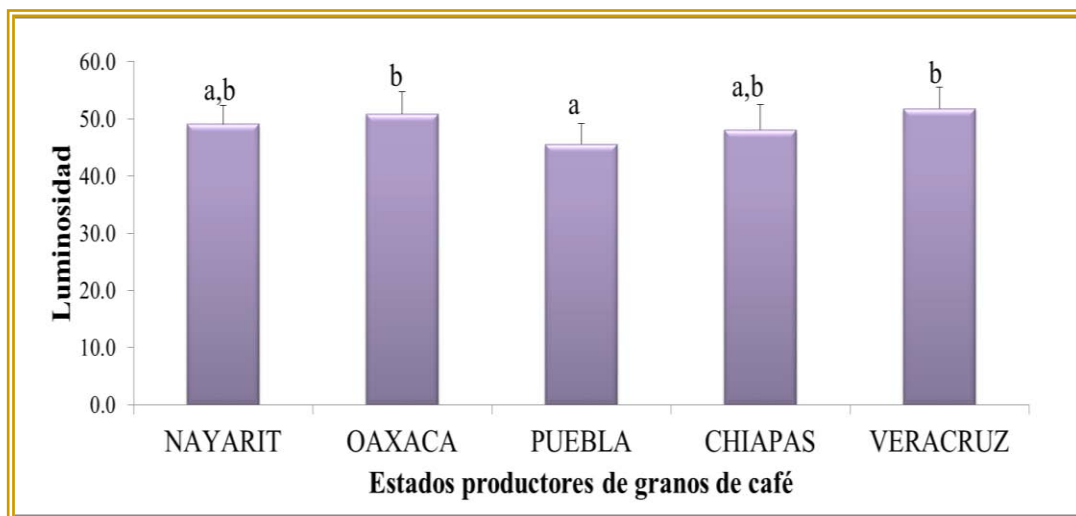


Figura 21. Luminosidad en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México. Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café procedentes de Puebla presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la luminosidad con respecto a los granos de café verdes procedentes de Oaxaca y Veracruz, presentando los granos de café procedentes de Veracruz 51.89 de luminosidad, prosiguiendo los granos del estado de Oaxaca con 50.90 y los granos que presentaron menor luminosidad fueron



del estado de Puebla con 45.64. Herrera (2013) estudio granos de café verdes 100% arábica variedad Typica de diferentes procedencias, obteniendo un intervalo de 41.99-47.81 de luminosidad. Los resultados de este trabajo fueron mayores en un 8% en comparación del autor citado esto se atribuye que durante el proceso del beneficio, el secado del grano depende de las condiciones (temperatura y tiempo de secado). Meira *et al.* (2013) indica cambios en el color de granos de café verde y tostado debido a la aparición de los procesos oxidativos y transformaciones bioquímicas enzimáticas naturales que alterará la composición de los precursores responsables del sabor y el aroma de los granos, dando como resultado una disminución de la calidad en la bebida del café .

5.1.1. Efecto de la procedencia sobre el contenido de fenoles totales en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México

En el café verde existe una gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos, ejemplificados por los ácidos clorogénico, cafeico, fenólico y cumárico (Gutiérrez, 2002).

En la Figura 22 se muestran los resultados obtenidos en el contenido de fenoles totales para los granos de café verde de diferentes regiones productoras de México.

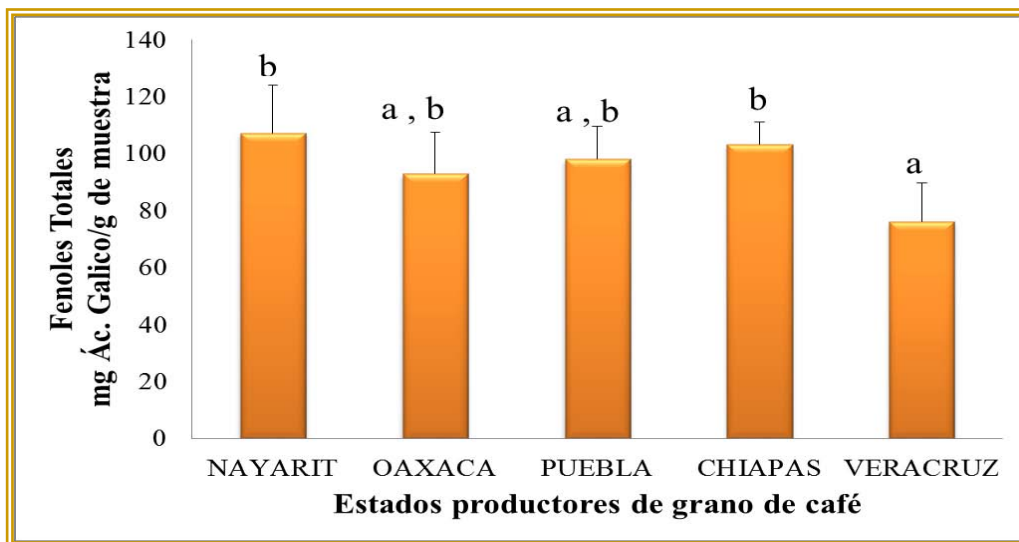


Figura 22. Contenido de fenoles totales en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México. Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Los granos procedentes del estado de Nayarit tuvieron mayor contenido de compuestos fenólicos con 107.23 mg ácido Galico/g de muestra, seguido de los granos de Chiapas con 103.34 mg Ac. Gálico/g de muestra presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de compuestos fenólicos con respecto a los granos procedentes de Veracruz (76.10 mg ácido Gálico/g de muestra). La concentración y composición de los compuestos fenólicos en el café dependen fuertemente de las condiciones de procesamiento, principalmente, la etapa de molienda del grano. De igual forma, factores genéticos (especie y variedad), aspectos fisiológicos (grado de maduración), condiciones ambientales (clima, composición del suelo y prácticas agrícolas), tienen gran influencia en la composición de los compuestos fenólicos del café verde (Farah y Donangelo, 2006), así también como la procedencia ya que para obtener mejores compuestos fenólicos en el café, la altura adecuada para la siembra es de 600 msnm hasta 1,400 msnm (Cafés de México, 2006). Pérez *et al.*, (2012) estudiaron granos de café verde variedad Caracolillo del estado de Veracruz donde reportan resultados de 65.19 mg Ác. Gálico/g de muestra, por lo que este autor obtuvo una menor concentración del 15% de ácido gálico en los granos de café, con respecto a los granos de café del estado de Veracruz de este trabajo, esto se puede atribuir a que en este trabajo hay una mezcla de cafés arábicas.

5.1.2. Efecto de la procedencia sobre el contenido de cafeína en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México

La determinación de cafeína ha adquirido mucha importancia, debido a su uso en la industria farmacéutica y en la industria de alimentos; ya sea como ingrediente en la elaboración de refrescos y bebidas energéticas, o por su presencia en productos como el té, el mate, el cacao y el café (Gallignani *et al.*, 2008).

La Figura 23 presenta los resultados obtenidos del contenido de cafeína en las muestras de granos de café verde de diferentes procedencias.

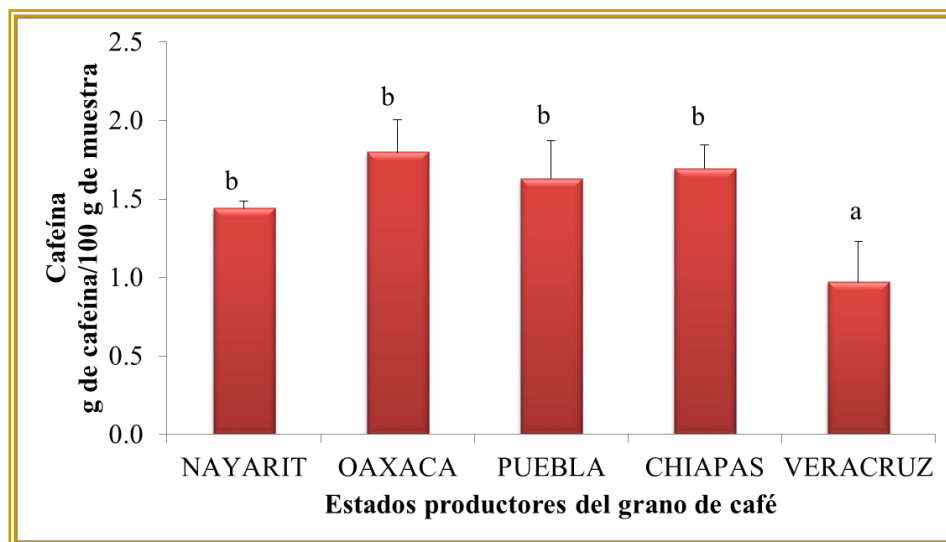


Figura 23. Contenido de cafeína en granos de café verde 100% arábica procedentes de diferentes regiones productoras de México. Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café verde del estado de Veracruz presentaron 0.97 g de cafeína/100 g de muestra, mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de cafeína con el resto de los granos de las diferentes procedencias, siendo los granos procedentes de Oaxaca con 1.80 g de cafeína/100 g de muestra los que presentaron mayor contenido de este compuesto, siguiendo los granos de café del estado de Chiapas con 1.69 g de cafeína/100 g de muestra. Pérez *et al.*, (2012) estudiaron granos de café verde variedad Caracolillo donde reportaron resultados de 1.56 g de cafeína/100 g de muestra. Mientras que Morillo *et al.*, (1979), estudio granos de café verde 100% arábica obteniendo un resultado de 0.79-1.21 g de cafeína. El contenido de cafeína es mayor en los granos de café reportados en este trabajo en comparación con los autores citados, esto debido a que la procedencia, condiciones de clima y suelo son factores importantes para el contenido de cafeína en el grano.

5.1.3. Efecto de la procedencia sobre la capacidad antioxidante en granos de café verde de diferentes regiones productoras de México

El café tiene un gran aporte de antioxidantes y pueden proteger frente al daño por oxidación de los radicales libres formados en el propio organismo o derivados de agentes oxidantes externos (Franco, 2010).

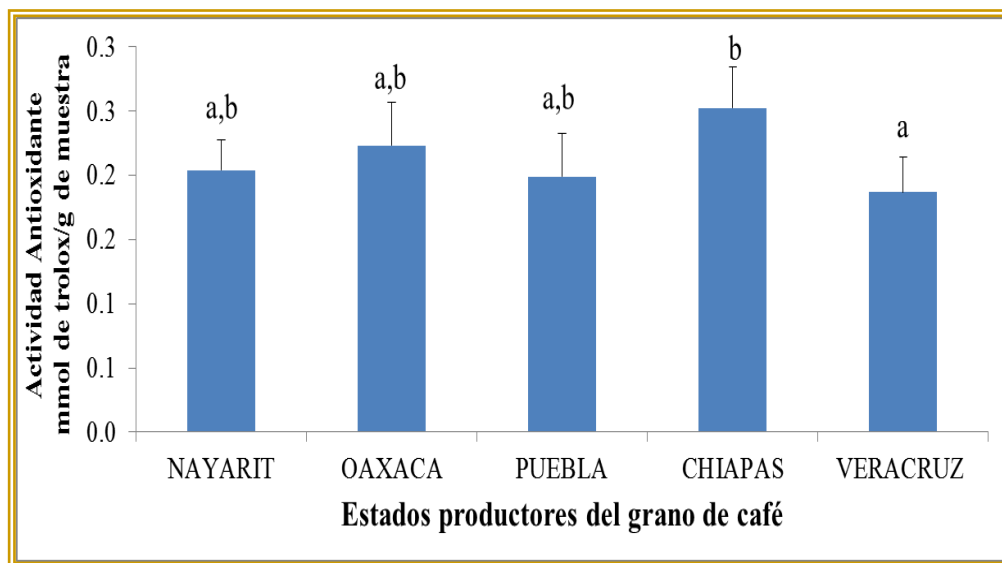


Figura 24. Actividad antioxidante en granos de café verde 100% arabica procedentes de diferentes regiones productoras de México. Las barras verticales representan \pm desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

En la Figura 24 se presentan los resultados en granos de café verde de las diferentes regiones estudiadas, donde los granos de café procedentes de Nayarit, Oaxaca y Puebla mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la actividad antioxidante, sobre los granos procedentes de Chiapas y Veracruz, siendo así los granos del estado de Chiapas los de mayor actividad con 0.25 mmol de trolox/g de muestra y los de menor actividad los granos procedentes del estado de Veracruz con 0.18 mmol de trolox/g de muestra. Herrera (2013) estudio granos de café verde mexicanos, obteniendo un intervalo de 0.10-0.21 mmol de trolox/g de muestra y Pérez *et al.*, (2012) estudio granos de café variedad Caracol teniendo como resultado 0.21 mmol de trolox/g de muestra. Siendo así que la actividad antioxidante en los granos de café procedentes de Veracruz, Puebla y Nayarit entran en el intervalo de los autores citados.

Los compuestos fenólicos además de atribuir aroma y sabor a la bebida de café, contribuyen como antioxidantes. Por lo tanto las variaciones en el contenido de compuestos fenólicos en granos de café de frutos maduros se pueden observar debido al mal tiempo y las prácticas agrícolas, también a condiciones climáticas severas como frío, mucha luz y de estrés que tienden a aumentar el contenido de compuestos fenólicos en la planta de café y semillas (Farah y

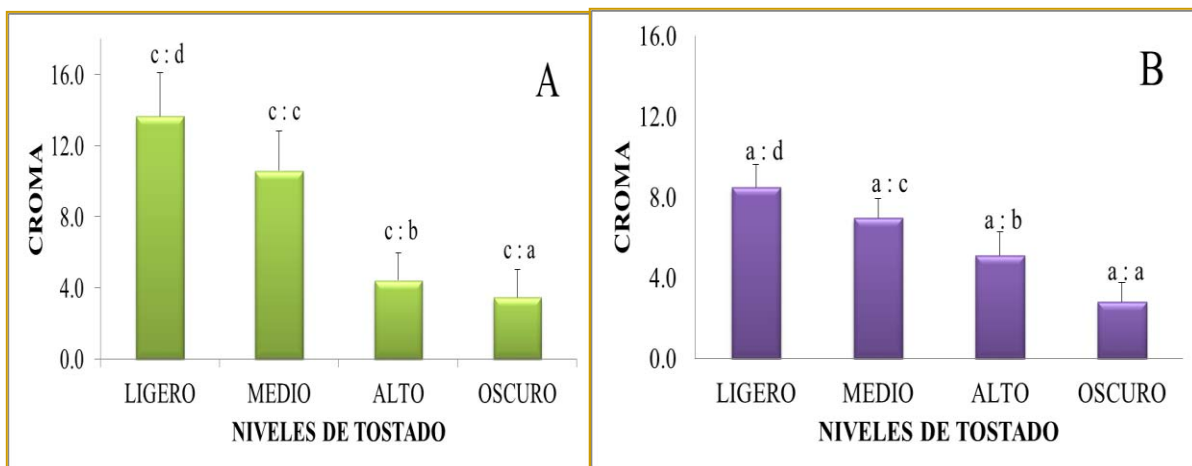


Donangelo, 2006). Finalmente, si los fenoles proveen actividad antioxidante, y comparándolos con los resultados del contenido de compuestos fenólicos no hay una igualdad puesto que los granos de café del estado de Nayarit tuvieron menor actividad antioxidante pero tuvieron mayor contenido de compuestos fenólicos, también lo vemos en los granos de café de los demás estados y esto se puede deber a que los compuestos fenólicos no todos aportan actividad antioxidante si no también proporcionan color, olor, sabor, etc. (Orozco *et al.*, 2011).

5.2. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el color y luminosidad en granos de café de diferentes regiones productoras de México

El grano de café verde se tuesta para que se desarrolle el aroma y las características en taza propias del café. El grado de tueste es indicativo de la intensidad con que fue tostado el grano y varía de acuerdo a las características específicas que se desee obtener en el producto para satisfacer los distintos gustos y preferencias del consumidor (NMX-F-013-SCFI-2000).

Hay varios factores responsables del cambio el color de los granos de café. Se sabe que durante el almacenamiento, los granos han cambiado su color con la extensión del tiempo de almacenamiento, de una tonalidad verde-azulada, característica de una buena calidad del producto, a un color marrón claro- blanquecino fenómeno conocido como "blanqueo" (Corrêa y Afonso, 2003).



