



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Evaluación de la capacidad antioxidante, propiedades químicas y color de café (*coffea arabica*) de diferentes estados de la República Mexicana

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

Carolina Herrera Hernández

ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

COASESORA: I.A SELENE PASCUAL BUSTAMANTE

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO del 2013



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

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

U. N. A. M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

Evaluación de la capacidad antioxidante, propiedades químicas y color de café (coffea arabica) de diferentes estados de la República Mexicana

Que presenta la pasante: Carolina Herrera Hernández

Con número de cuenta: 407057588 para obtener el Título de: Ingeniera 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 HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de Abril de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

| | NOMBRE | FIRMA |
|----------------------|----------------------------------|-------|
| PRESIDENTE | Dra. Sara Esther Valdez Martínez | |
| VOCAL | IBQ. Saturnino Maya Ramírez | |
| SECRETARIO | Dra. María Andrea Trejo Márquez | |
| 1er. SUPLENTE | Dra. Carolina Moreno Ramos | |
| 2do. SUPLENTE | IA. Alberto Solís Díaz | |

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

H01A/pm



Se agradece el apoyo para el desarrollo de este proyecto al proyecto PAPIME con clave numero PE202610: Elaboración de materiales educativos para fortalecer la enseñanza en el taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos-Procesos Tecnológicos de Frutas y Hortalizas de la Carrera de Ingeniería en Alimentos.



Dedicatoria

A mis papas y al abuelo que me hubiera gustado que estuvieras todavía aquí.

Agradecimientos

A la UNAM por permitirme formarme como profesionista en esta Máxima casa de estudios, es un orgullo.

A mi papá y mi mamá por darme la vida, criarme, enseñarme, apoyarme, amarme, por creer en mí, y por dar lo mejor de sí. Los amo.

A mi hermano Mario, aunque no te lo demuestre mucho, te admiro y quiero.

A mis abuelos, Aurora y Tiburcio, Esperanza y Adán por su apoyo a lo largo de todos estos años.

A mis tías Chabelita, Carmen y Tina porque siempre tengo bien presente todos sus consejos y enseñanzas, Jamädi.

A mis tías y tíos, en especial: Elda, Elva y Hugo por su apoyo y ejemplo.

A mis primos; en especial a: Anita, Martí, Jana, Beto, y Mary por compartir tantos momentos de complicidad. Los quiero.

A Lulu Clares, por compartir tus conocimientos, paciencia y por brindarme tu amistad.

A la Dra. Andrea Trejo por el tiempo dedicado a esta tesis y por el apoyo en estos años.

A Selene gracias por el apoyo que me brindaste para poder terminar este proyecto y por creer en mí.

A mis amigas de la universidad; Mili, Jenny, Verito, Daf, Nivs, Chela y Lau; por acompañarme todos en momentos tan especiales a lo largo de este tiempo que espero que sean muchos más, porque sé que cuento con ustedes.

A mi amiga Lucy, por tu amistad incondicional, y que a pesar de todo sabemos arreglar nuestras diferencias. A mi amiga Ary, aunque no te veo como me gustaría, siempre te tengo presente.



Índice general

| | Páginas |
|--|---------|
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| Resumen | 1 |
| 1. Introducción | 2 |
| 2. Antecedentes | 4 |
| 2.1.1 Descripción morfológica | 4 |
| 2.1.2 Clasificación botánica | 5 |
| 2.1.3 Producción e importancia económica | 6 |
| 2.1.3.1 Exportación | 6 |
| 2.1.3.2 Importaciones | 7 |
| 2.2 Variedades cultivadas en México | 8 |
| 2.2.1 Typica | 8 |
| 2.2.2 Bourbon | 8 |
| 2.2.3 Garnica | 9 |
| 2.2.4 Costa Rica | 10 |
| 2.2.5 Caturra | 10 |
| 2.2.6 Mundo Novo | 10 |
| 2.2.7 Colombia | 11 |
| 2.2.8 Café Robusta | 11 |
| 2.3 El medio físico | 12 |
| 2.4 Definiciones de café | 14 |
| 2.5 Obtención de la semilla | 15 |
| 2.6 Beneficio y procesamiento del café verde | 18 |



| | |
|--|----|
| 2.7 Composición química de la semilla | 27 |
| 2.7.1 Compuestos fenólicos presentes en el café | 28 |
| 2.8 Actividad antioxidante | 33 |
| 2.8.1 Definición: radicales libres | 33 |
| 2.8.1.1 Capacidad antioxidante del café | 34 |
| 2.8.2 Beneficios del consumo del café | 34 |
| 3. Objetivos | 36 |
| 4. Metodología | 38 |
| 4.1 Material biológico | 40 |
| 4.2 Tratamiento de la muestra | 42 |
| 4.3 Efecto del estado productor en los parámetros de calidad y capacidad antioxidante en café verde | 43 |
| 4.3.1 Evaluación del efecto de la variedad en café verde procedente del estado de Chiapas sobre los parámetros de calidad y capacidad antioxidante | 43 |
| 4.3.2 Efecto del estado productor en parámetros de calidad y capacidad antioxidante con nivel de tostado medio. | 43 |
| 4.3.3 Efecto del nivel de tostado en parámetros de calidad y capacidad antioxidante en café variedad Typica | 43 |
| 4.4 Técnicas analíticas | 44 |
| 4.5 Evaluación sensorial | 46 |
| 4.5.1 Entrenamiento de jueces | 46 |
| 4.5.2 Tratamiento de la muestra para la evaluación sensorial | 47 |
| 4.5.3 Atributos evaluados | 47 |



| | |
|---|----|
| 4.6 Análisis estadístico | 48 |
| 5. Resultados y discusión | 49 |
| 5.1 Efecto del estado productor en el color de granos verdes variedad Typica. | 50 |
| 5.1.2. Efecto del estado productor en la cantidad lipídica de granos verdes variedad Typica | 52 |
| 5.1.3 Efecto del estado productor en fenoles de granos verdes variedad Typica | 53 |
| 5.1.4 Efecto del estado productor en la capacidad antioxidante de granos verdes variedad Typica | 54 |
| 5.2 Efecto de la variedad en color de granos verdes procedentes del estado de Chiapas. | 55 |
| 5.2.1 Evaluación de humedad de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas. | 57 |
| 5.2.2 Evaluación de grasa de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas. | 58 |
| 5.2.3 Evaluación de fenoles de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas. | 60 |
| 5.2.4 Evaluación de capacidad antioxidante de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas. | 61 |
| 5.3 Efecto del estado productor en el color de granos de café variedad Typica con tostado medio | 62 |
| 5.3.1 Efecto del estado productor en la humedad de granos de café variedad Typica con tostado medio | 63 |
| 5.3.2 Efecto del estado productor en la materia grasa de granos de café variedad Typica con tostado medio | 66 |



| | |
|--|----|
| 5.3.3 Efecto del estado productor en los fenoles de granos de café variedad Typica con tostado medio | 67 |
| 5.3.4 Efecto del estado productor en la capacidad antioxidante de granos de café variedad typica con tostado medio | 69 |
| 5.3.5 Efecto del estado productor en la evaluación sensorial de granos de café variedad Typica con tostado medio | 70 |
| 5.4 Efecto de la variedad y el grado de tostado en color de granos provenientes del estado de Veracruz | 71 |
| 5.4.1 Efecto de la variedad y el grado de tostado en la humedad de granos provenientes del estado de Veracruz | 72 |
| 5.4.2 Efecto de la variedad y el grado de tostado en el contenido de fenoles totales en granos de café provenientes del estado de Veracruz | 75 |
| 5.4.3 Efecto de la variedad y el grado de tostado en la capacidad antioxidante de granos provenientes del estado de Veracruz | 76 |
| 5.4.4 Efecto del estado productor en la evaluación sensorial (análisis descriptivo cuantitativo) de granos de café variedad Typica con tostado medio | 77 |
| 6. Conclusiones | 82 |
| 7. Recomendaciones | 84 |
| 8. Bibliografía | 86 |