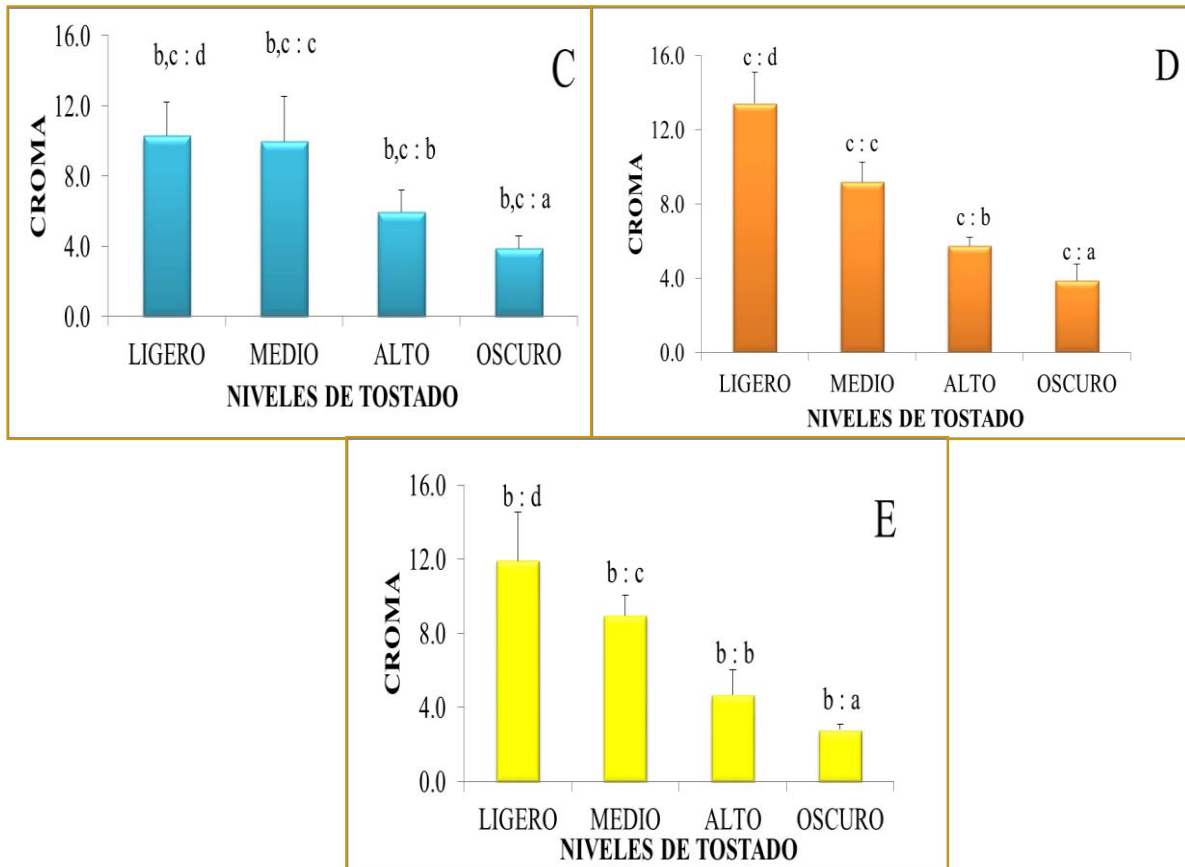


Figura 25. Croma en mezclas de café verde 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

La Figura 25 muestra los resultados de los diferentes granos de café a diferentes niveles de tostado, donde existió diferencia significativa entre las procedencias estudiadas ($p \leq 0.05$) en el croma, debido a que el color de los granos depende en gran parte de la forma de preparación del beneficio, el período de las condiciones de almacenamiento y su contenido de humedad (Corrêa y Afonso, 2003), los granos de café de las diferentes procedencias tuvieron una disminución de croma conforme aumenta el nivel de tostado, siendo así que los granos de café procedentes de Veracruz pasaron de un croma de 13.66 en tostado ligero a un 3.47 en tostado oscuro, los granos de café de Chiapas tuvieron en tostado ligero un croma de 8.49 y en tostado oscuro 2.82, los granos de café de Puebla presentaron 10.29 de croma en tostado ligero y en tostado oscuro 3.90, mientras que los granos de café procedentes de Oaxaca obtuvieron 13.42 de croma en tostado ligero y en tostado oscuro 3.86 y los granos de café de Nayarit tuvieron 11.92 de croma en



tostado ligero pasando a 2.81 de croma en tostado oscuro, por lo tanto los granos de café de Veracruz tuvieron en promedio mayor croma y en menor medida los granos procedentes de Chiapas, por lo que existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el croma de los granos de café con diferentes niveles de tostado. Herrera, (2013) estudio granos de café 100% arábica obteniendo resultados para un tostado ligero de 5.48 de croma y para un tostado oscuro 2.69, aunque los resultados de este autor son menores en comparación de este trabajo, tienen la misma tendencia que conforme aumento el nivel de tostado disminuyo el croma.

Al aumentar el nivel de tostado sobre los granos de café va a influir sobre lacromaticidad, ya que la disminución del croma se debe a la saturación del color, obteniendo diferentes tonalidades de marrón, esto dependiendo del nivel de tostado.

Ludwig *et al.*, (2013), determino la cromacidad en granos de café adicionados con azúcar (torrefacto) durante el proceso de tostado, obteniendo un intervalo de 16.86-18.33 para un tostado oscuro, en comparación con los resultados de este trabajo son mayores las cromaticidades, por lo que este autor define que el valor de cromacidad se relaciona claramente con los grados de tostado, pero no con el proceso de tostado torrefacto.

La determinación del color también constituye información técnica básica de interés para la agroingeniería, con el propósito de desarrollar sistemas de inspección y clasificación automática de frutos basados en el color, el tamaño, la forma y la textura del producto. Estos sistemas, que en la actualidad se investigan y aplican en muchos otros productos agroalimentarios, apenas vienen desarrollándose para el caso del café (Carvajal *et al.*, 2011).

Algunos autores afirman que se necesitan métodos objetivos (espectrofotometría y colorimetría) para la evaluación de color en productos agrícolas, que permitan una mejor definición de las condiciones de iluminación (Corrêa y Afonso, 2003).

En la Figura 26 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de Luminosidad en granos de café tostado de diferentes procedencias.

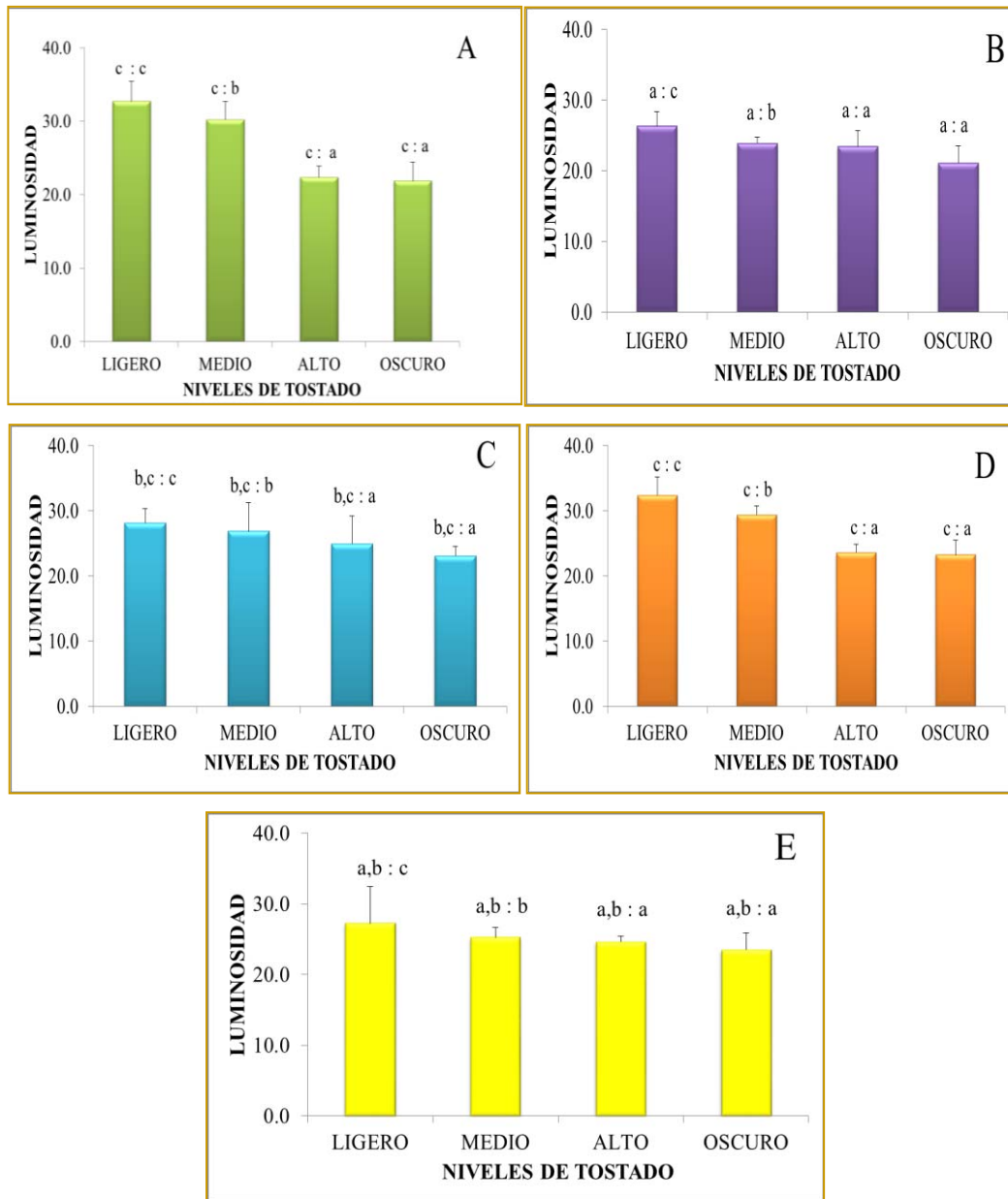


Figura 26. Luminosidad en granos de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

Los granos de café de diferentes procedencias a los diferentes niveles de tostado presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la luminosidad, por lo que el beneficio del café va depender de las condiciones del productor, así como las condiciones de almacenamiento del grano de café. Así los granos de café procedentes de Veracruz presentaron mayor luminosidad de alrededor de



21.87-32.71-y los granos de café que presentaron menor luminosidad fueron los procedentes de Chiapas con un intervalo de 21.18-26.34. En cuanto al nivel de tostado se observó que hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) sobre la luminosidad en los grados de tostado Ligero y Medio con respecto al tostado alto y oscuro, siendo los granos de café procedentes de Veracruz que tuvieron 32.71 de luminosidad para un tostado ligero y 30.22 en el tostado medio, los granos de café de Chiapas presentaron 26.34 en un tostado ligero y 23.89 en el tostado medio, los granos de café procedentes de Puebla obtuvieron 28.17 de luminosidad en un tostado ligero y 26.87 tostado medio, mientras que los granos de café de Oaxaca presentaron 32.42 de luminosidad en tostado ligero y 29.38 para un tostado medio y los granos de café procedentes de Nayarit obtuvieron 27.27 para un tostado ligero y 25.26 para el tostado medio. La disminución de luminosidad se atribuye a que conforme aumenta el grado de tostado pasa de un color verde claro a un color café oscuro hasta negro.

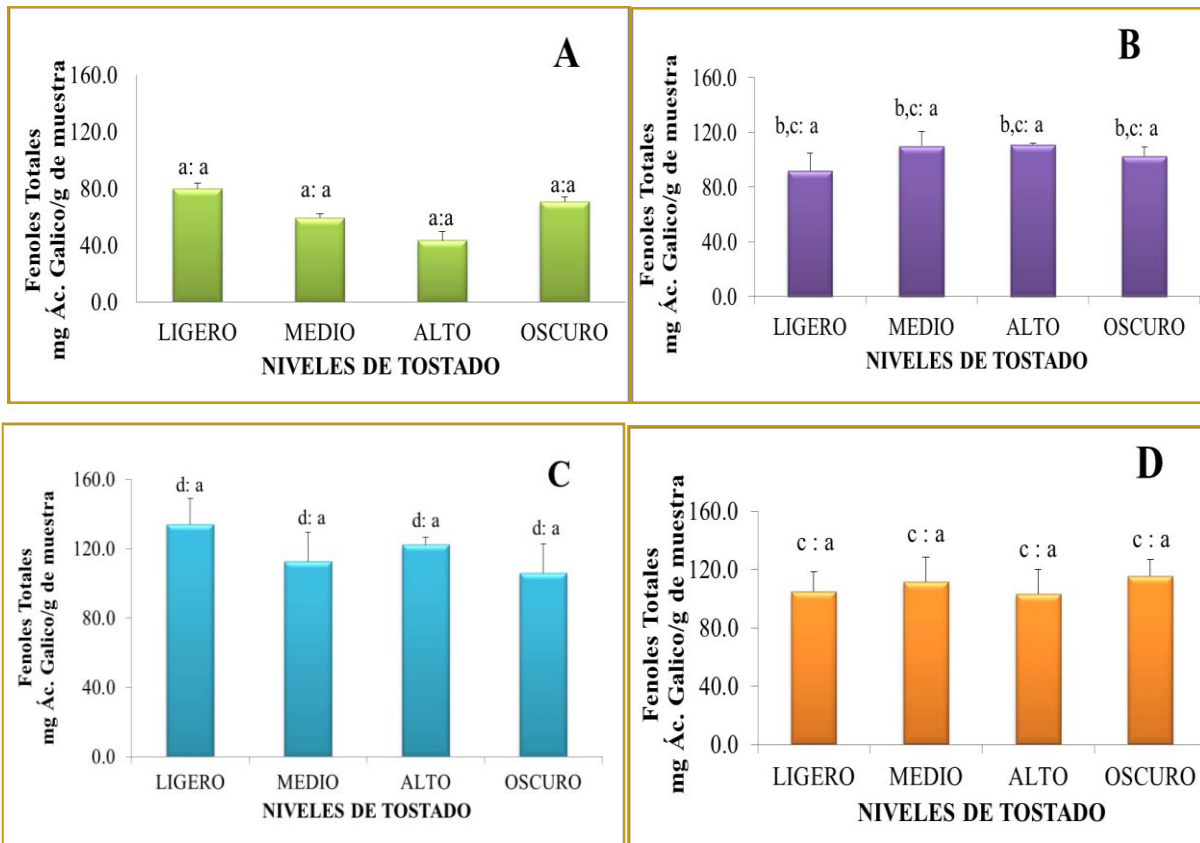
Onorio *et al.* (2011) estudiaron granos de café verde (*Coffea arabica*) contaminados artificialmente por la ocratoxina A (OTA) después de la inoculación con *Aspergillus* se llevó a cabo dos diferentes técnicas de tostado (tostado cilindro y lecho fluidizado), para determinar luminosidad en tostado ligero obteniendo un intervalo de 32-42.8, medio 23.2-27.5, oscuro 19.4-23.0 y muy oscuro 16.7-21.7, por lo que los resultados de este trabajo entran en los rangos obtenidos de este autor, además que siguen la misma tendencia que conforme aumenta el nivel de tostado disminuye la luminosidad.

Ludwig *et al.* (2013), determinaron la luminosidad en granos de café con tostado oscuro adicionados con azúcar (torrefacto) durante el proceso de tostado, obteniendo un intervalo de 19.94-22.45, así en este trabajo se obtuvo una luminosidad de 21.18-23.52 en los granos de café oscuro, comparados con los de este autor se obtuvo mayor luminosidad, la disminución de la luminosidad se atribuye a que la adición de azúcar con las condiciones de temperatura se carameliza y forma una película quemada alrededor del café, como aportación, el torrefacto (adición de azúcar al café) supone un color más oscuro en taza, impresión de estar más cargado y amargor en el sabor (Nuestro Café, 2015).



5.2.1. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el contenido de fenoles en granos de café de diferentes regiones productora de México

En el café verde existe una gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos, pero al tostarse, se afecta marcadamente su composición química, debido a la reacción de Maillard, lo cual le confiere un agradable sabor y aroma, y se originan pigmentos denominados melanoidinas, que le dan al café tostado su color característico (Gutiérrez, 2002).



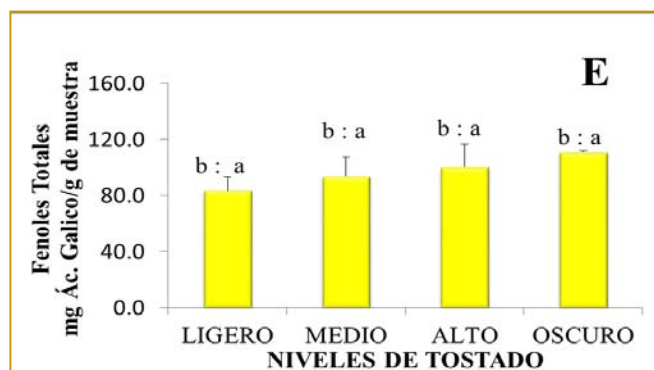


Figura 27. Contenido de fenoles totales en mezclas de café 100% arábica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

En la Figura 27 se presentan los resultados del contenido de fenoles donde hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) sobre la procedencia en el contenido de estos compuestos, siendo los granos de café del estado de Puebla los que presentaron mayor contenido de fenoles con un intervalo de 105.84 -134.07 mg ácido Gálico/g y en menor contenido los granos de café procedentes de Veracruz con intervalo de 70.61-80.1 mg ácido Gálico/g, por lo que la composición del grano va a depender de ciertos factores como; el suelo, la altitud, la humedad que determinen las características del grano. La altitud de las zonas cafetaleras mexicanas oscila entre 250 y los 1500 msnm, aunque excepcionalmente se encuentran algunas áreas fuera de estos límites, lo cual, unido a factores de baja luminosidad, temperaturas frescas y efectos de latitud, favorecen el crecimiento, la fructificación y la calidad del café. Los granos de café estudiados corresponden a una cosecha cultivada de: Veracruz 1100 msnm, Chiapas 1250 msnm, Oaxaca 1760 msnm y Nayarit 1132 msnm (Café oriental, 2014). También el café es un cultivo de temporal que requiere de una buena distribución de lluvias, la textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo son aspectos que están relacionados con la cantidad producida ya que el cafeto requiere preferentemente de suelos ácidos (Villaseñor, 1987). En cambio por el nivel de tostado no presento diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de fenoles totales. Los granos de café procedentes de Veracruz tuvieron para una tostado ligero 80.11 mg de ácido Gálico/g y de tostado alto a oscuro un incremento obteniendo de 70.61 mg de ácido Gálico/g de muestra, en el caso de los granos de café de Oaxaca con nivel de tostado ligero



se obtuvo 104.97mg de ácido Gálico/g y los oscuros con 115.45 mg de ácido Gálico/g, esto se debe a que durante el tostado se pueden formar otros ácidos como fórmico, oxálico, tartárico, caféico entre otros, que también son compuestos fenólicos (Hernández, 2010). Para el caso de los granos de café procedentes de Puebla se mostró una tendencia a disminuir por el grado de tostado, siendo en los granos de café con tostado ligero 134.07 mg de ácido Gálico/g y para los oscuros con 105.84 mg de ácido Gálico/g. Los granos Chiapas obtuvieron una tendencia a aumentar conforme aumenta el grado de tostado por lo que se obtuvo en para un tostado ligero 91.81 mg de ácido Gálico/g y tostado oscuro con 102.41 mg de ácido Gálico/g, de igual manera los granos de café procedentes de Nayarit que tuvieron el nivel de tostado ligero 83.60 mg de ácido Gálico/g y el tostado oscuro 111.02 mg de ácido Gálico/g.

Vignoli *et al.*, (2009) estudiaron granos de café con tostado ligero obteniendo un contenido de fenoles de 120.8 mg de ácido Gálico/g y para un tostado oscuro 133.4 mg de ácido Gálico/g, estos resultados fueron similares a los reportados en este estudio. Por otra parte Herrera, (2013) estudio granos de café 100% arabica mexicanos encontrando un intervalo de 52.43-139.68 mg de ácido Gálico/g para un tostado ligero y para tostado oscuro oscilo entre 32.23-50.39 mg de ácido Gálico/g, siendo comparables con los resultados obtenidos en este trabajo.

5.2.2. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre el contenido de cafeína en granos de café de diferentes regiones de México.

A pesar del hecho de que el té se consume a nivel mundial más que el café, el café es la principal fuente de cafeína. Numerosos estudios han informado de los efectos del consumo de cafeína en los seres humanos, como el efecto estimulante sobre el sistema nervioso, mejora la capacidad de concentración y contrarresta el cansancio. Sin embargo, en los individuos más sensibles o menores dosis de cafeína, este efecto podría generar episodios de insomnio, ansiedad, nerviosismo, irritabilidad, hostilidad y cambios de humor. Algunos otros efectos fisiológicos reportados son la estimulación de los sistemas gástricos y urinarios y aumento del ritmo cardíaco y la presión arterial (Tello *et al.*, 2011)



En la Figura 28 se presentan el contenido de cafeína en diferentes regiones productoras de café de México a diferentes niveles de tostado.

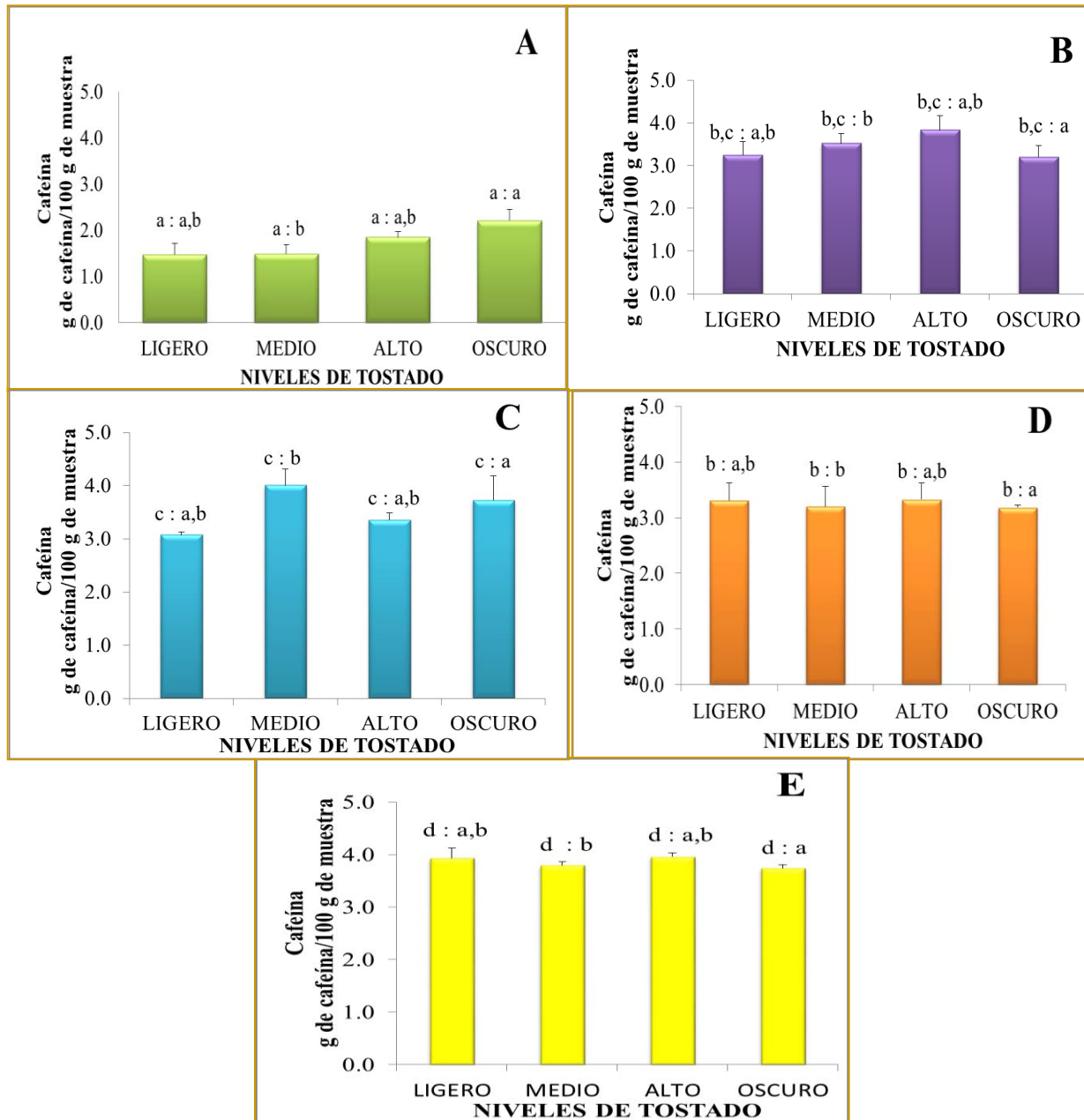


Figura 28. Contenido de cafeína en mezclas de café 100% arabica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz (A), Chiapas (B), Puebla (C), Oaxaca (D) y Nayarit (E). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.



El efecto de la procedencia es determinante ya que se muestra diferencia significativa ($p \leq 0.05$) sobre el contenido de cafeína en los diferentes granos de café, ya que el café se cultiva en condiciones geográficas, económicas y socioculturales muy diversas, determinadas por la existencia de variantes importantes en el tamaño de los predios cafetaleros, en los tipos de productores, en la tecnología de la producción y en los mecanismos de producción (Cortés *et al.*, 1994), además que la diferencia de cafeína en cada estado productor se debe a que el contenido de cafeína se ve influenciado por el grado de tueste ya que la cafeína es una sustancia química termoestable, y sólo sufre una pequeña pérdida por sublimación a 179°C (Antiasarán *et al.*, 2000).

Los granos de café tostados mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de cafeína por los niveles de tostado, en los granos de café procedentes de Nayarit hubo diferencia entre los niveles de tostado medio (3.80g de cafeína/100g) y para un tostado oscuro (3.74g de cafeína/100g). En el caso de los granos procedentes de Puebla los granos con tostado medio tuvieron un contenido con 4.01g de cafeína/100g, consecutivamente el tostado oscuro 3.72 g de cafeína/100g y el tostado ligero con 3.07g de cafeína/100g. De igual manera los granos procedentes de Chiapas presentaron mayor contenido de cafeína en el tostado alto 3.83g de cafeína/100g seguido del tostado medio 3.52g de cafeína/100g y por último el tostado oscuro 3.20g de cafeína/100g.

Los granos de café de Oaxaca presentaron mayor contenido de cafeína en el tostado alto con 3.33g de cafeína/100g y en menor contenido para un tostado oscuro 3.18g de cafeína/100g.

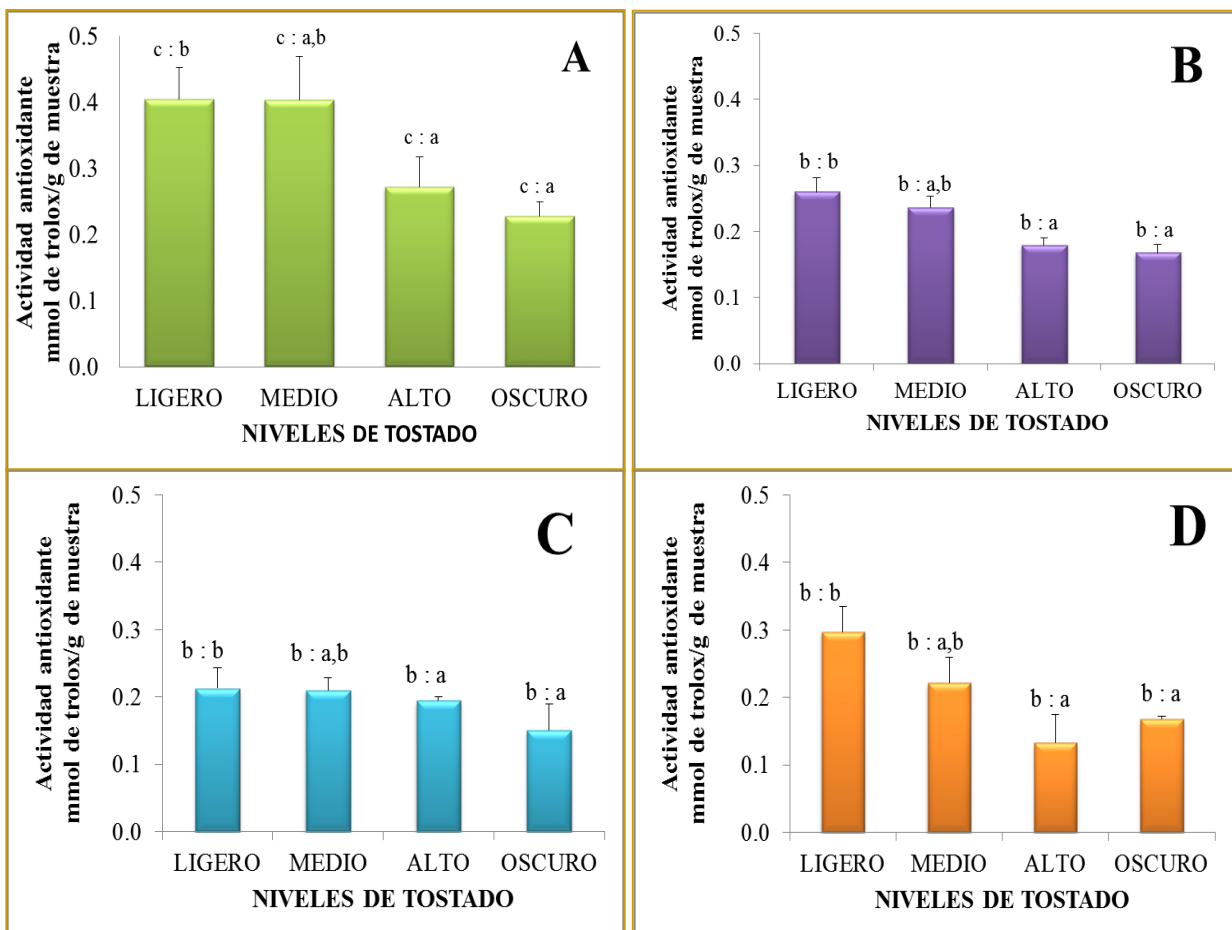
En el caso de los granos de café procedentes de Veracruz existió una relación proporcional siendo menor el contenido de cafeína con tostado ligero 1.47g de cafeína/100g y conforme aumenta el nivel de tostado hubo mayor disponibilidad de la cafeína por lo que para un tostado oscuro presentó 2.21g de cafeína/100g, esta tendencia se puede deber a la combinación de varios factores, como el aumento de la temperatura de sublimación, la baja difusión del vapor de cafeína a través del grano y la pérdida de peso que se origina durante el tostado (Hernández, 2010).



Vignoli *et al.* (2009) estudiaron granos de café con tostado ligero obteniendo un contenido de cafeína de 2.84g de cafeína/100g y para un tostado oscuro de 3.64g de cafeína/100g. Mientras que Pérez *et al.* (2012) reportaron una concentración de cafeína en la variedad caracolillo de 1.52g de cafeína/100g de muestra. Los resultados obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del intervalo de cafeína reportado por estos autores.

5.2.3. Efecto de la procedencia y grado de tostado sobre la capacidad antioxidante en granos de café de diferentes regiones productoras de México

Las características antioxidantes del café dependen de la variedad, el grado de tostado, el tipo de fermentación y la molienda del material (Naranjo *et al.*, 2011). Los compuestos antioxidantes son un grupo de vitaminas, minerales y enzimas que protegen nuestro cuerpo de la formación de los radicales libres (Carrasco y Encina, 2008). En la (Figura 29) se muestran los resultados obtenidos de la actividad antioxidante en diferentes regiones productoras de café con diferentes niveles de tostado.



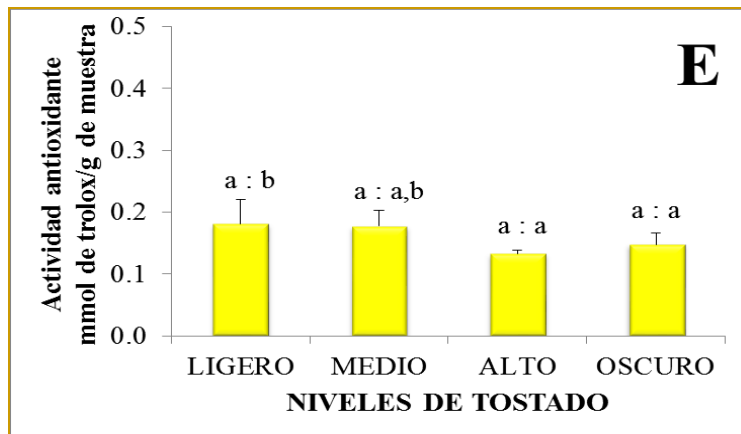


Figura 29. Actividad antioxidante en granos de café 100% arábica a diferentes niveles de tostado procedentes de México: Veracruz(A), Chiapas (B), Puebla(C), Oaxaca (D) y Nayarit (E). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

Los granos de café provenientes de Nayarit y Veracruz presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cambio los de Puebla, Chiapas y Oaxaca no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la actividad antioxidante por la procedencia, estos cambios son debidos al origen botánico, altitud del café, el beneficio y las condiciones del tostado.

Por otra parte en cuanto al nivel de tostado hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la actividad antioxidante de los granos de café procedentes de Nayarit los cuales presentaron una tendencia a aumentar en la actividad antioxidante conforme aumenta el grado de tostado, teniendo para un tostado ligero 0.18mmoles de Trolox/g, tostado alto de 0.13mmoles de Trolox/g y para un tostado oscuro 0.15mmoles de Trolox/g. Los granos de café procedentes de Oaxaca presentaron la misma tendencia, teniendo actividad antioxidante para los granos con tostado ligero de 0.30mmoles de Trolox/g, tostado alto de 0.13mmoles de Trolox/g para un tostado oscuro 0.17 mmoles de Trolox/g.

Sin embargo los granos de Chiapas presentaron actividad antioxidante en el tostado ligero de 0.26 mmoles de Trolox/g y para un tostado oscuro de 0.17 mmoles de Trolox/g, mostrando una relación inversa, conforme aumenta el nivel de tostado disminuye la actividad antioxidante. De



igual manera los granos procedentes de Puebla con tostado ligero de 0.21mmoles de Trolox/g y para un tostado oscuro 0.15mmoles de Trolox/g y Veracruz estos fueron los que presentaron mayor actividad antioxidante comparados con el resto de las procedencias, presentando en un tostado ligero 0.41mmoles de Trolox/g, mientras que los granos de café con nivel de tostado oscuro presentan 0.23 mmoles de Trolox/g. Por lo que el grado de tostado tiene una influencia en la capacidad antioxidante de los granos de café ya que los antioxidantes naturales son parcialmente descompuestos o pueden unirse a otras estructuras; lo cual genera incluso productos de la reacción de *Maillard*, que también presentan actividad antioxidante (Naranjo *et al.*, 2011).