Índice de Tablas

| | Páginas |
|--|----------------|
| Tabla 1. Descripción morfológica de la planta de café | 4 |
| Tabla 2. Apariencia y sabor que provoca el diferente grado de tostado | 24 |
| Tabla 3. Composición del café verde, el café tostado y la infusión (expresada en porcentaje de materia seca) | 26 |
| Tabla 4. Clasificación de los principales compuestos fenólicos de origen vegetal, de acuerdo a su estructura química básica | 29 |
| Tabla 5. Muestras de cafés tostados medios | 40 |
| Tabla 6. Muestras de cafés verdes | 41 |
| Tabla 7. Muestras de cafés de distintos grados de tostado | 42 |
| Tabla 8. Atributos propuestos por el panel de jueces | 47 |



Índice de Figuras

| | Páginas |
|--|----------------|
| Figura 1. Producción mundial de café arábica | 6 |
| Figura 2. Importaciones mundiales de café | 7 |
| Figura 3. Producción de café cereza de los principales estados en México | 7 |
| Figura 4. Variedad 'Typica' | 8 |
| Figura 5. Variedad 'Bourbon' | 9 |
| Figura 6. Variedad 'Garnica' | 9 |
| Figura 7. Variedad 'Costa Rica' | 10 |
| Figura 8. Variedad 'Caturra' | 10 |
| Figura 9. Variedad 'Mundo Novo | 11 |
| Figura 10. Variedad 'Colombia' | 11 |
| Figura 11. Café <i>Robusta</i> | 12 |
| Figura 12. Diagrama de proceso del café cereza | 15 |
| Figura 13. Color de las once muestras o clases de frutos de café, variedad Colombia, cereza roja. | 16 |
| Figura 14. Café verde | 19 |
| Figura 15. Diagrama de proceso para el café verde | 22 |
| Figura 16. Estructura química del esterres del ácido cafeíco | 30 |
| Figura 17. Estructura química de: a) ácido quínico, b) cafeíco y c)5- <i>O</i> - cafeólquínico | 30 |
| Figura 18. Estructura del ácido cinámico | 31 |
| Figura 19. Molino KRUPS GX4100 | 42 |
| Figura 20. Colorímetro Minolta modelo CR-300 | 44 |
| Figura 21. Termobalanza MARCA OHAUS modelo MB45 | 44 |
| Figura 22. Soxthlet | 45 |
| Figura 23. Espectrofotómetro Marca Thermospectronic modelo Genesys 10 uv | 45 |



| | |
|--|----|
| Figura 24. Cromo de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 50 |
| Figura 25. Luminosidad de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 51 |
| Figura 26. Porciento de humedad de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 52 |
| Figura 27. Porciento de grasa en cafés verdes de la variedad Typica proveniente de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 53 |
| Figura 28. Fenoles de cafés verdes de la variedad Typica provenientes de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 55 |
| Figura 29. Actividad antioxidante para las muestras verdes de la variedad Typica procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas (Chis), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax) | 56 |
| Figura 30. Cromo de cafés verdes de diferentes variedades del estado de Chiapas: Typica, Mundo Novo, Bourbon. | 57 |
| Figura 31. Luminosidad de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon. | 58 |
| Figura 32. Humedad de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon. | 59 |
| Figura 33. Grasa de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon. | 60 |
| Figura 34. Fenoles de las muestras verdes: Typica, Mundo Novo, Bourbon | 62 |
| Figura 35. Actividad antioxidante de cafés verdes: Typica, Mundo Novo, Bourbon. | 64 |
| Figura 36. Cromo de granos de café de tostado medio de variedad Typica | 65 |



procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz, y Chiapas.

- Figura 37.** Luminosidad de granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Chiapas (Chis) 66
- Figura 38.** Porcentaje de humedad granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Chiapas (Chis) 68
- Figura 39.** Porcentaje de grasa de granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Chiapas (Chis) 69
- Figura 40.** Fenoles de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Chiapas (Chis) 70
- Figura 41.** Actividad antioxidante de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver), Chiapas (Chis). 71
- Figura 42.** Evaluación sensorial de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue), Veracruz (Ver). 73
- Figura 43.** Croma de granos de café de las variedades Typica (Ty), Costa Rica (CR), Caturra (Ca) y Colombia (Co) con diferentes niveles de tostados procedentes del estado de Veracruz. 74
- Figura 44.** Luminosidad de granos de café de las variedades Typica (Ty), Costa Rica (CR), Caturra (Ca) y Colombia (Co) con diferentes niveles de tostados procedentes del estado de Veracruz. 75
- Figura 45.** Humedad de granos de café de las variedades Typica (Ty), Costa Rica (CR), y Caturra (Ca) y Colombia (Co) con diferentes niveles de tostados procedentes del estado de Veracruz. 76
- Figura 46.** Fenoles de granos de café de las variedades Typica (Ty), Costa Rica 78



(CR), y Caturra (Ca) y Colombia (Co) con diferentes niveles de tostados procedentes del estado de Veracruz.

Figura 47. Actividad antioxidante de granos de café de las variedades Typica (Ty), 80
Costa Rica (CR), Caturra (Ca) y Colombia (Co) con diferentes niveles
de tostados procedentes del estado de Veracruz

Figura 48. Evaluación sensorial de los de granos de café de las variedad Typica con 80
diferentes niveles de tostados procedentes del estado de Veracruz.



Resumen

El objetivo del presente proyecto fue la evaluación de las propiedades físicas, químicas y la capacidad antioxidante de café (*Coffea arabica*) proveniente de diferentes estados de la República Mexicana.

Los granos de café empleados fueron con diferentes grados de tostado: verde, ligero, moderado, alto y severo. También se evaluaron granos de café arábica provenientes de diferentes estados de la República Mexicana como son: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Veracruz. La evaluación de actividad antioxidante se realizó por el método de ABTS, el contenido de fenoles totales y de grasa por los métodos de Índice de Folin-Ciocalteu y de Soxhlet, respectivamente.

Los resultados mostraron que la actividad antioxidante en semillas verdes fue de 0.86 mmol eq trolox g⁻¹, mientras que para tostado severo, alto, moderado y ligero fueron de 0.18, 0.19, 0.23 y 0.26 mmol eq trolox g⁻¹, respectivamente. Mientras que, los compuestos fenólicos se vieron afectados por el grado de tostado, ya que presentaron 45.18 g AG/100g en la semilla verde y después del tostado de 86.38 g AG/100g. En el caso contenido de grasa los granos presentaron un promedio de 15.59 % y para los cafés con diferentes tostados un promedio de 17.71 %.

Se concluyó que los granos verdes presentaron una alta capacidad antioxidante en comparación con los granos con algún nivel de tostado, mientras que por procedencia a mayor altitud de los plantíos se presentó una mayor cantidad de materia grasa, así como un mayor cuerpo del café.



1. Introducción

El Café (*Coffea arabica*) es uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y cultural en México. Por este motivo se identificaron los principales estados productores de la especie *Arabica* en la República Mexicana: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Guerrero (Arellano *et al.*, 2008). De acuerdo con SAGARPA, México produjo 252 miles de toneladas en 2010 (SAGARPA, 2010).

El café es una de las bebidas más consumidas en todo el mundo por sus efectos fisiológicos y sus propiedades organolépticas, debido principalmente a los efectos producidos por la reacción de Maillard, que se desarrolla durante el proceso de tostado teniendo una gran influencia en el color y el aroma (Nicoli *et al.*, 1997).

El reciente interés de los beneficios a la salud debido a la capacidad antioxidante en la infusión de la semilla del café, están relacionado a su evidencia de un menor riesgo de padecer enfermedades como diabetes tipo-2, daño hepático, y enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson (Gotteland, 2007).

En la actualidad la infusión de la semilla del café es aceptado como una rica fuente de compuestos antioxidantes y fenoles (Brezová *et al.*, 2008). Como fuente principal de actividad antioxidante en el café están los compuestos fenoles (Sanchez-González, 2005).

Muchos cambios complejos físicos y químicos ocurren durante el tostado, incluyendo el cambio de color de verde a café (Del Castillo *et al.*, 2002).