Vignoli *et al.*, (2009) estudiaron granos de café con tostado ligero obteniendo una actividad antioxidante de 18.77 g de Trolox/100g muestra y para un tostado oscuro de 23.78 g de Trolox/100g muestra, mostrando la misma tendencia que el estado de Oaxaca sobre los niveles de tostados ya que hay un aumento en la actividad antioxidante en los granos de café oscuro.

Herrera, (2013) estudio granos de café 100% arabica mexicanos variedad Typica, en donde obtuvo en granos con tostado ligero 0.21-0.30 mmoles de Trolox/g y para tostados oscuros 0.09-17 mmoles de Trolox/g, por lo tanto los resultados obtenidos en este trabajo entran en el intervalo de este autor. Pérez *et al.* (2012) reportaron una actividad antioxidante en la variedad caracolillo a un tostado medio de 0.21 mmoles de Trolox/g, siendo los granos de café del estado de Chiapas y Oaxaca los que obtuvieron este contenido en sus granos de café a tostado medio.

5.3. Efecto del contenido de fenoles en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales.

El principal país productor de café arabica en el mundo es Brasil, actualmente Vietnam consigue la segunda posición en el mercado con grandes cantidades de café Robusta (Infocafé, 2015).

El café está compuesto por más de 1000 sustancias químicas distintas incluyendo aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, polisacáridos, azúcares, triglicéridos, ácido linoleico, diterpenos (cafestol y kahweol), ácidos volátiles (fórmico y acético) y no volátiles (láctico, tartárico, pirúvico, cítrico), compuestos fenólicos, cafeína, sustancias volátiles, vitaminas, minerales. Otros



constituyentes como las melanoidinas derivan de las reacciones de pardeamiento no enzimático o de la caramelización de carbohidratos que ocurren durante el tostado. Existen variaciones importantes en la concentración de estos componentes según la variedad de café y el grado de tostado (Gotteland y Pablo, 2007).

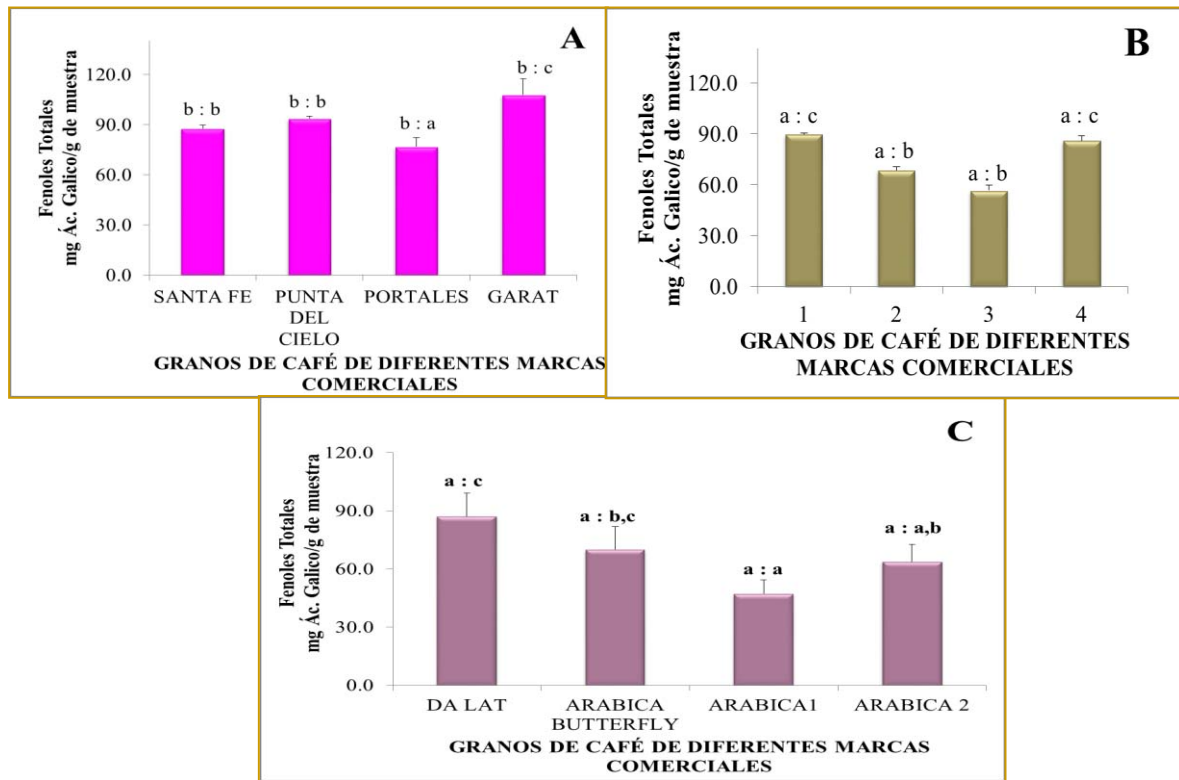


Figura 30. Contenido de fenoles totales en granos de café de marcas comerciales 100% arabica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por marca comercial.

En la Figura 30 se observa que hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de los compuestos fenólicos en los granos de café de México con respecto a los de Colombia y Vietnam, por lo que los granos de café procedentes de México presentaron en promedio 91.41 mg ácido Gálico/g, seguidos de los granos de café de Colombia 75.19 mg ácido Gálico/g y por último los granos procedentes de Vietnam 67.06 mg ácido Gálico/g, esto ya que las condiciones de cultivo de cada región son diferentes, para obtener la calidad del café mexicano, la altura adecuada para la siembra es de 600 msnm hasta 1,400 msnm (Cafés de México, 2006), para



Colombia las condiciones ideales para el cultivo se encuentran entre los 1,200 y 1800 msnm, además de las condiciones especiales de altitud, latitud y clima, la caficultura colombiana cuenta con un atributo fundamental: la calidad de la tierra. Los suelos de las zonas cafeteras colombianas se caracterizan por ser en su mayoría derivados de ceniza volcánicas lo que los dota de un alto contenido de material orgánico y buenas características físicas para la producción de café (Café Colombia, 2015).

Por otra parte los granos de café de marcas comerciales de México presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de fenoles, siendo el café Garat el que mostró mayor contenido de compuestos fenólicos con 107.68 mg ácido Galico/g, seguido del café de Punta del Cielo con 93.49 mg ácido Galico/g y en menor contenido los granos de los Portales con 76.77 mg ácido Galico/g.

En cuanto a los granos de café de Colombia no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de fenoles entre los cafés denominados 1 y 4 teniendo un contenido de 85.96 y 89.69 mg ácido Galico/g respectivamente y los cafés 2 y 3 teniendo un contenido de 68.45 y 56.65 mg ácido Galico/g respectivamente.

Por último los granos de café de Vietnam presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de fenoles, siendo Da lat con mayor contenido de 87.12 mg ácido Galico/g, siguiendo Arábica butterfly 69.98 mg ácido Galico/g y menor contenido Arabica 1 con 47.28 mg ácido Galico/g.

Finalmente, además de las características físicas de cada región el proceso del beneficio y del tostado son diferentes para cada productor de café, por lo que se puede ver reflejado en el contenido de compuestos fenólicos.

5.3.1. Efecto del contenido de cafeína en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales.



La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) es un alcaloide del grupo de xantina grupo muy conocido en todo el mundo debido a su aparición en ampliamente consumo de bebidas y comida. Las fuentes naturales de cafeína incluyen diferentes variedades de granos de café (*Coffea canephora*, *Coffea arabica*), hojas de té (*Camellia sinensis*), guaraná semillas (*Paullinia cupana*), hojas de yerba mate (*Ilex paraguariensis*), semillas de nueces (*Cola nitida*, *Cola acuminata*) y granos de cacao (*Theobroma cacao*) (Tello *et al.*, 2011).

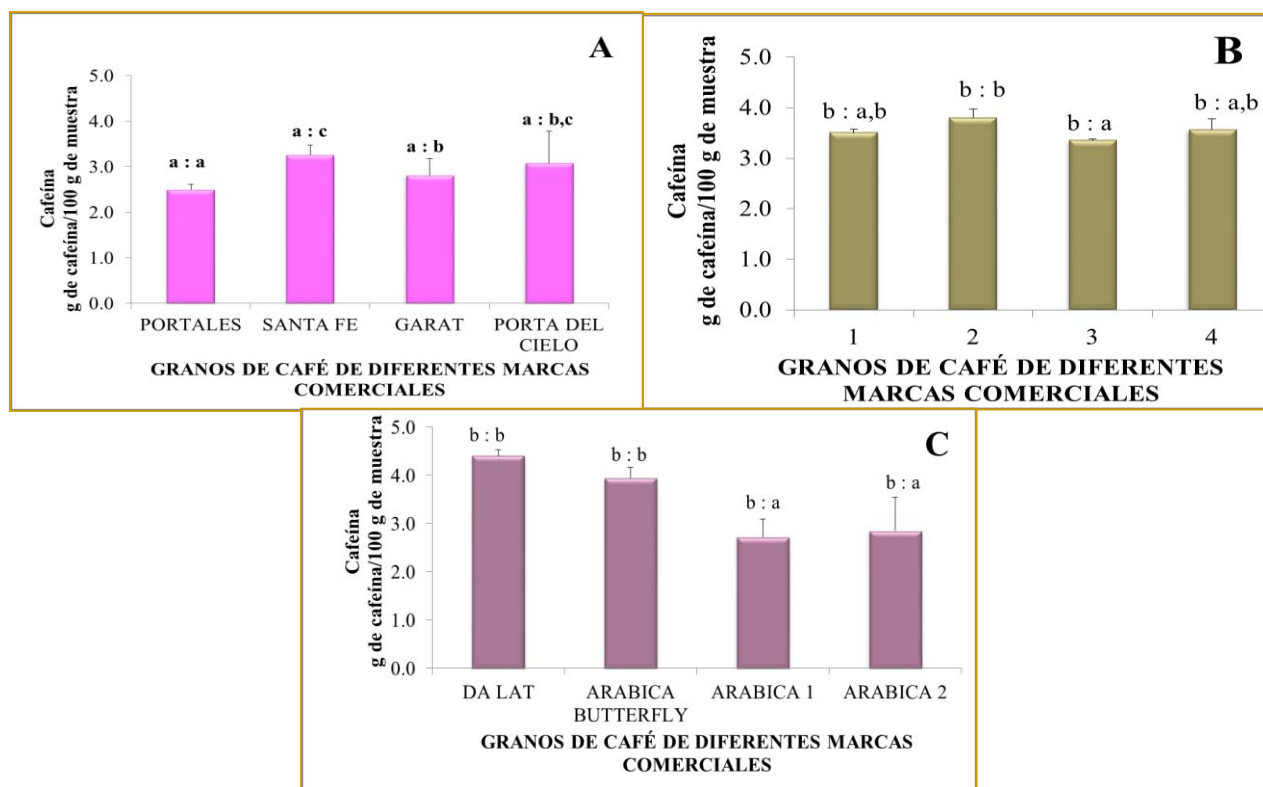


Figura 31. Contenido de cafeína en granos de café de marcas comerciales 100% arabica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por marca comercial.

En cuanto a la procedencia se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$), entre el contenido de cafeína en granos de café, en promedio Colombia obtuvo un contenido de 3.56 g de cafeína/100g, siguiendo Vietnam con 3.48 g de cafeína/100g y en menor contenido México con 2.91 g de cafeína/100g. En cuanto a los granos de café comerciales de México presentaron diferencia



significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de cafeína sobre las marcas comerciales ya que los granos de café de la marca Santa Fe tuvieron mayor contenido con 3.25 g de cafeína/100 g de muestra, los granos de café de Punta del cielo tuvieron 3.08 g de cafeína/100 g de muestra y en menor contenido los granos de café de la marca Portales con 2.50 g de cafeína/100 g de muestra, esto se atribuye a que los granos de café son de diferentes estados de la República Mexicana. El contenido de cafeína en los granos de café de comerciales de Colombia presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), teniendo un intervalo de 3.36-3.80 g de cafeína/100 g de muestra. Y los granos de café comerciales de Vietnam presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), siendo los granos de café de Da lat con mayor contenido 4.41 g de cafeína/100 g de muestra, continuado con los granos de café de la marca Arabica butterfly con 3.95 g de cafeína/100 g y menor contenido los granos de café de la marca Arabica 1 con 2.72 g de cafeína/100 g.

Los granos de café comerciales de México tuvieron en promedio el menor contenido de cafeína, siendo los granos de café procedentes de Colombia los que presentaron mayor contenido de este compuesto, debido a que la cafeína varía sustancialmente dependiendo de las especie de café, el método del grano de tostado y la forma de preparación de la bebida (Hecimovic *et al.*, 2011).

5.3.2. Actividad antioxidante en granos de café de diferentes procedencias y diferentes marcas comerciales.

Se considera que en los países industrializados las bebidas del tipo del café suponen un gran aporte de antioxidantes y pueden proteger frente al daño por oxidación de los radicales libres formados en el propio organismo o derivados de agentes oxidantes externos (Franco y Lizarraga, 2015).

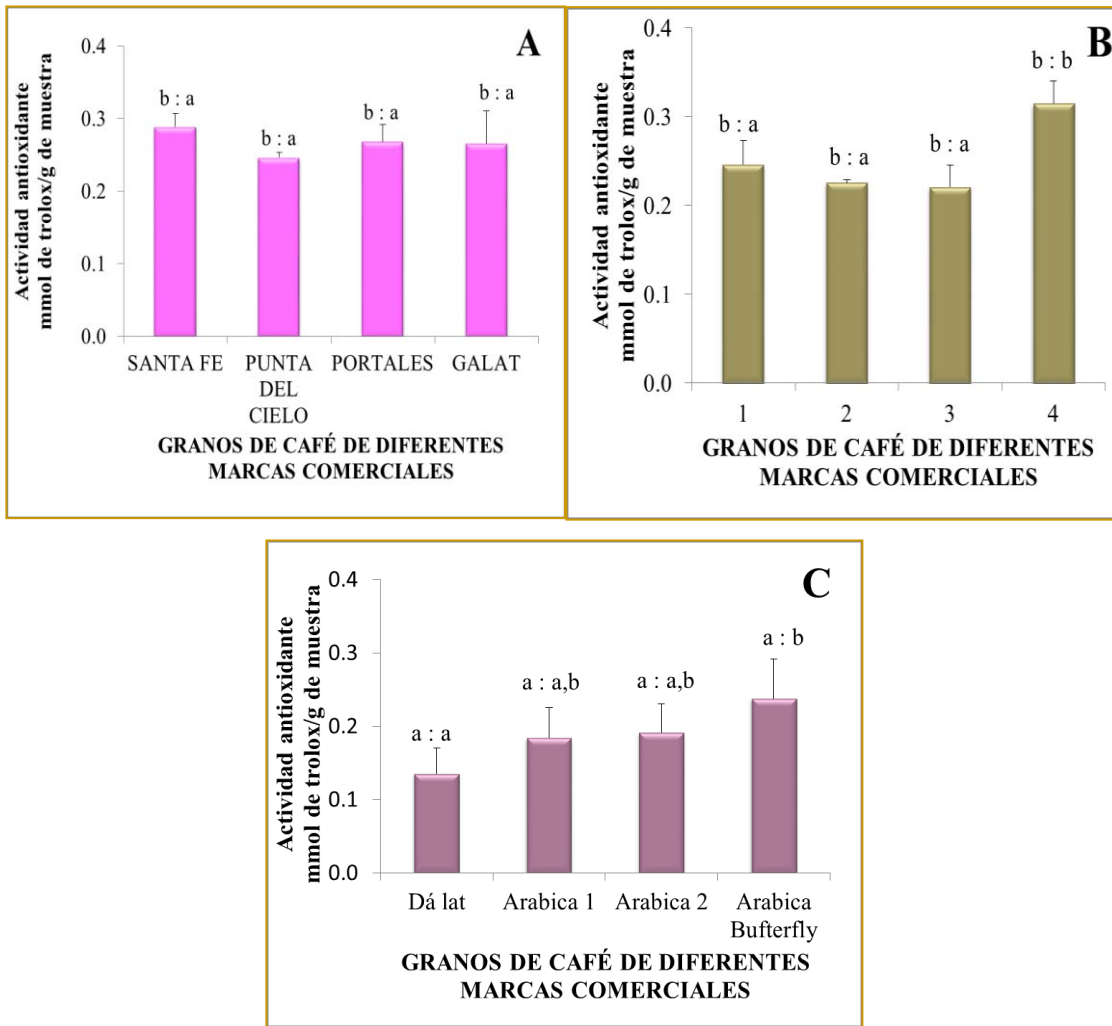


Figura 32. Actividad antioxidante en granos de café de marcas comerciales 100% arábica de diferentes procedencias: México(A), Colombia (B) y Vietnam(C). Las barras verticales representan \pm desviación estándar. La primera letra diferente en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por procedencia. La segunda letra en cada barra indica diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por marca comercial.

En la Figura 32 se muestra que hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de la actividad antioxidante en la procedencia, entre Vietnam con respecto a México y Colombia. Los granos de café comerciales de México y Colombia no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cuanto a su actividad antioxidante teniendo un intervalo 0.24-0.28 mmol de trolox/g de muestra y 0.22-0.31 mmol de trolox/g de muestra respectivamente, en cuanto a los granos de café de Vietnam presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la marca, siendo los granos de café de la marca Arabica butterfly con mayor contenido 0.24 mmol de trolox/g de muestra, continuando con la



marca Arabica 2 con 0.19 mmol de trolox/g de muestra y en menor contenido los granos de café de Da lat con 0.14 mmol de trolox/g de muestra. Los granos de café comerciales de México en promedio tuvieron mayor actividad antioxidante con respecto a los otros granos de café comerciales. Vignoli *et al.*, (2009) concluye que la actividad antioxidante depende más de la composición del café que del grado de tostado.

A continuación se presenta la evaluación sensorial en los granos de café de las diferentes procedencias que obtuvieron mayor actividad antioxidante, de la procedencia de Colombia los granos de café indicados con el numero 4 obtuvieron 0.31 mmol de trolox/g de muestra, de México los granos de café de marca Santa Fe con 0.29 mmol de trolox/g de muestra y del país de Vietnam los granos de café de Arabica Butterfly con 0.24 mmol de trolox/g de muestra, ya que actualmente al café se le atribuyen efectos beneficios a la salud, como reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer, al combatir el daño celular causado por los radicales libres (Naranjo, 2011).

5.3.3. Evaluación sensorial (cuerpo, aroma, acidez y sabor) en granos de café tostado medio de diferentes procedencias.

Las cualidades sensoriales del café: aroma, acidez, amargor, cuerpo, sabor, y la calidad sanitaria del grano, son los aspectos más importantes en aceptación y definición de calidad del café (Puerta, 1998).

En la Figura 33 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, en el atributo de aroma los granos de café mexicanos que tuvieron la mayor calificación obteniendo “aroma completo”, a pesar de ello estadísticamente no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el aroma entre los granos de café procedentes de Colombia y Vietnam, la identificación de compuestos volátiles del café puede variar con base en su lugar de origen, la variedad botánica, el manejo agronómico, el tratamiento postcosecha y especialmente, el grado de tostado de los granos y el método de extracción (González *et al.*, 2011).

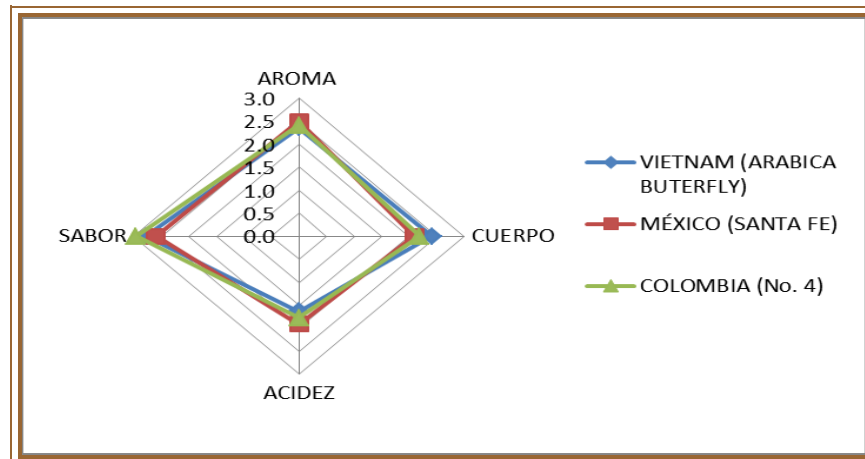


Figura 33. Análisis descriptivo cuantitativo de los granos de café tostado medio 100% arábico de diferentes procedencias.

El cuerpo caracteriza la consistencia de la bebida, sensación de llenura, pesadez en la boca; es el carácter y fuerza de la bebida. Un café con bajo cuerpo da una sensación de aguado, aunque tenga la concentración correcta. Entre mayor sea la calificación mejor será la bebida (Marín, 2013). Los panelistas asignaron en las muestras catadas una escala de “cuerpo regular” siendo aceptable la consistencia de la bebida, siendo la infusión elaborada a partir de los granos de café procedentes de Vietnam los que presentaron la mayor calificación, a pesar de ello no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro.

Del mismo modo los panelistas evaluaron la acidez de la bebida, ya que aquellos cafés que muestran una acidez alta son considerados de calidad superior que aquellos que muestran una acidez baja, esto debido a problemas en el beneficio donde produce sabores ácidos desagradables (vinagre y fermento) (Marín, 2013). Los panelistas determinaron que tuvieron una acidez “ligera” en las muestras analizadas, sin mostrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la acidez de la bebidas elaboradas de los granos de café de las diferentes procedencias, pero los granos de café procedentes de México obtuvieron la mayor la calificación .

El sabor es la impresión combinada de cuatro factores básicos: dulce (Proteínas y Carbohidratos), salado (Potasio, Fósforo, Calcio), ácido (Clorogénico, Cítrico, Tartárico, Málico) y amargo (Cafeína, Fenoles, Trigonelina) de las características del café, estas se perciben por el gusto y



olfato (FEC, 2015). Los panelistas calificaron a las muestras en cuanto a sabor como “ni me gusta, ni me disgusta”, los granos de café procedentes de Colombia tuvieron la mayor calificación, sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el sabor entre los granos de café de las diferentes marcas comerciales.

La calidad de la bebida de café depende de muchos factores: origen genético, latitud, altitud, clima del lugar de cultivo, cuidados sanitarios, prácticas agronómicas, cultura cafetera, calidad de la cosecha, tipo y control durante el proceso de beneficio, trilla, almacenamiento, tostación y preparación de la bebida (Puerta, 1998). Entre las muestras catadas, los panelistas asignaron con mayor “aroma y acidez” los granos de café de México de la marca Santa Fé, en cuanto a “cuerpo” los granos de café procedentes de Vietnam y en “sabor” los granos de café de Colombia. La actividad antioxidante esta proporcionada por los compuestos fenólicos y estos proporcionan sabor y aroma, siendo así que los granos de café procedentes de Colombia tuvieron mayor calificación en cuanto al sabor, y en segundo lugar en cuanto aroma.

5.4. Influencia de la procedencia y el nivel de tostado en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en granos de café.

Los compuestos fenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal. En los últimos años se ha demostrado que una dieta rica en polifenoles vegetales puede mejorar la salud y disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Quiñones *et al.*, 2012).

La actividad antioxidante del café no se debe sólo a los compuestos polifenólicos sino también a la presencia de cafeína y compuestos derivados del tostado (Gotteland y Pablo S., 2007).

Se realizó la cuantificación de varios compuestos fenólicos mediante la técnica de HPLC (ver condiciones de análisis en el apartado 4.8) con la finalidad de observar si existe una influencia en su concentración con los diferentes grados de tostado y procedencias. Estos resultados se muestran a continuación.

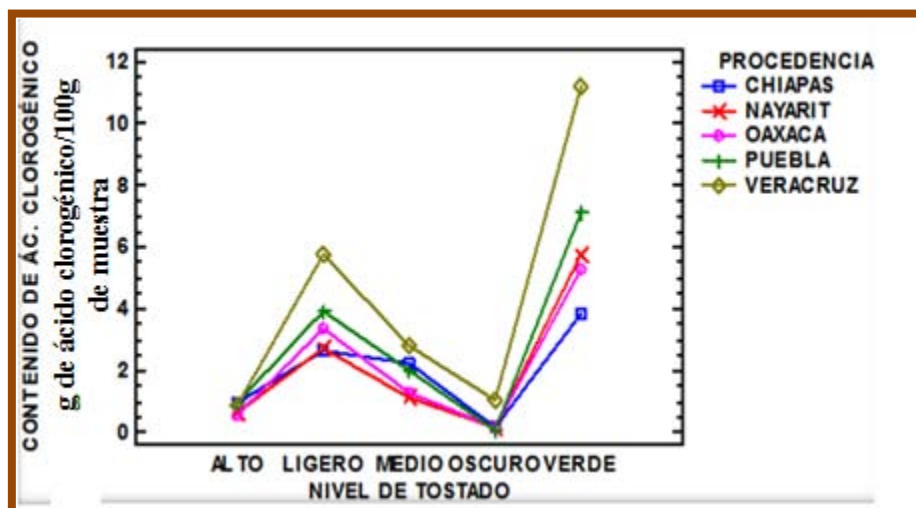


Figura 34. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de ácido clorogénico en granos de café 100% arabica de diferentes regiones productoras.

En la Figura 34 se observa que hay diferencia significativa ($p \leq 0.5$) en la procedencia y el nivel de tostado sobre la concentración de ácido clorogénico determinado en las muestras estudiadas. Esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A, teniendo los granos de café del estado de Veracruz un mayor contenido de ácido clorogénico con 11.17 g /100 g de muestra en granos de café verde, en segundo lugar los granos procedentes de Puebla con 7.10 g de ácido clorogénico/100 g de muestra y en menor concentración de este compuesto, el de Chipas con 3.82 g /100 g.

La tendencia es que conforme aumenta el nivel de tostado, la concentración del ácido clorogénico va disminuyendo en todas las procedencias. El ácido clorogénico, no sólo disminuye por la temperatura de tostado, sino porque también participa como sustrato en la formación de melanoidinas (Alves *et al.*, 2010). El contenido total de CGA en el café tostado varía en función del tipo de procesamiento y el grado de tueste (Farah y Donangelo, 2006).

Vignoli *et al.*, (2009) estudió granos de café variedad arábica obteniendo resultados en tostado ligero 3.57, tostado medio 1.85 y tostado oscuro 0.62 g de ácido clorogénico/100 g de muestra, siendo estos resultados menores con respecto a los de este estudio.



Los granos de café verde contienen las mayores cantidades de ácidos clorogénicos (CGA) encontrados en las plantas, que van del 6 al 12% (Farah *et al.*, 2005). El contenido total de CGA en los granos de café verde puede variar de acuerdo a la genética, especies, cultivo, grado de maduración y en menor importancia, las prácticas agrícolas, el clima y el suelo.

El contenido específico de ácido clorogénico en la bebida de café depende de las especies, la variedad y las condiciones de procesamiento de los granos de café (Silveira *et al.*, 2005). Esto justifica los diferentes niveles de concentración de ácido clorogénico (Figura 34) encontrados en el café verde de diferentes procedencias. En promedio los granos procedentes de Veracruz tuvieron mayor contenido de ácido Clorogénico y los granos procedentes de Chiapas tuvieron el menor contenido de este compuesto.

Los resultados obtenidos en este trabajo son comparables con los siguientes autores ya que el compuesto estudiado muestra la tendencia a disminuir su concentración conforme aumenta el nivel de tostado; Farah *et al.*, (2005) estudio granos de café variedad arábica procedentes de Brasil determinando el contenido de este compuesto por HPLC en grano verde, en tostado ligero, medio, alto y oscuro obteniendo para cada uno respectivamente la cantidad de 3.12, 1.99, 1.10, 0.24 y 0.16 g de ácido clorogénico/100 g de muestra y Lima *et al.*, (2013) reportó para granos de café verde variedad arábica un contenido de 4.95 g de ácido clorogénico/100 g de muestra, siendo comparable con los granos de café procedentes de Nayarit que obtuvieron 4.21 g de ácido clorogénico/100 g.

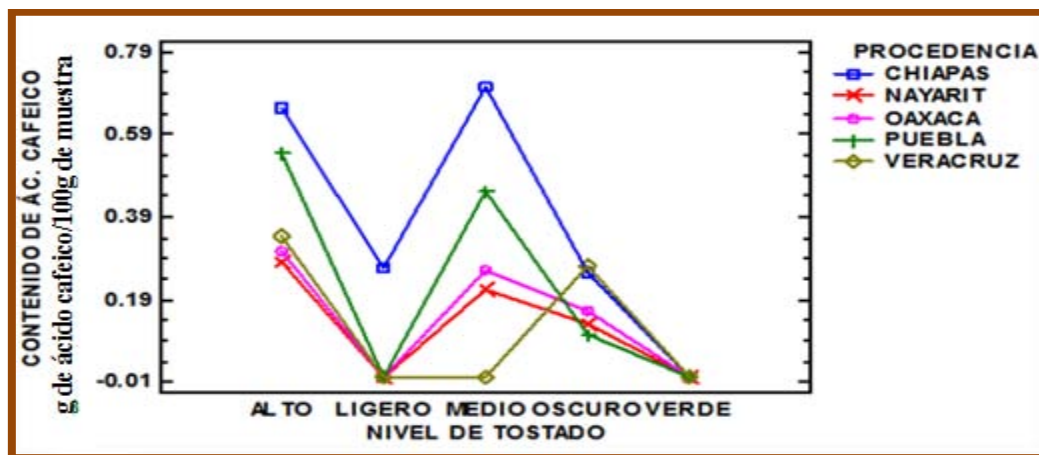


Figura 35. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de ácido cafeico en granos de café 100% arábica de diferentes regiones productoras.



Con respecto a la determinación del ácido cafeico, en la Figura 35 existe diferencia significativa ($p \leq 0.5$) en la procedencia y el nivel de tostado sobre su concentración, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A. Se observa que no existe ninguna tendencia al aumento o disminución del ácido cafeico con el nivel de tostado, obteniéndose para los granos de café de Chiapas con tostado ligero 0.26 g de ácido cafeico/100 g de muestra, para el tostado medio 0.70 g de ácido cafeico/100 g de muestra, para el tostado alto 0.65 g de ácido cafeico/100 g de muestra y para el tostado oscuro 0.25 g de ácido cafeico/100 g de muestra. Curiosamente una concentración alta de ácido clorogénico, implica que habrá una concentración baja de ácido cafeico al comparar granos con el mismo nivel de tostado.

Esta tendencia también lo obtuvieron los granos de café de Oaxaca, Nayarit y Puebla, esto se atribuye a que, durante el tostado los compuestos fenólicos parcialmente se degradan y/o se forman otros compuestos dependiendo de las condiciones de tostado (Trandafir *et al.*, 2013). De hecho ha sido reportado por (Farah, de Paulis, Trugo, & Martin, 2005; Moon & Shibamoto, 2010) que durante el proceso de tostado el grupo de los llamados ácidos clorogénicos se degradan a ácido cafeicos y ácido quínico, y que con el tiempo finalmente se degradan en fenoles y catecoles, por lo que no sorprende que durante éste trabajo al bajar la concentración de ácido clorogénico (por su degradación) aumente la concentración de ácido cafeico. En promedio los granos procedentes de Chiapas tuvieron mayor contenido de ácido cafeico y en menor contenido los granos procedentes del estado de Veracruz.

Farah *et al.*, (2005), reportó para granos de café verde un contenido de 0.47 g /100 g, para un tostado ligero 0.80 g /100 g, para un tostado medio 0.34 g /100 g, tostado alto 0.10 g /100 g y tostado oscuro 0.053 g de ácido cafeico/100 g para cafés variedad arábica procedentes de Etiopía, mostrando una tendencia similar con los reportados en este trabajo. Perez *et al.*, (2012) estudiaron granos de café verde variedad caracolillo obteniendo un resultado de 0.66 g /100g y para un tostado medio obtuvo 0.70 g de ácido cafeico/100g, comparándolos con los de este trabajo fue más alto el contenido de ácido cafeico obtenido por el autor.

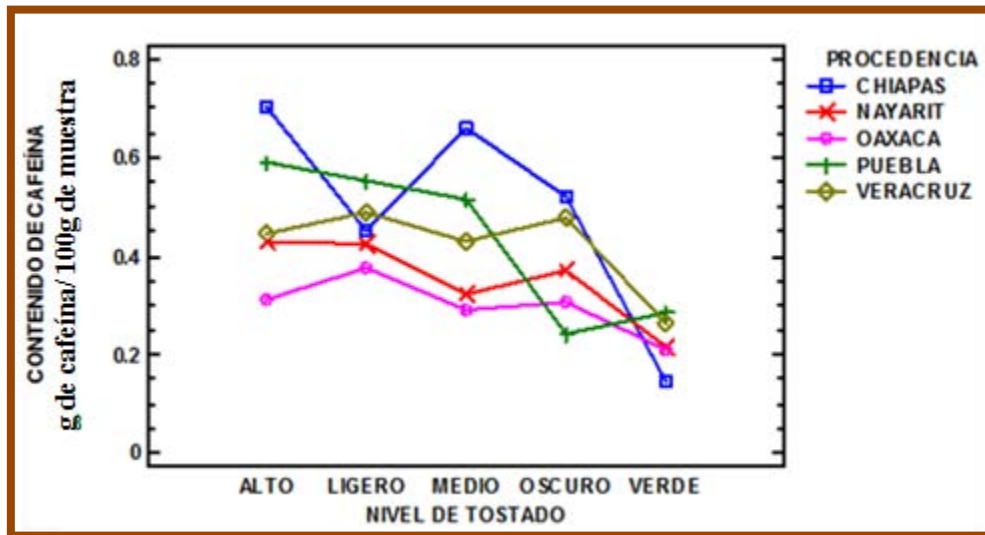


Figura 36. Influencia de la procedencia y niveles de tostado en la concentración de cafeína en granos de café 100% arabica de diferentes regiones productoras.