Además, durante el tostado de la semilla, se expone a un tratamiento térmico muy intenso lo que origina la pérdida de fenoles (López *et al.*, 2006). Sin embargo, podría ser equilibrada por la formación de nuevos compuestos con actividad antioxidante (Morales y Maj, 2002).



Antecedentes





2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del Café

2.1.1 Descripción morfológica

La altura del árbol, abundancia y tamaño de las ramas, color y anchura de las hojas así como el tamaño y rendimiento del fruto puede variar de acuerdo a la especie y variedad, en la Tabla 1 se resume la descripción morfológica del café.

Tabla 1. Descripción morfológica de la planta de café.

| Parte de la planta | Características |
|--|--|
| Tallo  | La <i>coffea arabica</i> es un arbusto de un sólo eje o tallo central (orto trópico), con una zona de crecimiento en su ápice que alarga su tallo, formando nudos y entrenudos. Es leñoso de longitud variable en función al clima y al suelo; en las variedades comerciales varía de 2 a 5 m de altura. |
| Ramas  | Ramificación plagio trópica: la primera que forma un ángulo abierto, que tiene un crecimiento horizontal y que en ellas se manifiesta la producción (Fernández, 1900). Ramificación ortotrópicas: Da origen a los tallos, surgen del tallo principal, sigue una trayectoria vertical. |
| Hojas  | Son opuestas y alternas en el tallo ortotrópico de los cafetos jóvenes y en las ramas plagiotrópicas simplemente son opuestas. Son de color verde oscuro y brillante en la superficie superior y verde claro mate en el interior. Presentan una forma oval y terminan en punta, sus bordes son ovalados. |
| Flores  | Se les encuentra formando grupos en las axilas de las hojas de las ramas plagiotrópicas. La corola es blanca y formada por cinco pétalos fusionados en su base, el cual se encuentra inserto en la parte superior del ovario. El ovario, normalmente con dos lóculos, contiene un óvulo |



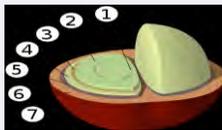
por lóculo. Presentan cinco estambres con anteras lineales que se abren longitudinalmente. El estilo es largo de color blanco.

Fruto



Después de la fecundación el ovario se transforma en fruto y sus dos óvulos en semillas. La semilla toma una forma redonda a la que se le conoce como café caracol. El fruto es una drupa de superficie lisa y brillante y de pulpa delgada fácilmente desprendible del pergamino. Cuando madura es rojo o amarillo.

Semillas



Presentan un endocarpio o pergamino fibroso. El endospermo es córneo constituido de hemicelulosas, proteínas, cafeína, aceite, azúcares, dextrina, celulosa, ácido clorogénico y otros compuestos minerales. El embrión es pequeño, de 1 a 2 mm, localizado en la base del endospermo.

En el interior de cada cereza, hay dos semillas separadas por un surco y rodeadas de una pulpa amarilla. Estos granos de café están protegidos por una película plateada y recubiertos por una piel de color amarillo.

Fuente: Fernández (1990); Cortijo (2010); imágenes tomadas de: Mundo de las flores (2010) y Wales (2005).

2.1.2 Clasificación Botánica

La planta del género *Coffea* pertenece a la familia Rubiaceae; su tamaño varía desde arbustos hasta árboles de 20 metros. La taxonomía del género es complicada; diferentes autores incluyen de 60 a 100 especies que se agrupan en cuatro secciones: *Eucoffea*, *Mascarocoffea*, *Paracoffea*, y *Argocoffea*. Las Especies cultivadas en la actualidad pertenecen a la sección *Eurocoffe*, y particularmente a las subsecciones *Erythrocoffea* (que comprende las especies *C. arabica*, *C. congeneris*, *C. canephora* y *C. eugenioides*) y *Pachycoffea* (que incluyen especies *C. liberica*, *C. hainii*, *C. cymensis*, *C. abeokutae* y *C. dewevrei*) (Fernández, 1990).



Las que tienen interés económico son por orden de importancia: *C. arabica*, cultivada principalmente en el Hemisferio Occidental; *C. canephora*, y *C. liberica*, ambas frecuentes en Asia y África (Fernández, 1990).

Dentro de este género las especies más importantes desde el punto de vista del sector de la industria del café son las *coffea arabica* y la *coffea robusta*, cada una de ellas proporciona matices distintos al café *Arábica*, proporciona un café suave y aromático y representa el mayor porcentaje de la producción (Cortijo, 2010).

2. 1. 3 Producción e importancia económica

2.1.3.1 Exportación

Por otra parte y de acuerdo a las estimaciones del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) al mes de junio del 2011, la producción mundial ascendió a 8,381 millones de toneladas del ciclo 2010- 2011, alcanzando un volumen de 5,157 millones de toneladas en el tipo de café arábica (SAGARPA, 2010). Como se observa en la Figura 1, la producción de café arábica del mundo, está concentrada en el continente americano, siendo el primer productor Brasil, seguido por Colombia y México como el quinto lugar en producción mundial; aunque cabe destacar que la participación de nuestro país, tan solo representa el 5.36% del total mundial.

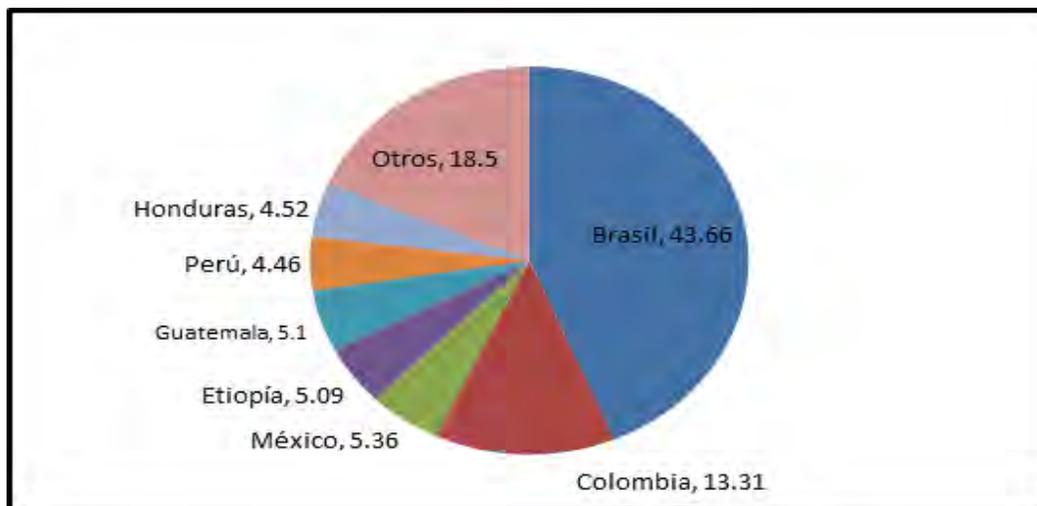


Figura 1. Producción mundial de café arábica (Miles de toneladas)

Fuente: SAGARPA (2010)



2.1.3.2 Importaciones

La Figura 2 muestra que la zona de mayor consumo en el mundo es la Unión Europea, la cual importa casi el 50% de la producción mundial.

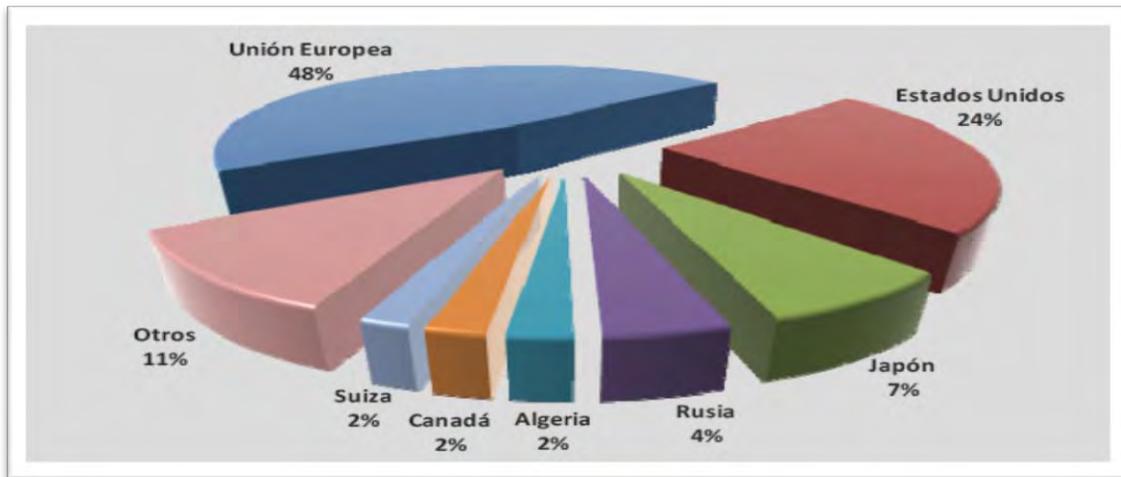


Figura 2. Importaciones mundiales de café
Fuente: SAGARPA (2010)

En la Figura 3 se observa la producción en porcentaje de los principales Estados productores.

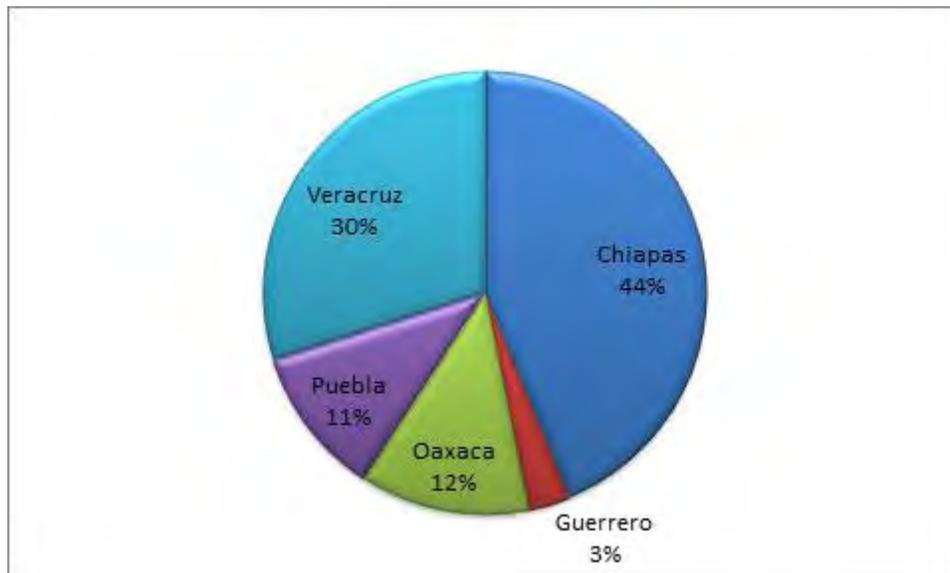


Figura 3. Producción de café cereza de los principales Estados en México (%)
Fuente: SAGARPA (2010)



2.2 Variedades cultivadas en México

Debe entenderse por variedad de conjunto de individuos similares entre sí que por sus características morfológicas y comportamiento, se pueden diferenciar de otros grupos de plantas dentro de la misma especie. El origen de la variedad en los cafés árabes se debe principalmente a la ocurrencia de mutaciones o a la hibridación, ya sea entre variedades de la misma especie o entre especies diferentes (Fernández, 1990).

2.2.1. Typica

Es la variedad original que se encontró creciendo de forma silvestre en las mesetas de Etiopía, África (Figura 4). Puede alcanzar una altura promedio de 12-15 pies a libre crecimiento. Es un arbusto de forma cónica, generalmente formado de un sólo tronco vertical y posee abundantes ramas productoras. Las ramas laterales forman ángulos entre 50 y 70 grados con el eje o tallo central. Sus hojas son lanceoladas con la base y el ápice agudos, su textura es fina y la superficie lisa. Las hojas nuevas o brotes son de color bronceado. El tamaño del fruto y las semillas es grande. Con buen cuidado y manejo y bajo condiciones adecuadas el rendimiento del grano puede alcanzar alrededor de 5 libras de café pilado. La calidad de la bebida es muy buena, los aromas herbales prevalecen con ligera acidez (Pecora, 2012).

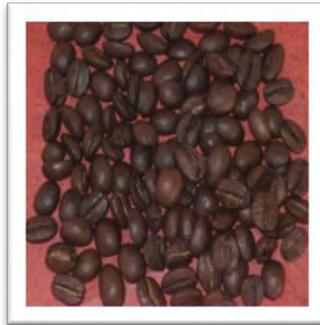


Figura 4. Variedad 'Typica'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.2. Bourbon

La variedad Bourbon (Figura 5) es una mutación del Typica en la isla de La Reunión. La forma del arbusto es ligeramente cónica y su parte de intermedio a alto (10 a 12 pies de altura). Los entrenudos del tallo y las ramas son más cortos que en el Typica, lo que lo hace tener una capacidad de producción superior. Tiene la tendencia a producir varios troncos y su respuesta a la poda es excelente. La abundancia de ramas es mayor que en el



Typica y forman un ángulo más cerrado (45 grados) con el tallo central. Las hojas son más anchas y de borde rizado. Las hojas adultas son de color verde pálido y las nuevas de color verde claro. Se recupera fácil y rápidamente de los efectos de la cosecha. El fruto es más pequeño y corto con relación al Typica, pero aparecen en mayor número. Tiene la tendencia a la caída del fruto con lluvias abundantes durante la cosecha. El rendimiento promedio del grano es inferior al Typica con unas 4.5 libras de café pilado (Monroig, 1994).



Figura 5. Variedad 'Bourbon'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.3. Garnica

Esta variedad (Figura 6) está formada por generaciones avanzadas del cruzamiento entre las selecciones mexicanas 'Mundo Novo 15' y 'Caturra amarillo 13'. La hibridación se realizó en 1960 y la distribución comercial comenzó en 1978. La variedad 'Garnica' está constituida por 18 selecciones de porte bajo, gran capacidad de producción y excepcional vigor (Fernández, 1900).



Figura 6. Variedad 'Garnica'
Fuente: Herrera (2012)



2.2.4 Costa Rica

La variedad Costa Rica (Figura 7) crece bajo la sombra de un bosque de encinos o mejor conocidos como "Tezmoles". El microclima creado en las laderas que albergan esta variedad ofrece un perfil muy característico (Pecora, 2012).

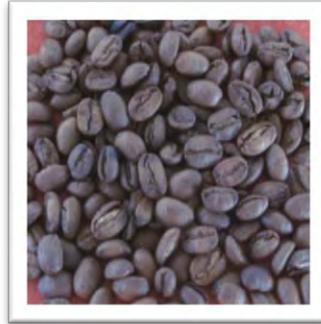


Figura 7. Variedad 'Costa Rica'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.5 Caturra

Es una variedad (Figura 8) originada en Minas Gerais, Brasil, se le considera una mutación de la variedad 'Bourbon' y se caracteriza por su tamaño reducido, de forma redondeada y entrenudos cortos tanto del tallo como de las ramas. Su capacidad de producción es aceptable y su porte pequeño favorecen altos rendimientos por unidad de superficie bajo un manejo intensivo. Las hojas de esta variedad son más anchas y de coloración más oscuras que la variedad Bourbon, pero sus frutos y semillas son similares. Se conocen selecciones con frutos maduros de color rojos y amarillos.



Figura 8. Variedad 'Caturra'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.6 Mundo Novo

Variedad (Figura 9) originaria de Brasil, probablemente por el cruzamiento natural entre una selección de la variedad 'Typica' denominada "Sumatra" y la variedad 'Bourbon'. Aparentemente las selecciones 'Mundo Novo' actuales constituyen generaciones avanzadas



de aquel híbrido; pues las primeras progenies estaba formadas por plantas heterogéneas en cuanto a vigor, producción y porcentaje de frutos vanos.



Figura 9. Variedad 'Mundo Novo'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.7 Colombia

Variedad portadora de factores de resistencia a la roya del café. Son derivadas del cruzamiento entre Caturra y Villa Sarchín con el híbrido Timor. Mientras que en la taza, variedad Colombia puede exhibir acidez (Fernández, 1990).