En la Figura 36 se observa que hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la procedencia y el nivel de tostado sobre la concentración de cafeína, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A, observándose que los granos de café procedentes de Chiapas presentaron mayor contenido de cafeína con 0.70 g de cafeína/100g de muestra, siguiéndole los granos de café de Puebla con 0.59 g de cafeína/100g de muestra y en menor concentración los granos de café de Oaxaca con 0.31g de cafeína/100g de muestra, específicamente en granos de café con el nivel de tostado oscuro.

En cuanto a menor concentración de cafeína en los niveles de tostado lo obtuvieron los granos de café en verde, siendo así que los granos de café verde del estado de Puebla tuvieron un contenido de cafeína de 0.28 g de cafeína/100g de muestra, seguidos de los granos de café verde de Chiapas con 0.26 g de cafeína/100g de muestra y por último los granos de café verde de Veracruz con 0.15 g de cafeína/100g de muestra. Se observa por lo tanto que los granos de café verde tienen menor disponibilidad de cafeína, ya que varía la cantidad dependiendo de la procedencia y del tostado de los granos de café.



El contenido de cafeína obtenido en este trabajo fueron menores a los reportados por Lima *et al.*, (2013) quienes estudiaron granos de café verde variedad arábica presentando un contenido de 0.92 g de cafeína/100 g de muestra y mientras que en los mismo granos pero con tostado alto presentaron 0.93 g de cafeína/100 g de muestra, mientras que Belguidoum *et al.*, (2014) determino por HPLC en muestras de café tostado un contenido de 0.99 g de cafeína/100 g de muestra.

5.4.1. Influencia de la procedencia en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en café de tostado medio.

Se sabe que los ácidos clorogénicos (CGA) son determinantes en el sabor del café. Contribuyen a la acidez final, confieren astringencia y amargor a la bebida. (Farah y Donangelo, 2006); (Ayelign y Sabally, 2013).

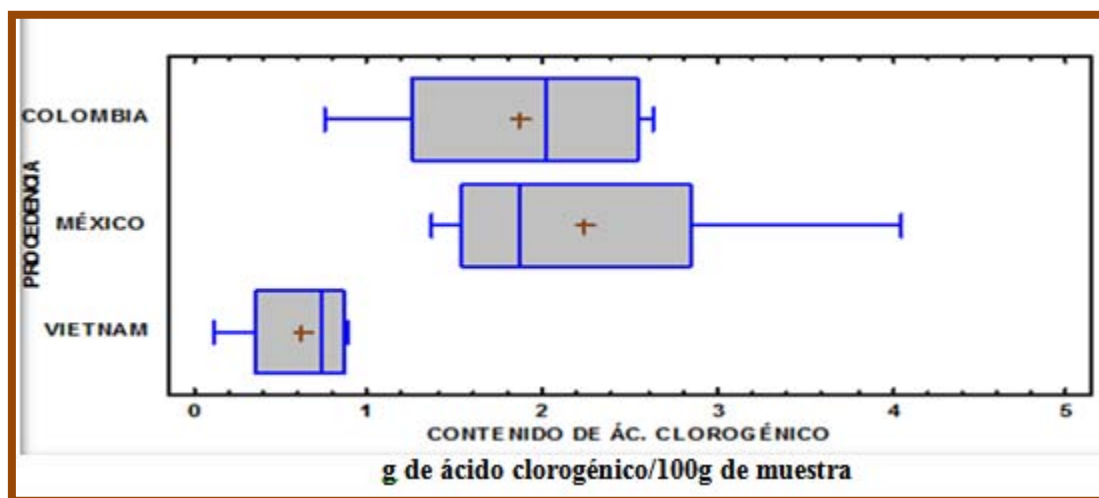


Figura 37. Influencia de la procedencia en la concentración de ácido clorogénico en granos de café 100% arábica de diferentes regiones productoras.

Como se observa en la Figura 37, existe diferencia significativa ($p \leq 0.5$) entre las medias de la concentración de ácido clorogénico de Vietnam con las media de la concentración de ácido clorogénico de las procedencias de México y Colombia, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A. Por lo tanto se observa que el contenido de ácido clorogénico en granos de café de Vietnam tuvieron un



promedio de 0.45 g de ácido clorogénico/100 g de muestra, los granos de café procedentes de México en promedio tuvieron 1.63 g de ácido clorogénico/100 g de muestra y los granos de café procedentes de Colombia obtuvieron un promedio de 1.37 g de ácido clorogénico/100g de muestra, estas diferencias se le atribuye a que el ácido clorogénico va estar influenciado por la calidad del café pergamino debido a la variedad sembrada, las condiciones climáticas, el manejo agronómico y fitosanitario del cultivo, además de los controles de cosecha y postcosecha realizados por los caficultores (Puerta ,1996). Además que la altitud es un factor determinante que puede estar influenciando significativamente en la composición bioquímica, la calidad física del grano e influyendo también que el proceso de beneficio es uno de los factores determinantes en obtención de la calidad del grano, ya que el 80% de los defectos que se presentan pueden ocurrir debido a inconvenientes en este proceso (Orozco *et al.*, 2011).

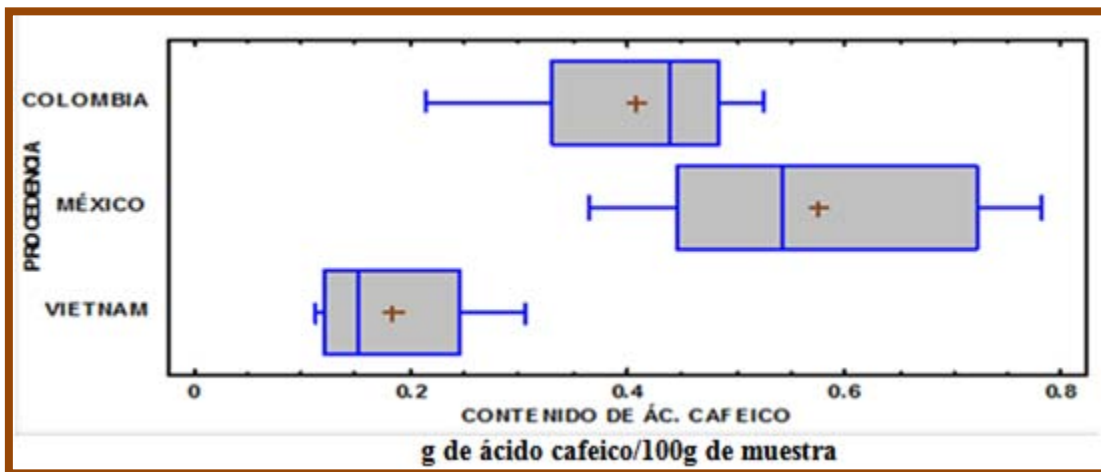


Figura 38. Influencia de la procedencia en la concentración de ácido cafeico en granos de café de diferentes regiones productoras.

En la Figura 38 se observa que hay diferencia significativa ($p \leq 0.5$) entre las medias de la concentración de ácido cafeico del grano de Vietnam con las media de la concentración de ácido cafeico de las procedencias de México y Colombia, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A. Obteniendo un promedio de 0.012 g de ácido cafeico /100 g de muestra para los granos de café procedentes de Vietnam, los granos de café procedentes de México tuvieron en promedio 0.037 g de ácido cafeico /100 g de muestra y los granos de café de Colombia obtuvieron 0.026 g de ácido



cafeico/100 g de muestra. El ácido cafeico es un compuesto de sabor amargo, por lo general se encuentra en pequeñas cantidades en el café arábica. El ácido cafeico provoca varias respuestas biológicas, tales como antibacteriano, anti-hongos, anti-inflamatorio, antiviral, contra el cáncer, actividades antioxidantes y anti-diabéticos (Trandafir *et al.*, 2013).

En general, se pudo observar que los granos de café del continente Americano (México y Colombia) poseen un contenido mayor de polifenoles (ácido clorogénico y cafeico), por lo que poseen un poder antioxidante mayor en comparación con los de la muestra del continente asiático (Vietnam).

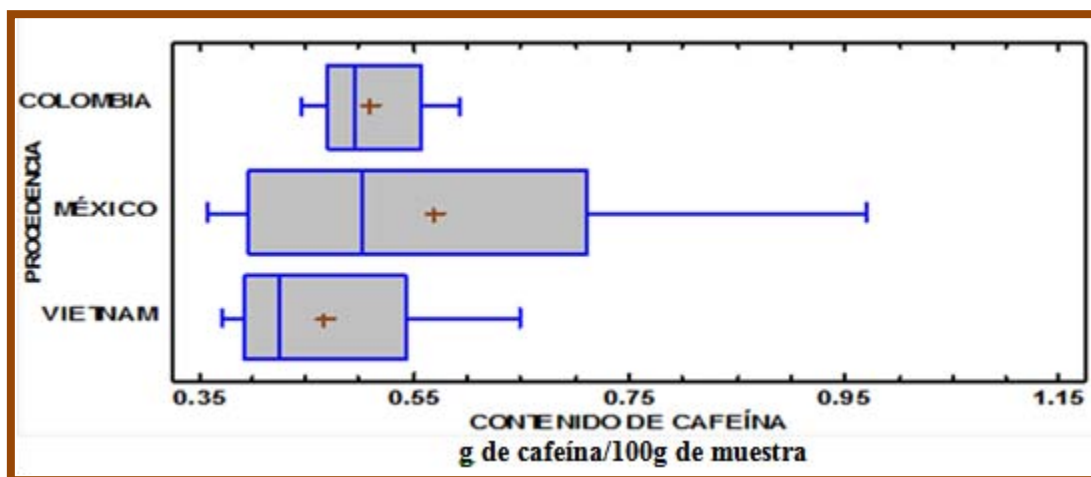


Figura 39. Influencia de la procedencia en la concentración de cafeína en granos de café de diferentes regiones productoras.

En la Figura 39 se observa que no existe una diferencia significativa ($p \geq 0.5$) entre las medias de la concentración de cafeína de las procedencias estudiadas ya que los rangos observados en el diagrama de caja con bigote se traslapan. Por lo tanto los granos de café de México tuvieron en promedio el mayor contenido de este compuesto con 1.88 g de cafeína/100 g, siguiendo los granos de café procedentes de Colombia con 1.67 g de cafeína/100 g, y los granos de café de Vietnam 1.55 g de cafeína/100 g. Sin embargo el contenido de cafeína en estos resultados obtenidos fueron menores en comparación con los obtenidos por espectrofotometría ya que para los granos de café procedentes de México tuvieron en promedio un contenido de 2.91 g de cafeína/100 g, los granos de café procedentes de Colombia tuvieron 3.56 g de cafeína/100 g y los



granos de café de Vietnam 3.48 g de cafeína/100g, estas diferencias se atribuyen al método de extracción del compuesto, técnica utilizada para la determinación del compuesto y a la que claramente hay una mayor selectividad por el método de HPLC.

5.4.2. Influencia de la marca en la concentración de los polifenoles y cafeína obtenidos por HPLC, en café de tostado medio.

Las pequeñas variaciones en el contenido de compuestos clorogénicos (CGA) en granos de café de frutos maduros se pueden observar debido a las condiciones climáticas severas como frío, mucha luz y estrés hídrico tienden a aumentar el contenido de compuestos fenólicos no sólo en la planta de café y semillas, si no en otras plantas también. El uso de fertilizantes ricos en nitrógeno y las situaciones de deficiencia de boro también han demostrado que aumenta el contenido del total CGA en las semillas de café y otras plantas (Camacho *et al.*, 2002); (Douglas, 1996); (Farah y Donangelo, 2006); (Malta *et al.*, 2003).

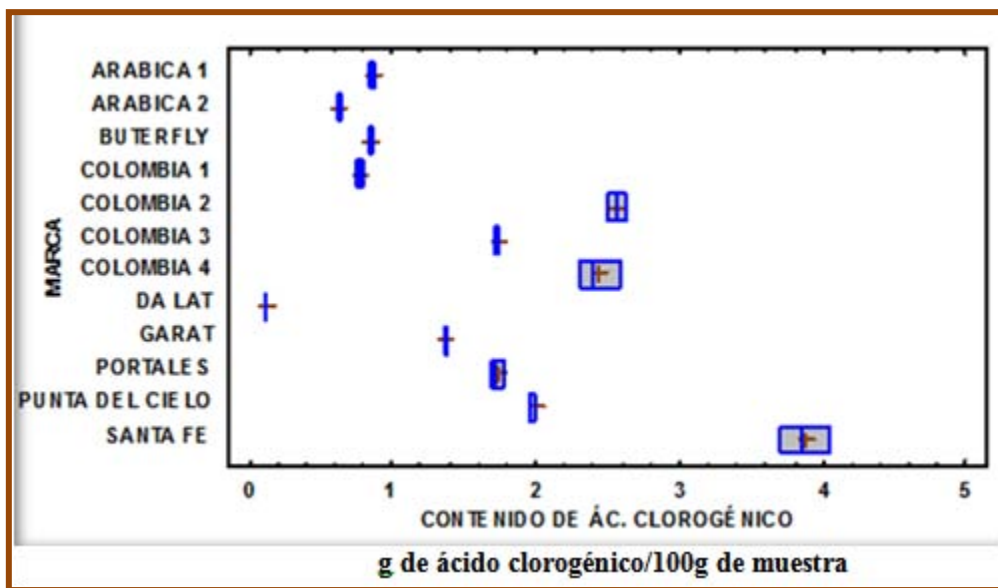


Figura 40. Influencia de la marca en la concentración de ácido clorogénico en granos de café de diferentes regiones productoras.

En la Figura 40 existe diferencia significativa ($p \leq 0.5$) entre las medias de la concentración de Ác. Clorogénico con la marca, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el



análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A, siendo así que la marca comercial que tuvo mayor contenido de este compuesto fue la marca Santa Fe procedente de México con 3.87 g de ácido clorogénico/100 g de muestra, prosiguiendo los granos de café de Colombia marca No.2 con 2.57 g de ácido clorogénico/100 g de muestra y en menor contenido los granos procedentes de Vietnam, marca Da lat con 0.12 g de ácido clorogénico/100 g de muestra. Trandafir *et al.*, (2013), estudio granos de café tostado de diferentes marcas comerciales de Rumania encontrando un intervalo de 0.60- 2.30 g de ácido clorogénico/ 100 g de muestra. Belguidoum *et al.* (2014) reportaron un contenido de 1.19 g de ácido clorogénico/ 100 g de muestra en granos de café tostado, estos datos entran en los resultados obtenidos de este trabajo.

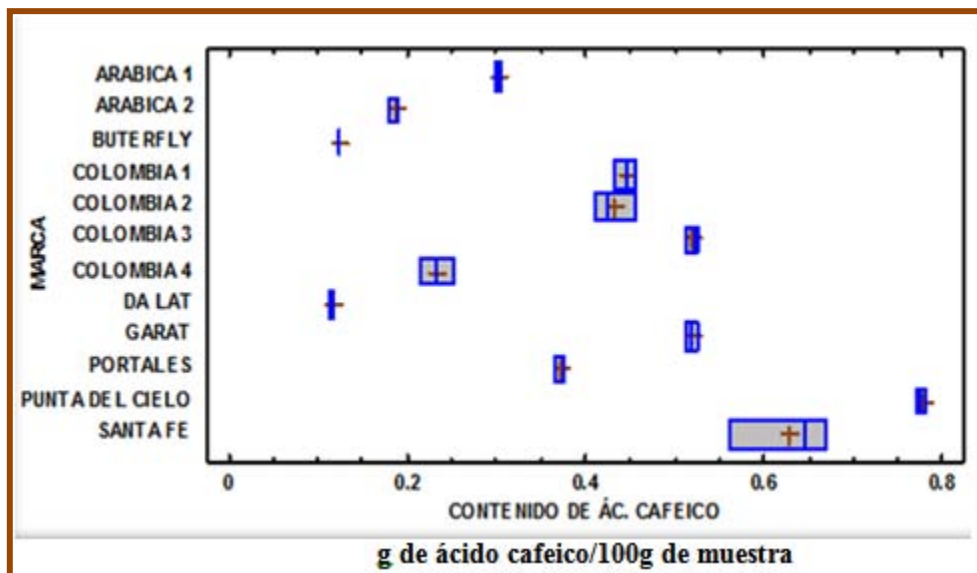


Figura 41. Influencia de la marca en la concentración de ácido cafeico en granos de café de diferentes regiones productoras.

En cuanto al contenido de ácido cafeico con las diferentes marcas (Figura 41), presentó diferencia significativa ($p \leq 0.5$), esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A, siendo la marca Punta del Cielo de la procedencia de México con mayor contenido de este compuesto 0.78 g de ácido cafeico/100 g de muestra, siguiendo la marca Santa Fe con 0.63 g de ácido cafeico/100 g de muestra y en menor cantidad de este compuesto la marca Da Lat y Arabica Butterfly con 0.12 g de ácido cafeico/100 g de muestra de procedencia de Vietnam. Los contenidos de este ácido en las variedades de



Arábica evaluadas fueron mayores a los reportados por Trandafir *et al.* (2013), quienes encontraron un intervalo de 0.0075- 0.014 g de ácido cafeico/100 g de muestra. Mientras que Belguidoum *et al.*, (2014), reportaron 0.081g de ácido cafeico/100 g de muestra, este dato muestra un alto contenido de este compuesto en comparación de los obtenidos en este trabajo.