Figura 10. Variedad Colombia'
Fuente: Herrera (2012)

2.2.8 Café Robusta

Como su nombre lo indica, es una variedad (Figura 11) de gran vigor y robustez. Sus hojas y ramas son mayores que la variedad 'Typica', pero no sus frutos. Estos son más pequeños, redondos y con escaso mucílago. Su productividad es elevada pero por su tamaño dificulta su cosecha. Se le señala como tolerante a la roya del café y los nemátodos.

Se adapta a condiciones de altitud inferiores a los 600 msnm produce una bebida fuerte, astringente y con buen cuerpo (Fernández, 1990).



Figura 11. Café '*Robusta*'
Fuente: Mundo de las flores (2010)

2.3 El medio físico

- **Ubicación geográfica de las zonas cafetaleras**

En México se cultiva café en 16 estados, pero 8 producen prácticamente casi todo el café del país (98.2%): Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, San Luis Potosí, Hidalgo y Nayarit.

- **Altitud**

Existen límites respecto del número de metros sobre el nivel del mar (msnm) por arriba de los cuales ya no se produce café, o por su producción es raquítica en volumen y calidad. El café producido entre los 300 y los 1600 msnm posee una calidad superior al que se logra por encima o por debajo de este nivel.

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 sólo 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 (Colín, 1990).

El arbusto del cafeto crece a una altitud de entre 500 y 2000 m de altitud, siendo la clase *Robusta* la que crece entre los 500 m y la *Arábica* la que supera incluso las 2000 m de altitud (Cortijo, 1990).



- **Relieve e inclinación**

El café se cultiva en las laderas escarpadas de la sierras Madre Oriental y Occidental, en sus estribaciones y en las zonas montañosas de Chiapas y Oaxaca. Esta característica tan importante acentúa el uso de recursos humanos y limita el del tipo industrial, como el tractor (Colín,1990).

- **Clima**

Los climas óptimos son los cálidos y semicálidos, 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 fuera de los 23° de altitud norte, y en alturas entre los 300 y 1600 msnm (Colín,1990).

Estas plantas necesitan climas tropicales, calurosos, y con abundante agua. En zonas con temperaturas inferiores a los 15°C no florece y a más de 29°C tampoco.

Un arbusto de café suele dar frutos por primera vez a los dos años. Pero no es hasta después de los 4 a 5 años cuando comienza a recogerlas cosechas óptimas (Cortijo, 2010).

- **Suelo**

El suelo es un producto natural constituido por minerales primarios, secundarios (arcillas), materia orgánica, agua, aire y organismos. Sus 5 factores primordiales lo forman el relieve el material parental el clima, la altitud y el tiempo. La altitud y el relieve de los predios cafetaleros determinan un tipo de suelos jóvenes delgados y con poco desarrollo en sus perfiles (Colín, 1990).

Los materiales parentales son dos: El primero, de origen ígneo, generalmente cenizas volcánicas, lavas y tobas; y el segundo, calizas y lutitas. En Soconusco, Veracruz, Oaxaca y Guerrero, hay algunos suelos desarrollados sobre rocas ígneas; en la zona sur de la Sierra Madre Occidental los hay derivados de rocas metamórficas cristalinas de paleozoicas. En los Climas templados o semi-cálidos húmedos, las temperaturas del suelo son altas y esto permite una acumulación de materia orgánica favorable (Colín, 1990).



2.4 Definiciones de café

De acuerdo a la norma mexicana (NMX-F-013-SCFI-2000) el café se define como:

Café verde: todo café en forma de grano pelado, antes de tostarse.

Café en cereza seca: el fruto seco del cafeto.

Café pergamino: el grano de café verde contenido dentro de la cubierta de pergamino.

Café de tueste natural: se obtiene al someter el café verde o crudo a la acción del calor, de forma que adquiera el color, el aroma, y otras cualidades características. El contenido mínimo en cafeína será de 0.7 % (referido a materia seca).

Café torrefacto: café tostado en grano, con adición de sacarosa o glucosa, antes de finalizar el proceso de tostado, en una proporción máxima de 15 kg de dichos azúcares por cada 100 kg de café verde. Su contenido en cafeína será, como mínimo del 0.6 % (referido a materia seca).

Café capulín, bola o cerezo: Es el fruto maduro del cafeto deshidratado y sin despulpar, es decir, sin beneficiar; una vez descascarado se obtienen las calidades naturales.

Café convencional: Producto obtenido mediante el sistema de producción agrícola en la que se utiliza métodos técnicas e insumos que pueden provocar contaminación y degradación del suelo, agua biodiversidad y medio ambiente, así como el uso de productos químicos de síntesis industrial.

Café orgánico: Producto obtenido, mediante sistema de producción agrícola, orientado a la producción de café de alta calidad en cantidades suficientes, que interactúa con los sistemas y ciclos naturales en una forma constructiva que promueve vida; mejora y extiende ciclos biológicos dentro del sistema agrícola incluyendo microorganismos, flora del suelo y fauna, planta; mantiene y mejora la fertilidad del suelo a largo plazo, promueve el uso sano y apropiado del agua, recursos del agua y toda la vida en ésta, en el que el control de malezas, plagas y enfermedades es sin el uso de insumos de síntesis químico industrial. Este café se produce dentro de un sistema de cultivo en que no se emplean agroquímicos y existe una intensiva práctica de actividades culturales. Tomando en cuenta las prácticas tradicionales con que se ha cultivado el café, en donde se proteja el suelo, la planta y el medio ambiente. Estos sistemas fomentan la fertilidad del suelo respetando y protegiendo la capacidad natural de plantas, animales y el medio que les rodea.



Café tostado: Producto obtenido de la torrefacción del café verde.

Café tostado y molido: Es el café tostado sometido a una reducción de tamaño de partícula.

2.5 Obtención de la semilla

❖ Proceso de elaboración del café

El procesamiento del grano de café empieza como un proceso después de la cosecha y requiere dedicación y mucho tiempo ya que este proceso es tan importante como el cultivo en sí (Figura 12). Esta fase va a comenzar específicamente desde la recolección de semillas del cafeto y seguirá diversos pasos, entre ellos el secado y clasificación (Solari, 2009).

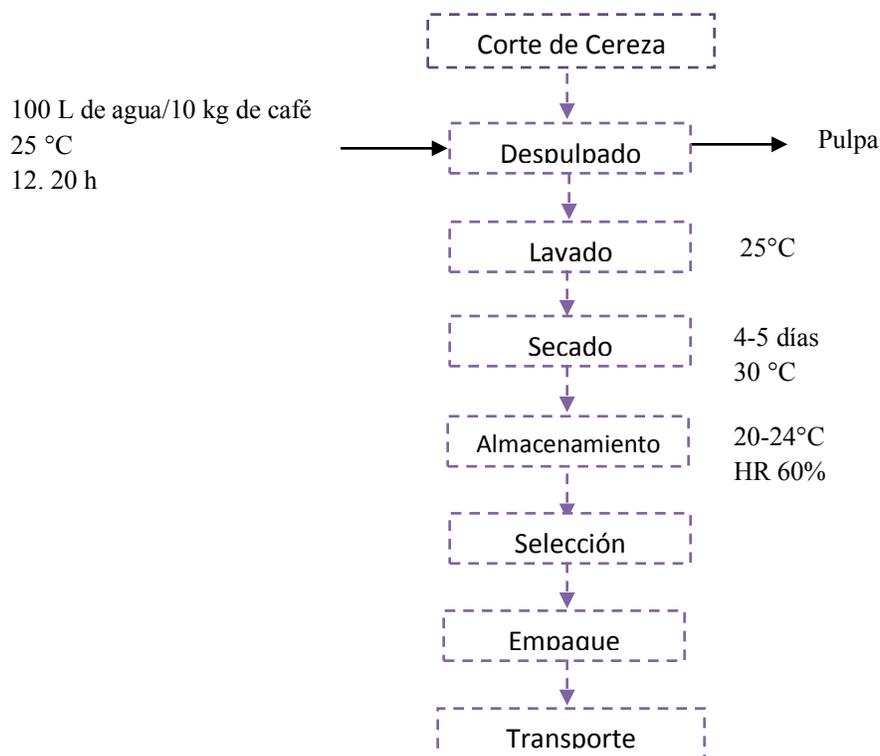


Figura 12. Diagrama de proceso del café cereza
Fuente: Fernández (1990)

- **Corte de cereza**

Con este nombre se designa al hecho de seleccionar los frutos que, cortados de las ramas, servirán para la obtención de la semilla.

Se recolectan las cerezas rojas o amarillas (maduras) dejando el pezón adherido a la rama. Al realizar este paso se debe evitar causar daño a los árboles (Solari, 2009).



El momento de la recolección viene marcado por el color de las cerezas o drupas, que son las que contienen el grano de café.

La maduración se alcanza cuando estas cerezas han adquirido un color rojizo. Es importante tener en cuenta la elección del fruto, antes de recolectarlo, pues un grano verde o poco maduro, potencia el sabor amargo mientras que uno demasiado maduro, da un sabor fuerte.

Siendo el color la principal característica para identificar la madurez en la variedad de café, Sandoval realizó una caracterización de café cereza empleando técnicas de visión artificial para la variedad Colombia. Sin embargo, el color de la cereza indica cuando el fruto está maduro presenta un color rojo intenso homogéneo en toda la epidermis, y puede ser aplicado para otras variedades.



Figura 13. Color de las once muestras o clases de frutos de café, variedad Colombia, cereza roja.

Fuente: Sandoval (2007)

Se puede hablar de dos métodos de recolección (Cortijo, 2010):

-Grano a grano o “picking”: los recolectores van cogiendo una a una las cerezas o drupas, seleccionando sólo aquellos granos que estén realmente maduros y sanos. Este sistema, lógicamente, es más costoso y lento pero asegura un grano de calidad y por tanto, aumenta el valor del producto.

-“Stripping”: este método consiste en desgranar las ramas desde el interior hacia el exterior y se puede hacer manualmente o con máquina. Este método supone que se recojan tanto los frutos rojos como los verdes. .

- **Despulpado de cereza**

Esta operación consiste en separar las envolturas de los granos que se encuentran en su interior. Esta labor puede efectuarse prensando los granos entre las manos cuando se trata de pequeñas cantidades, o bien mediante el uso de una despulpadora debidamente calibrada (Fernández, 1990).



- **Lavado de semilla**

Esta operación consiste en mezclar con el agua la masa que previamente se ha puesto a fermentar con la finalidad de separar los granos del mucilago (Fernández, 1990).

- **Secado de la semilla**

Esta operación consiste en extender la semilla sobre una superficie adecuada ya sea de madera, (zarandas) de cemento o de ladrillo, y remover periódicamente con la finalidad de que los granos pierdan humedad uniformemente (Fernández, 1990).

El tiempo que estarán los granos en el secado dependerá de la altura de la localidad; sin embargo, la semilla deberá permanecer el tiempo suficiente para que pierda agua de lavado (Fernández, 1990).

En caso de que no se use de inmediato, una vez “seca”, la semilla deberá almacenarse en capas delgadas en un lugar fresco y bien ventilado, revisando periódicamente la masa con la finalidad de eliminar cualquier brote de hongos que pudiera aparecer. Para ello puede bastar una buena ventilada, y una aplicación con algún fungicida a base de cobre.

El secado de la semilla es de vital importancia, ya que de ello depende en mucho la longevidad de la misma (Fernández, 1990).

- **Almacenamiento de la semilla**

Se ensaca el café en costales limpios, y se pesa cada costal registrando el peso total entregado por productor (Solari, 2009).

- Se almacena temporalmente en lugares secos (60% HR) y bien ventilados sobre tarimas de madera (20-25 C°C).

- Se tiene que determinar cual fue la pérdida o ganancia de peso.

- **Selección de la semilla**

Esta operación consiste en retirar del total de granos todos aquellos quebrados, manchados, gigantes, triangulares, caracoles, etc. Es decir, todos aquellos que se alejen de la forma y aspecto normal de una semilla sana. Esta operación normalmente es costosa pero si se ha hecho una buena selección de las plantas se obtiene una buena cereza y buena semilla (Fernández, 1990).



Una vez retirado el pergamino, el grano se selecciona y se clasifica cuidadosamente, teniendo en cuenta su tamaño, peso, color y defectos (Ramírez, 2012).

- **Desinfección de la semilla**

La desinfección puede hacerse valiéndose de un recipiente que pueda cerrarse herméticamente; en el que se colocará la semilla a la que previamente se le ha adicionado desinfectante (Fernández,1990).

- **Viabilidad de la semilla**

El contenido de humedad de la semilla debe ser 20-25% para que tenga alto porcentaje de germinación y aprovechamiento del 95 al 100% de plantas (Fernández,1990).

- **Empaque de semilla**

Como su nombre lo indica, esta práctica tiene como finalidad envasar la semilla en costales adecuados y en la cantidad apropiada para facilitar su movimiento. Lleva etiquetas colocadas por dentro y por fuera, donde señalan la variedad, en donde se obtuvo, la fecha de recolección y el porcentaje de germinación (Fernández,1990).

2.6 Beneficio y procesamiento del café verde

El beneficio del café consiste en someterlo a una serie de operaciones que se inician con el despulpado del fruto del cafeto (la cereza del café) que se realiza por vía húmeda o con el secado del café sin despulpar, si es por vía seca, hasta obtener un grano tipo pergamino seco; una vez que pase por la operación de trilla recibe el nombre de café verde (Figura 13). En estas condiciones el café queda listo para exportarlo o para procesarlo (Prieto,2002).

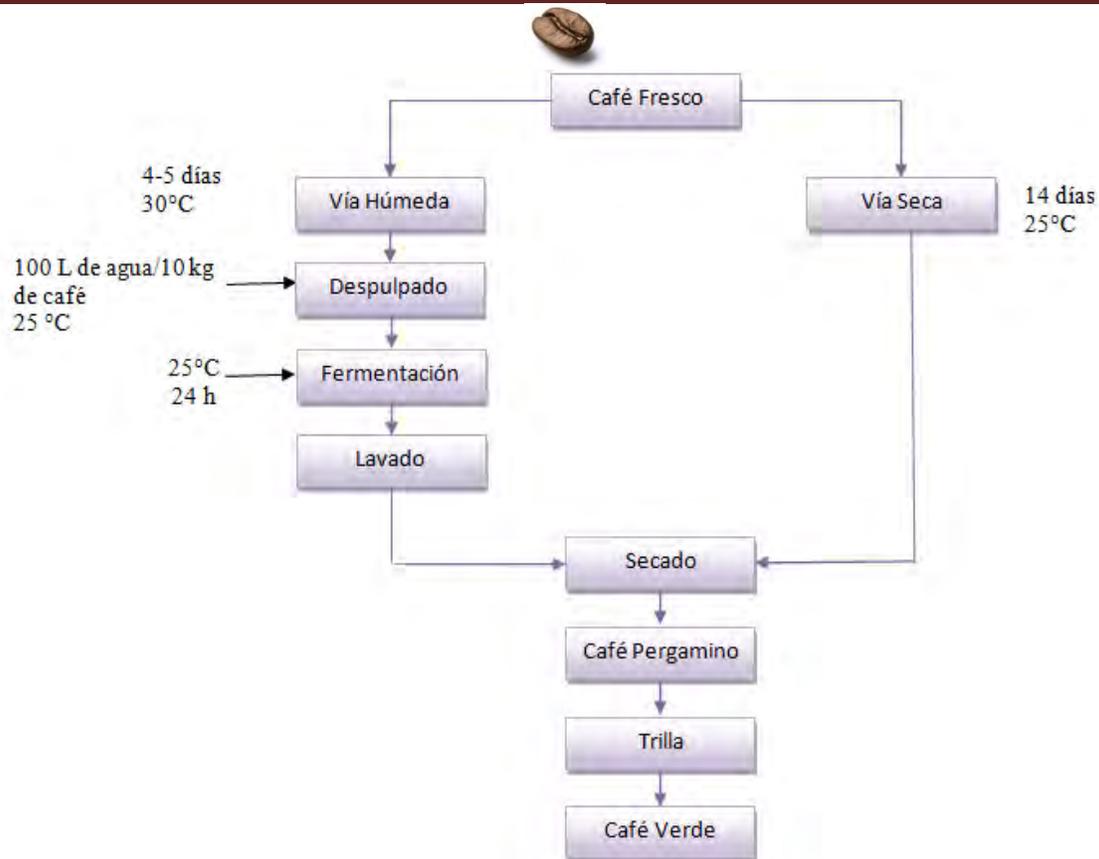


Figura 14.Beneficio de café verde
Fuente: Prieto (2002)

En primer lugar, se trata de obtener las semillas o granos de café, eliminando las capas que rodean al fruto; posteriormente, se procede al secado hasta obtener un grado de humedad inferior al 12% (Hernández, 2010).