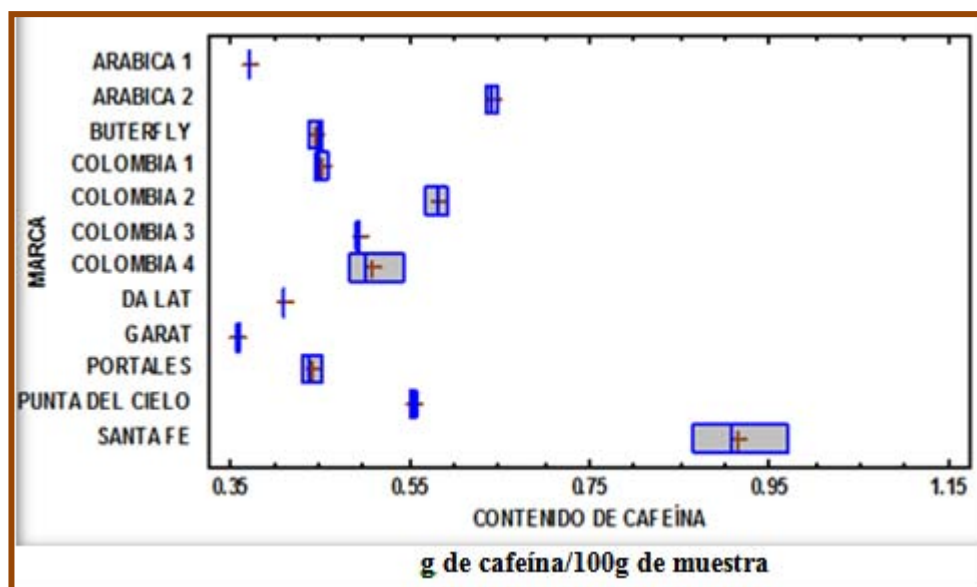


Figura 42. Influencia de la marca en la concentración de cafeína en granos de café de diferentes regiones productoras.

Y por último se observa en la Figura 42 que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las medias de las concentración de cafeína, esto se confirma al realizar la prueba de hipótesis correspondiente y el análisis de varianza que se puede ver en el Anexo A, así la marca Santa Fe procedente de México con 0.91 g de cafeína/100 g de muestra tuvo el mayor contenido de este compuesto, siguiendo la marca Arábica 2 con 0.64 g de cafeína/100 g de muestra procedente de Vietnam y en menor contenido la marca Garat con 0.34 g de cafeína/100 g de muestra procedente de México. El contenido de este compuesto evaluado fue menor a los reportados por Belguidoum *et al.* (2014) quienes reportaron en sus estudios de granos de café un contenido de 0.99g de cafeína/100g de muestra, también Trandafir *et al.* (2013), determinaron el contenido de cafeína por HPLC en granos de café variedad arábica encontrando un intervalo de 1.89-3.05 g de cafeína/100g de muestra.



La cafeína y polifenoles contenidos en el café comercial pueden ser muy influenciados, no sólo por los granos de café especie, variedad, y origen geográfico, sino también, por las condiciones de tostado. Por lo tanto, la determinación simultánea de estos componentes tanto antes y después de la elaboración del café debe ser una herramienta útil para el control de calidad y para el monitoreo de las condiciones de tostado del café (Belguidoum *et al.*, 2014).

La producción de café Arábica de alta calidad depende de tres factores principales: los recursos genéticos, condiciones ambientales, y gestión (tanto agronómico y manejo post-cosecha). Para la mayoría de los productores de café las condiciones ambientales, por ejemplo, topografía y el clima, se dan, mientras que el recurso genético depende en la elección de la variedad de café y procedencia (Bosselmann *et al.*, 2009)

Conclusiones





Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en este proyecto se concluye lo siguiente:



La procedencia es un factor importante en la composición de los granos de café verdes 100% arabica, observándose que los granos de café verde del estado de Veracruz tuvieron un alto contenido de ácido clorogénico y cafeína, esta tendencia fue inversa a lo encontrado en la actividad antioxidante.



El proceso de tostado tiene efecto directo sobre el contenido de fenoles totales en las muestras de café 100% arábica, observándose una tendencia a disminuir conforme aumenta el grado de tostado, lo cual se ve reflejado en la actividad antioxidante de los granos de café, donde tiende a disminuir conforme aumenta el nivel de tostado.



El método de HPLC fue implementado adecuadamente para la determinación de cafeína en granos de café donde, los granos de café tostado de las diferentes procedencias estudiadas tuvieron una disminución del ácido clorogénico conforme aumentaba el nivel de tostado, mientras que el ácido cafeico se pudo cuantificar hasta los niveles más altos de tostado (alto y oscuro) de las distintas procedencias de granos de café. El contenido de cafeína no mostró efecto por el proceso de tostado, no así por la procedencia de los granos de café.



En cuanto a los granos de café comerciales procedentes de Colombia tuvieron en promedio mayor actividad antioxidante y mayor contenido de Cafeína comparado con los procedentes de México y Vietman, mientras que los granos de café comerciales procedentes de México tuvieron en promedio el mayor contenido de fenoles totales.







Sensorialmente los granos de café de México tuvieron mayor aceptación en aroma y acidez, los granos de café de Colombia presentaron mayor calificación en sabor y los granos de café de Vietnam tuvieron mejor cuerpo.

Recomendaciones





Recomendaciones

-  Evaluar el efecto de la procedencia sobre los parámetros determinados en este proyecto sobre otros productos como son las hojas de té y los granos de cacao para comparar su actividad antioxidante, cafeína y fenoles totales con los granos de café.
-  Evaluar la composición de compuestos fenólicos en granos de café Robusta.
-  Evaluar la composición de compuestos fenólicos en diferentes variedades de granos de café, de una sola procedencia.
-  Determinar el efecto de la altura de cultivo sobre la composición y parámetros sensoriales en granos de café 100% arábica.

Referencias





6. Referencias

1. Alvarado S. M., Rojas C. G., (1994). El cultivo y beneficiado del café. Editorial Estatal Universidad a distancia, Costa Rica, Pp 28.
2. Alves, R.C., Costa, A. S.G., Jerez, M., Casal, S., Sineiro, J., Nuñez, M.J. y Oliveira, B. 2010. Antiradical activity, phenolics profile, and hydroxymethylfurfural in espresso coffee: influence of technological factors *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 12221-12229.
3. ANACAFE (2014). Estados productores de café verde en nuestro país. Consultado el 15 de Agosto del 2014. Disponible en: <http://www.anacafemexico.com/anacafe/>.
4. Antiasarán A. I., Martínez Hernández J. A., Muñoz M., (2000). Alimentos: composición y propiedades, Mcgraw-Hill, España, pp. 239-249.
5. Arias Balderas Mónica Joanna, (2012). Evaluación sensorial de productos vegetales para el control de calidad en empresas comercializadoras y productoras, Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
6. Avello M. y Suwalsky M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea* N° 494– II Sem. 2006: 161-172.
7. Ayelign A y Sabally Kebba. (2013). Determination of Chlorogenic Acids (CGA) in Coffee Beans using HPLC. *American Journal of Research Communication*. Volumen 1(2).
8. Belguidoum K., Amira-Guebailia H., Boulmokh Y., Houache O. (2014). HPLC coupled to UV–vis detection for quantitative determination of phenolic compounds and caffeine in different brands of coffee in the Algerian market. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Volumen 45, pp. 1314-1320.
9. Belitz H. D., Grosch W., Schieberle P., (2011). *Química de Alimentos*, Editorial Acribia, 3era. Edición, España.
10. Blanco M., Hagggar J., Moraga P., Madriz J. del C., Pavón G., (2003). Morfología del café (*Coffea arabica* L.) en lotes comerciales de Nicaragua. *Revista de Agronomía Mesoamericana* 14(1): 97-103pp.
11. Blogdisea (2013). Consultado el 1 de diciembre del 2013. Disponible en: <http://www.blogdisea.com/2009/te-contiene-mas-cafeina-cafe/ciencia/>



12. Borrelli, R., Viscotu, A., Mennella, C., Anese, M., y Floglian, V. (2002). Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. *Journal of agricultural and Food Chemistry*. 22:6527-6533.
13. Bosselmann A. S., Dons K., Oberthur T., Olsen C. S. Rabild A., Usma H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, pp. 253–260.
14. Brezova V., Ecosyste A., Sta, v A., (2008). Coffee as a source of antioxidants: An EPR study. *Food Chemistry* 114 859 114
15. Café Colombia (2015). Nuestras regiones cafeteras. Consultada el 20 de enero del 2015. Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/regiones_cafeteras/
16. Café oriental (2014). Consultado el 20 de enero del 2015. Disponible en: www.cafeoriental.com.mx.
17. Cafés de México (2006). Historia del café. Consultada el 20 de enero del 2015. Disponible en: <http://www.cafesdemexico.com/index.php/es/el-cafe.html>.
18. CAFESCA (2013). El café de México y Chiapas. Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.cafesca.com/Nuestro-Cafe/Proceso-de-produccion>.
19. Camacho C. JJ, Anzelotti D; González F.A., (2002) Changes in phenolic metabolism of tobacco plants during short-term boron deficiency. *Plant Physiol. Biochem.* 40: 997-1002.
20. Cantos E., García Viguera C., Pacual Teresa S., Tomás Barberán F.A., (2000). Effect of postharvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of Cv. Napoleon table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:4606-4612.
21. Carrasco R. R., Encina Z. C., (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Rev. Soc. Quím. Perú* v.74 n.2.
22. Carvajal Herrera J. J., Aristizábal Torres I. D., Oliveros Tascón C. E., Mejía Montoya J. W., (2011). Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L.) Durante su Desarrollo y Maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 64, núm. 2, pp. 6229-6240.



23. Corrêa P.C., Afonso P.C., (2003). Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. *Ciência e Agrotecnologia*. Lavras 27(6): 1268-1276.
24. Cortés S. H., Cárdenas D. S., Padrón R. B., (1994). Sistema Agroindustrial Café en México, diagnóstico, problemática y perspectivas. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
25. Douglas CJ. (1996) Phenylpropanoid metabolism and lignin biosynthesis: from weeds to trees. *Trends Plant Sci.* 1: 171-178.
26. Duicela Luis A. García J., Corral C. R., Farfán T. D., Fernández F., Shiguango D., Guamán J., (2010). Informe Técnico. Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del café robusta. Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC), Solubles Instantáneos (SICA) y Ultramares El Café. Pp 3-9.
27. Escamilla J. T., (1997). Análisis Descriptivo Cuantitativo de Café. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
28. FAO (2013). Vietnam destrona a Brasil como el primer exportador mundial de café. Consultada el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: [http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/it/?dyna_fef\[uid\]=155590](http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/it/?dyna_fef[uid]=155590).
29. Farah A, Donangelo CM (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Vol.18 (1), PP.23-36.
30. Farah A., Paulis T., Trugo L., Martin P. R., (2005). Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. *J. Agric. Food Chem* 53, 1505–1513.
31. Farah, A., de Paulis, T., Trugo, L. C., & Martin, P. R. (2005). Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1505-1513. Moon, J.-K., & Shibamoto, T. (2010). Formation of Volatile Chemicals from Thermal Degradation of Less Volatile Coffee Components: Quinic Acid, Caffeic Acid, and Chlorogenic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(9), 5465-5470.
32. FEC, (2014). Tueste de Café. Consultada el 22 de noviembre del 2014. Disponible en: www.federacioncafe.com



33. FEC, (2015). Cata de café/ Características a evaluar en un café. Consultado el 23 de Enero del 2015). Disponible en: <http://www.federacioncafe.com/Publico/ElCafe/caracteristicas.asp>
34. Fennema Ower R., (2000). Química de alimentos, 2da. Edición, Editorial Acribia, España.
35. FINCA ALTA (2013). Los procesos del café. Consultado el 14 de Agosto del 2014. Disponible en: <http://cafefincaalta.com/blog/93/>.
36. Franco F. R. (2010). Café y estilo de vida saludable. Editorial EDIMSA, España.
37. Franco R., Lizarraga M^a A., (2015). El café es un producto de origen vegetal que presenta una serie de componentes similares a otros encontrados en frutas y verduras, en el cacao o en el té. Consultado el 24 de Enero del 2015. Disponible en: http://www.infoalimentacion.com/documentos/los_componentes_del_cafe.asp
38. Gallignani M., Torres M, Ayala C., Brunetto M. del R. (2008). Determination of caffeine in coffee by means Fourier transform infrared spectrometry. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia v.31 n.2.
39. González S. H. M., González P. S., Rosales R. T., (2011). Café (coffeearabica L.): Compuestos volátiles relacionados con el aroma y sabor. Revista U. Tecnociencia, 5 (2) 35 - 45.
40. Gotteland M., de Pablo S., (2007). Algunas verdades sobre el café. Rev Chil Nutr Vol. 34, N°2, págs: 105-115.
41. Gutiérrez A. (2002) .Café, antioxidantes y protección a la salud. MEDISAN 2002;6(4):72-81
42. Hecimovic I. , Belščak C.A., Horzic D , Komes D. (2011).Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting Food Chemistry 129 ,pag. 991–1000.
43. Hernández, A. G. (2010). Tratado de Nutrición 2^a ed. Tomo II: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Panamericana. Madrid.
44. Herrera F. C. (2013). Evaluación de la capacidad antioxidante, propiedades químicas y color de café (coffea arabica) de diferentes estados de la República Mexicana. Tesis de Ing. En Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.



45. ICO (2013). Procesamiento de campo. Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: http://www.ico.org/ES/field_processingc.asp
46. Infocafe, (2015). Principales productores de café del mundo. Consultado el 8 de Febrero del 2015. Disponible en: <http://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>
47. La industria del Café (2011). Exportaciones Nicaraguenses de Café. Consultado el 14 de Agosto del 2014. Disponible en: <http://industriadelcafe.blogspot.mx/>.
48. Lima A. R., Pereira R.G. F., Abrahão S.A., Zangeronimo M. G., Paula F. B. A Duarte S. M. (2013). Effect of decaffeination of green and roasted coffees on the in vivo antioxidant activity and prevention of liver injury in rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy* 23(3): 506-512.
49. Ludwig I.A., Bravo J., Paz De P. M., Cid Concepción, (2013). Effect of sugar addition (torrefacto) during roasting process on antioxidant capacity and phenolics of coffee. *Food Science and Technology* 51. 553-559
50. Malta MR., Nogueira FD., Gimações PTG. (2003). Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Ciênc. Agrotec. Lavras*.27:1246-1252.
51. Marín Ciriaco G., (2013). Control de calidad del café. Manual técnico. Programa Selva Central –desco. Lima.
52. Marín G.C y Puerta Q. G.I., (2008). Contenido de ácidos Clorogénicos en granos de *Coffea arabica* y *C. canephora*, según el desarrollo del fruto. *Cenicafé* 59 (1): 7-28.
53. Meira B. F., Carmanini R. F., Pereira F. L., Silva G. G., Valquíria A. F., Pedroza I. E., (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research* 52, pp.1-6.
54. Mendoza E., Calva C, (2010). BROMATOLOGÍA: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS, Editorial Mc-GrawHill, México.
55. México Produce, (2013). Consultado el 27 noviembre, 2013. Disponible en: <http://www.mexicoproduce.mx/articulos/cafeMexicano.html>.
56. Monroing M. F (2014). Descripción de variedades de *Coffea Arabica*. Consultado el 15 de Agosto del 2014. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id45.htm>.



57. Moreno L. (2004). Teoría del color. Propiedades de los colores. Consultado el 7 de febrero del 2015. Disponible en: <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php>
58. Morillo R. A., Pérez N. E., Linares J. A., Román G. N. (1979). Contenido de aceite y de cafeína en el grano y de cafeína en la pulpa de café en veintidós cultivares. *Agronomía Tropical* 29(2): 165-171.
59. Naranjo M., Vélez Luz T., Rojano B. A., (2011). Actividad antioxidante café colombiano de diferentes calidades. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 16(2)164-173.
60. NMX-F-013-SCFI-2000. Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado - especificaciones y métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana.
61. NOM-149-SCFI-2001, Café Veracruz-Especificaciones y métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana
62. Nuestro café, (2015). Consultado el 21 de marzo del 2015. Disponible en: http://www.nuestrocafe.com/articulo/cafe_torrefacto_80.php
63. Onorio C. O., Rios G. O., Guyot B., Fontana T. A., Guiraud J.P., Galindo S. S., Durand N., Quiroz S. M. (2011). Effect of two different roasting techniques on the Ochratoxin A (OTA) reduction in coffee beans (*Coffea arabica*). *Food Control* 22, 1184-1188.
64. Orozco C.N, Guacas S. A., Bacca T., (2011). Caracterización de fincas cafeteras por calidad de la bebida y algunas condiciones ambientales y agronómicas. *Revista de ciencias agrícolas*. Volumen XXVIII No. 2.Pags. 9 – 17.
65. Pérez Hernández L. M., Chávez Quiroz K., Medina Juárez L. A., Gámez Meza N., (2012). Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, *Revista de Biotecnología*, 15(1):51-5.
66. Pokorny J., Nedyalka Y., Gordon M., (2001). ANTIOXIDANTES DE LOS ALIMENTOS (Aplicaciones prácticas), Editorial Acribia, España.
67. PROCAFE (2014). Morfología del cafeto. Consultado el 14 de Agosto del 2014. Disponible en: <http://www.procafe.com.sv/menu/Generalidades/AspectosBotanicos.htm>.
68. Puerta Q. G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Cenicafé* 50(1):78-88.