En el proceso las semillas deben de ser sanas y limpias y pueden proceder de las diversas especies botánicas (The coffee, 2008).

La limpieza consiste en abrir los frutos y limpiarlos para obtener los granos de café, como así también incluye el secado de éstos. El modo en que se realicen estas operaciones también va a influir en el sabor final del café (The coffee, 2008). Una vez que se obtiene el café verde se clasifican los granos de forma manual o con máquinas especiales, para dejar solamente los granos buenos y del mismo tamaño. Se obtienen así granos de máximo nivel. Los granos verdes deben almacenarse en sacos de fibra, para que puedan eliminar la



humedad y mantenerse a la vez secos y limpios (The coffee, 2008). Los métodos empleados son:

- **Procesado por vía seca**

Este método, el más antiguo, aporta cafés que se consideran, en general, de peor calidad que los obtenidos por vía húmeda, ya que, si el proceso de secado no se desarrolla adecuadamente, el café puede enmohecerse y enranciarse con facilidad. Consiste, básicamente, en extender los frutos en el suelo formando capas no muy gruesas de hasta 4 cm de alto, durante unos 10 días, removiéndolos frecuentemente para que el secado sea homogéneo. En zonas muy húmedas o en condiciones ambientales no idóneas, el secado puede prolongarse considerablemente (es más fácil la proliferación de microorganismos no beneficiosos). En la actualidad, se recurre al secado con aire caliente (siempre a temperatura inferior a 30°C), con los que el proceso se completa en 3 ó 4 días. Una vez que el fruto se ha secado, se realiza el descascarillado (Hernández, 2010).

- **Procesado por la vía húmeda**

Este proceso debe realizarse antes de las 6 horas de la recolección ya que este tiempo podría afectar el producto y producir una fermentación posterior. Se debe contar con un tanque para almacenamiento de agua de suficiente volumen (Solari, 2009).

Este sistema permite obtener un café más suave (Cortijo, 2010). Con este tipo de tratamiento se obtiene café de elevada calidad. Los frutos se introducen en agua y al hincharse, se procede al despulpado, eliminando la piel y pulpa mediante máquinas despulpadoras. Esta etapa debe realizarse lo antes posible (entre 12 y 24 horas después de la recolección), a fin de evitar una fermentación no controlada y la aparición de aromas defectuosos. Después se realiza un nuevo lavado y una reclasificación, quedando los granos listos para pasar a la fase de fermentación, que es la operación en la que se aprovechan la acción enzimática (hidrolasas y enzimas pectolíticas) y el desarrollo de ciertos microorganismos (*Enterococcus*) para eliminar los restos de pulpa y la capa muciliginosa que rodea a la semilla, quedando sólo la cubierta apergaminada. Este proceso se efectúa de modo discontinuo, en depósitos de cemento, en los que se introducen los granos de café sin



pulpa durante 24 horas aproximadamente, tras lo cual se lavarán en un tambor rotatorio (Hernández, 2010).

En ocasiones, para acelerar el proceso y eliminar la capa mucilaginosa con más eficacia, se puede usar NaOH 0.1 N, lo cual requerirá un control estricto. Tras la fermentación se practica el secado al sol o secadoras de aire; la humedad se reduce el 10-12%. El producto de esta operación es el denominado “Café apergaminado”. En ocasiones, se prefiere un secado mixto, ya que parece ser que la radiación ultravioleta mejora el color final del grano. Por último, se elimina la cutícula apergaminada mediante el empleo de descascarilladoras.

El producto así obtenido, por una u otra vía, es el denominado café verde, el cual se somete a abrillantado y a una clasificación por tamaño, antes de ser envasado en sacos para su comercialización. El almacenamiento debe realizarse en condiciones de humedad y temperatura controladas ($<25\text{ }^{\circ}\text{C}$), para evitar el desarrollo de mohos e insectos, y lejos de olores extraños (Hernández, 2010).

Técnicamente consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. En la figura 14 se muestra la transformación primaria del grano (Monroig, 2010).

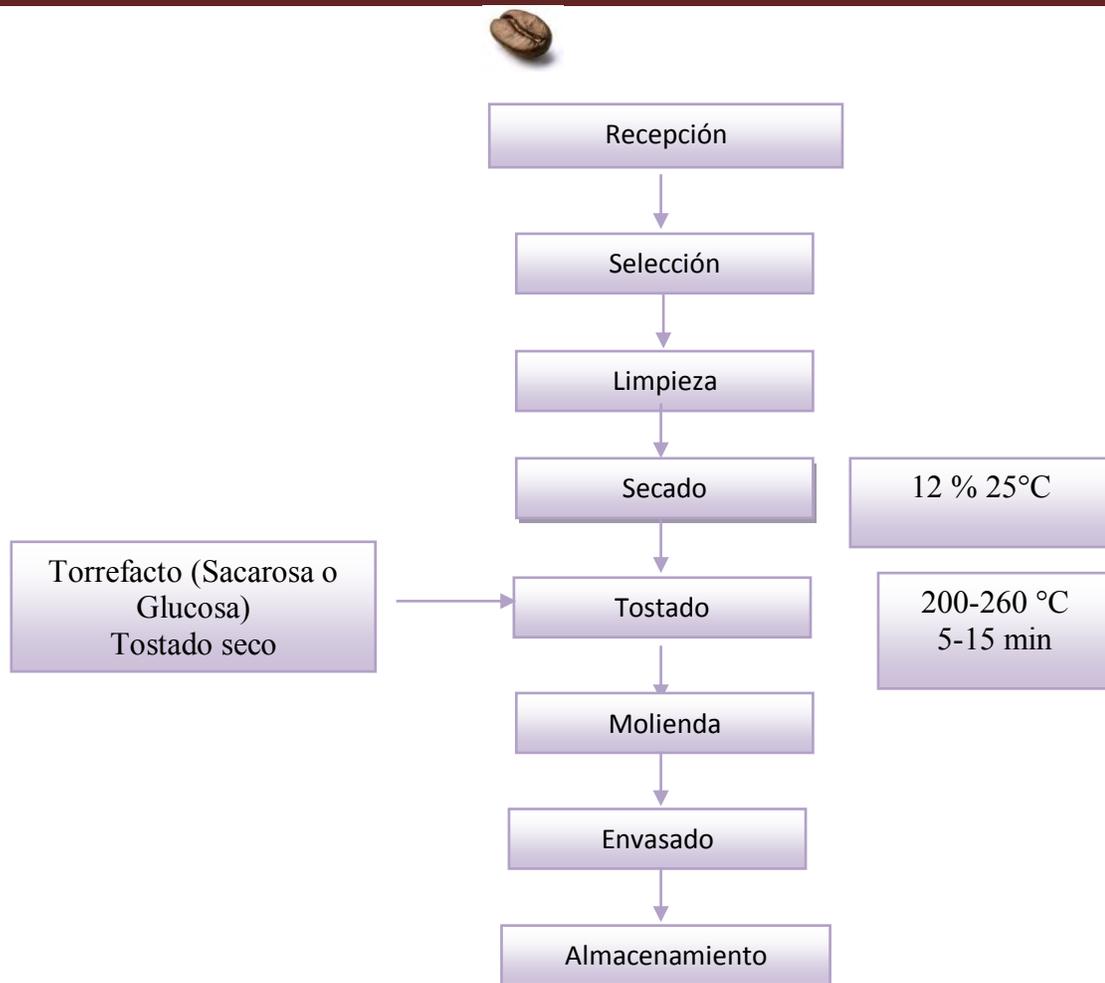


Figura 15. Diagrama de proceso para el café
Fuente: Hernández (2010).