69. Puerta Q. G.I., (1998).Calidad en taza de las variedades de *Coffea arabica* L. Cultivadas en Colombia. *Cenicafé* 49(4): 265-278.
70. Puerta, G.I. 1996. Escala para la evaluación de la bebida de café verde *Coffea arabica* L, proceso vía húmeda. *Cenicafé*. 47(4): 231 – 234.
71. Química (2013). Consultado el 1 de diciembre del 2013.Disponible en: <http://quimicax.webnode.es/quimica-organica/compuestos-oxigenados/fenol>.
72. Quiñones M., M. Miguel y Aleixandre A., (2012).Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Revista de Nutr Hosp.*; 27(1):76-89.
73. Saenz Colin A., (1990). El cultivo del cafeto en México, Editorial la Puente, México.
74. SAGARPA (2013). Alcanza precios récord café de México de alta calidad. Consultada el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/Paginas/2012B363.aspx>.
75. Salinas Vargas M. E., (2011). Determinación de polifenoles totales y cafeína en granos de café verde y tostado. Tesis de Licenciatura en QUIMICA DE ALIMENTOS. Universidad Nacional Autónoma de México.
76. Santoyo C. H., Díaz C. S., Escamilla P. E., Robledo M. J.D., (1996).Factores agronómicos y calidad del café. Universidad Autónoma Chapingo. México.
77. SIAP (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Consultada el 27 noviembre del 2013. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx>.
78. Silveira D. S. de M., Patto de A. C.M., Menezes H. de C., dos Santos H. M.,; Paiva G. C. M. (2005). Effect of processing and roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* vol.25 no.2.
79. Simal J., Paseiro P., (1984). Contribución a la determinación espectrofotométrica de cafeína en cafés. *Revista de Departamento de Investigación Químico-Farmacéuticas*, 36(1), 97-108.
80. Tello J., Viguera M., Calvo L. (2011). Extraction of caffeine from Robusta coffee (*Coffea canephora* var. Robusta) husk using supercritical carbon dioxide. *J. of Supercritical Fluids* 59, 53–60.



81. Trandafir I., Nour V., Ionica M.E. (2013). Antioxidant capacity, phenolic acids and caffeine contents of some commercial coffees available on the Romanian market. *Archivos Latinoamericanos de nutricion*. Vol. 63 No 1.
82. Venereo G. J.R., (2002). Daño oxidativo, libres y Antioxidantes. Instituto Superior de Medicina Militar “Dr. Luis Díaz Soto”. *Rev Cubana Med Milit* 2002;31(2):126-33.
83. Vignoli, J., *et al.*, (2009). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee. *FoodChemistry*. 124:863-868.
84. Villaseñor L. A.,(1987). *Caficultira Moderna en México*. Editorial Futura S.A., México.

Anexos





Anexo A

- a. Pruebas de hipótesis para la influencia de la Procedencia y niveles de tostado en la Concentración de Cafeína, Ác. Clorogénico y Ác. Cafeico.

Prueba de hipótesis para el factor Procedencia

$$H_0 = \bar{X}_{Chiapas} = \bar{X}_{Nayarita} = \bar{X}_{Oaxaca} = \bar{X}_{Puebla} = \bar{X}_{Veracruz}$$

$$H_1 = \text{al menos una } \bar{X}_{Procedencia} \text{ es } \neq \text{ de las demas } \bar{X}_{Procedencias}$$

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

Prueba de hipótesis para el factor Nivel de tostado

$$H_0 = \bar{X}_{verde} = \bar{X}_{ligero} = \bar{X}_{medio} = \bar{X}_{alto} = \bar{X}_{oscuro}$$

$$H_1 = \text{al menos un } \bar{X}_{Nivel\ de\ tostado} \text{ es } \neq \text{ de los demas } \bar{X}_{Niveles\ de\ tostado}$$

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

Análisis de varianza para Concentración de Cafeína - Tipo III sumas de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:NIVEL DE TOSTADO	0.686859	4	0.171715	687.31	0.0000
B:PROCEDENCIA	0.351835	4	0.0879588	352.07	0.0000
INTERACTIONS					
AB	0.441505	16	0.0275941	110.45	0.0000
RESIDUAL	0.0122419	49	0.000249834		
TOTAL (CORRECTED)	1.4979	73			

Análisis de varianza para Concentración de Ác Clorogénico - Tipo III sumas de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:NIVEL DE TOSTADO	392.468	4	98.117	2104.15	0.0000
B:PROCEDENCIA	58.8272	4	14.7068	315.39	0.0000
INTERACTIONS					
AB	62.6188	16	3.91367	83.93	0.0000
RESIDUAL	2.28489	49	0.0466303		
TOTAL (CORRECTED)	515.058	73			

Análisis de varianza para Concentración de Ác Cafeico - Tipo III sumas de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:NIVEL DE TOSTADO	1.91119	4	0.477798	1070.69	0.0000
B:PROCEDENCIA	0.680955	4	0.170239	381.48	0.0000
INTERACTIONS					
AB	0.719019	16	0.0449387	100.70	0.0000
RESIDUAL	0.0218664	49	0.000446254		
TOTAL (CORRECTED)	3.36465	73			

- b. Pruebas de hipótesis para la influencia de la Procedencia en la Concentración de Cafeína, Ác. Clorogénico y Ác. Cafeico.



$$H_0 = \bar{X}_{\text{vietnam}} = \bar{X}_{\text{Colombia}} = \bar{X}_{\text{México}}$$

$$H_1 = \text{al menos una } \bar{X}_{\text{Procedencia}} \text{ es } \neq \text{ de las demas } \bar{X}_{\text{Procedencias}}$$

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

Tabla ANOVA para la concentración de Ác Clorogénico por Procedencia

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	17.4157	2	8.70787	15.57	0.0000
Within groups	18.4607	33	0.559414		
Total (Corr.)	35.8764	35			

Tabla ANOVA para la concentración de Ác Cafeico por Procedencia

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.926247	2	0.463124	32.35	0.0000
Within groups	0.472384	33	0.0143147		
Total (Corr.)	1.39863	35			

Tabla ANOVA para la concentración de Cafeína por Procedencia

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.06021	2	0.030105	1.41	0.2575
Within groups	0.702645	33	0.0212923		
Total (Corr.)	0.762855	35			

- c. Pruebas de hipótesis para la influencia de la Marca en la Concentración de Cafeína, Ác. Clorogénico y Ác. Cafeico.

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \bar{X}_3 \dots \bar{X}_n \dots = \bar{X}_{12}$$

$$H_1 = \text{al menos una } \bar{X}_{\text{Marca}} \text{ es } \neq \text{ de las demas } \bar{X}_{\text{Marcas}}$$

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

Tabla ANOVA para la concentración de Ác. Clorogénico por Marca

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	35.7515	11	3.25014	624.64	0.0000
Within groups	0.124877	24	0.00520322		
Total (Corr.)	35.8764	35			

Tabla ANOVA para la concentración de Ác. Cafeico por Marca

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.38985	11	0.12635	345.28	0.0000
Within groups	0.00878236	24	0.000365932		
Total (Corr.)	1.39863	35			

Tabla ANOVA para la concentración de Cafeína por Marca

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.75438	11	0.06858	194.22	0.0000
Within groups	0.00847441	24	0.000353101		
Total (Corr.)	0.762855	35			



En la (Figura 43) se muestra el perfil cromatográfico de los estándares, ácido clorogénico y cafeico (325nm), Cafeína (272), y ácido salicílico a (296nm).

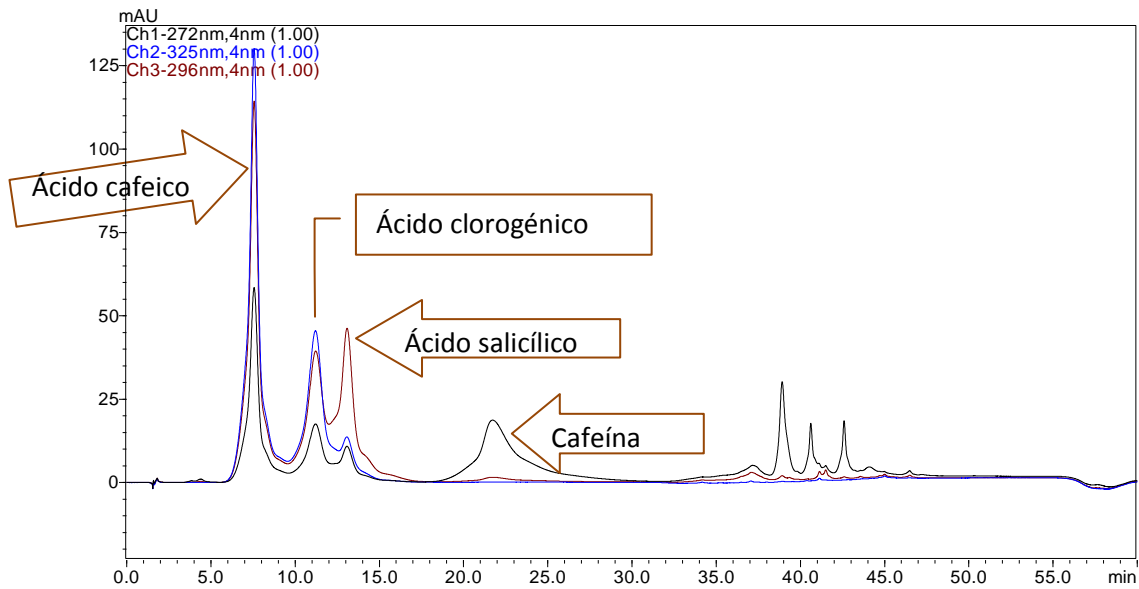
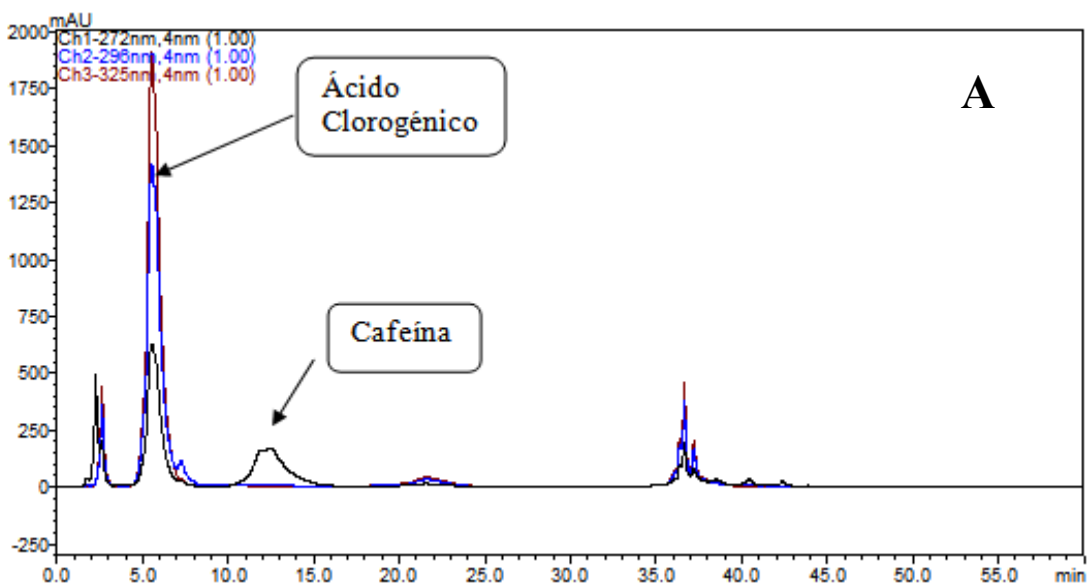


Figura 43. Cromatograma de los estándares usados para la identificación de los cafés problema.

En la (Figura 44) se muestran un cromatograma de un café verde y un café tostado.



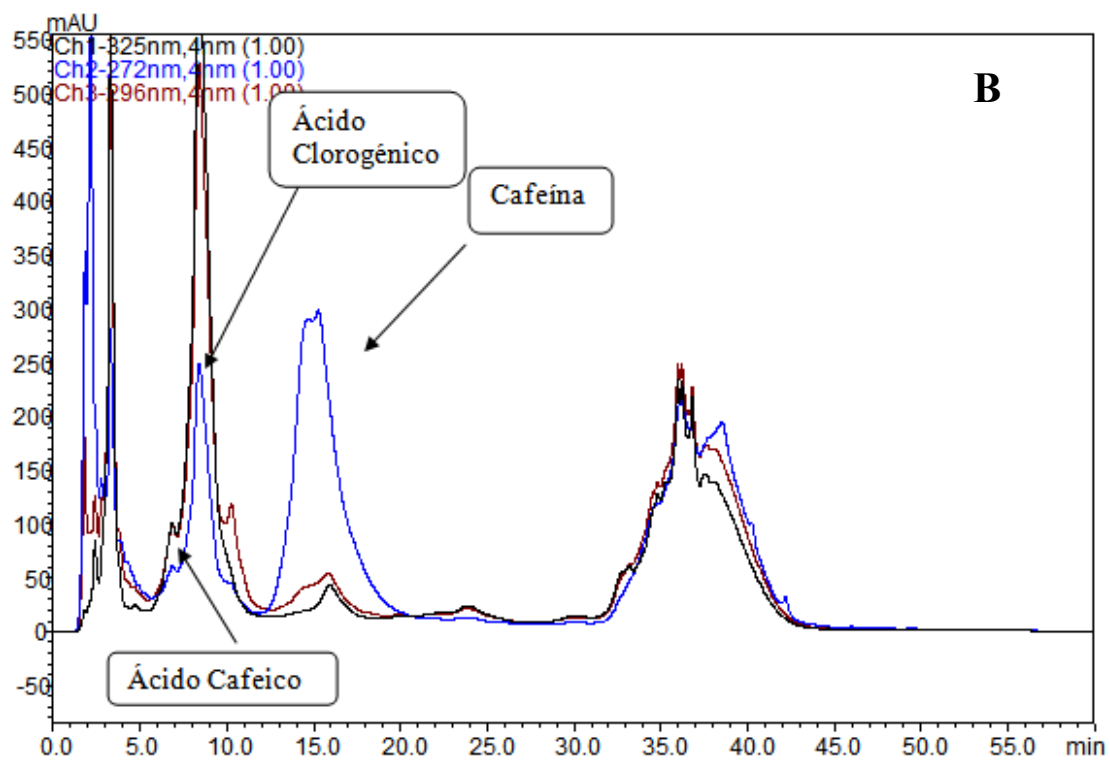


Figura 44. Cromatogramas de café verde (A) y café tostado (B).



La Universidad de Guanajuato y
La Universidad Autónoma de Nuevo León
otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a

Lazcano Sánchez E., Trejo Márquez M. A., Pascual Bustamante S., Vargas Martínez
M. G.

Por haber obtenido el

SEGUNDO LUGAR

en la categoría de Licenciatura con el trabajo de póster titulado


**EFFECTO DEL GRADO DE TOSTADO EN GRANOS DE CAFÉ DE DIFERENTES REGIONES
PRODUCTORAS DE MÉXICO SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS,
CAFÉINA Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

En el 1er. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias
en Procesamiento de Alimentos y el
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Del 28 al 30 de mayo de 2014 en la ciudad de Guanajuato, Gto.


Dr. Gerardo Martínez Soto
Director del Departamento de Alimentos
Universidad de Guanajuato


Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán
Jefe del Depto. de Alimentos
Universidad Autónoma de Nuevo León


Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez
Coordinadora del evento



VIII



AITEP 2014

DEL 12 AL 14 DE NOVIEMBRE

CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES

UN MUNDO DE AGRODIVERSIDAD EN EL CENTRO DEL PLANETA

El presente diploma es otorgado a:

***Lazcano-Sánchez Elidai, Pascual-Bustamante Selene,
Trejo-Márquez Ma. Andrea, Vargas-Martínez Ma. Gabriela***

Por la exposición de su trabajo:
Contenido de Fenoles, Cafeína y Capacidad Antioxidante de Granos de
Café Verdes y Tostados de Diferentes Estados de México;
bajo la MODALIDAD ORAL y POSTER en el
**“VIII Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y
Agroexportaciones - AITEP 2014”**
realizado en la Universidad Tecnológica Equinoccial, del 12 al 14 de
noviembre del 2014.



HORTYFRESCO

Quito D.M., 14 de noviembre del 2014



Bioq. María José Andrade Cuví, MSc.
PRESIDENTE AITEP



Ing. Jorge Viteri
VICERRECTORADO
GENERAL ACADÉMICO
COMITÉ ORGANIZADOR