El café verde es sometido a un tratamiento térmico que se lleva a cabo en los tostadores a una temperatura entre 200 y 260 °C, durante 5-15 minutos. En este proceso se llevan a cabo una serie de transformaciones al café, como son un aumento de volumen, modificaciones estructurales, cambios de color, pérdida de peso, así como generación de compuestos sápidos y aromáticos. En el tostado se distinguen varias fases, que están relacionadas con la temperatura que se va alcanzando en el proceso. De hecho los primeros cambios se producen a partir de los 50 °C y afectan a las capas mas externas, lo que provoca coagulación de proteínas y evaporación de agua. A los 100 °C se inicia el pardeamiento y pirólisis de los granos; a los 150 °C se generan compuestos gaseosos (H₂O, CO₂, CO), responsables del aumento del tamaño; entre 180 y 200 °C se produce la caramelización completa de los azúcares. Una modificación del proceso de tostado consiste en la incorporación de sacarosa o glucosa anhidra en una proporción máxima de 15 kg de



azúcar por cada 100 kg de café verde, lo que permitirá obtener el denominado “café torrefacto”. Por acción del calor, el azúcar se carameliza y proporciona al café un color negro y brillante, aunque también es cierto que implica una pérdida de finura y aroma y un aumento del sabor amargo (Hernández, 2010).

Tras el tostado, el café se somete a un enfriamiento rápido para evitar que se quemara en exceso y pierda los aromas adquiridos; después ya está listo para su envasado y venta (Hernández, 2010).

- **Tostado**

El tueste es el proceso más importante al que se somete el grano de café pues de él dependerá la futura calidad del mismo. El tueste aporta al café su propio aroma, gusto, cuerpo, color, estructura, etc. Este proceso consta de una fase de secado, en la que el grano pierde más humedad; la fase propia del tueste, durante la cual se somete al grano a ciertas reacciones pirolíticas sustancias responsables del gusto (Cortijo, 2010).

El proceso de tueste es el que le brinda a los granos de café su color característico y el aroma. El objetivo de tostar los granos es hacerlos perder su humedad y liberar los aceites distintivos que dan el sabor y el aroma al café. Con el calor, estas sustancias aceitosas se hacen presentes en la superficie del grano. Pueden disolverse en agua y de ellas depende la calidad de la bebida.

Para realizar el tueste se someten los granos a una fuente de calor, lo que produce que estos cambien de color, pasando del verde al amarillo y luego al marrón en todas sus gamas. Además, al tostar café los granos se agrietan en el medio, adquiriendo su forma característica. Existen diversas formas de tueste, según las temperaturas a que se exponen los granos y el tiempo de exposición.

El sabor del café está directamente relacionado con esta etapa del proceso y existe una conexión estrecha entre el color de los granos y el gusto de la bebida. Cuanto más tiempo se tuestan los granos o a más temperatura, más oscuros quedan. Y cuanto más oscuros son los granos el sabor será cada vez más fuerte y agri dulce. Cuando los granos se vuelven casi negros, el café adquiere un sabor a quemado. Los granos más oscuros tienen menos cafeína que los más claros y además, tienen menor acidez (The coffee, 2008).



Los niveles o grados de tueste son varios y se pueden identificar por el color de los granos (Tabla 2): rubio, canela, marrón claro, marrón, marrón oscuro, marrón muy oscuro, marrón casi negro (The coffee, 2008).

Tabla 2. Apariencia y sabor que provoca el diferente grado de tostado.

| Grados de Tostado | Sabor | Color | Temperatura y tiempo de tostado* |
|-------------------|--------------------------|---|----------------------------------|
| Ligero | Sequedad |  | 225-240°C 8 min |
| Medio | Menos acidez |  | 225-240°C 10 min |
| Alto | Agridulce Poca acidez |  | 225-240°C 15 min |
| Severo | Quemado dominante |  | 225-240°C 20 min |

Fuente: Imágenes tomadas de Sweet Marias's Coffee Ins. (1997), *condiciones basadas en: Nicoli (1997).

2.7 Composición química de la semilla

La composición química del café (Tabla 3) está condicionada por la variedad, la altitud de la plantación, los factores edafológicos, climáticos y agronómicos, así como por el proceso tecnológico, especialmente el tostado (Hernández, 2010).



- Proteínas y aminoácidos

En el café verde, gran parte de las proteínas se encuentran como: enzimas, libres en el citoplasma o unidas a los polisacáridos de las paredes celulares. Su contenido puede oscilar entre 8-15%, referido a materia seca. Los principales aminoácidos son arginina, ácido aspártico, histiadina y cisteína; su presencia tiende a disminuir durante su maduración y ejercen un importante papel en la formación de compuestos aromáticos durante el tostado. Además, en dicho proceso, se produce una degradación proteica que depende del grado de tueste y que da lugar a fracciones de menor peso molecular. Algunas proteínas y aminoácidos reaccionan con azúcares, dando lugar a la reacción de Maillard con formación de tiofenos, tiazoles, alquilpirazinas, pirroles, etc., que ejercen gran influencia en las propiedades sensoriales. En el café tostado hay trazas de aminoácidos libres. Actualmente, no se dispone de mucha información sobre el contenido en proteínas en la infusión de café recién preparada; se piensa que este contenido debe de ser bajo, ya que, al desnaturalizarse las proteínas, su solubilidad disminuye (Hernandez, 2010).



Tabla 3. Composición del café verde, el café tostado y la infusión

| Componente | <i>Coffea arabica</i> (% materia seca) | | Infusión |
|--------------------------------------|--|---------|----------|
| | Verde | Tostado | |
| Cafeína | 1.2 | 1.3 | 4.8 |
| Trigonelina | 1 | 1.0 | 1.6 |
| Proteínas | 9.8 | 7.5 | 6.0 |
| Sacarosa | 8.0 | 0.0 | 0.8 |
| Otros azúcares | 1.0 | - | 0.4 |
| Polisacáridos | 49.8 | 38.0 | 24.0 |
| Ácidos | 1.5 | 2.4 | 3.0 |
| Ácido clorogénico y derivados | 6.5 | 2.5 | - |
| Lípidos | 16.2 | 17.0 | 0.8 |
| Minerales | 4.2 | 4.5 | 14.0 |
| Componentes aromáticos | Trazas | 0.1 | - |

Fuente: Hernández (2010)

- Hidratos de carbono

En el café pueden encontrarse polisacáridos y azúcares simples. Entre los monosacáridos están la glucosa, manosa y galactosa, suponen el 40-50 % del total de hidratos de carbono; los disacáridos, cuyo principal representante es la sacarosa, se encuentran en una proporción del 5-10%. Los azúcares simples se degradan casi por completo en el tostado, dando lugar a reacciones de condensación con aminoácidos y proteínas, que contribuyen a la generación del aroma y el color. En cuanto a los polisacáridos, todavía no se conoce completamente su naturaleza, si bien entre ellos está la celulosa. La cantidad de hidratos de carbono en la infusión de café dependerá del método de extracción y la temperatura empleada, y se relaciona con el porcentaje de sólidos extraídos (Hernández, 2010).



- Lípidos

La fracción lipídica del grano de café verde está constituida por dos componentes: el aceite, que se localiza en el endospermo, y la cera, que se concentra en la capa externa. El contenido en lípidos varía según las especie del café, siendo ligeramente superior en *arabica* que en *robusta*. No obstante, la composición en ácidos grasos del aceite es similar en ambas especies, siendo el ácido graso mayoritario el linoléico (40-50 %), seguido del palmítico (30-35 %). En cuanto a la cera, ésta contiene compuestos fenólicos que derivan de la combinación del grupo amino primario de la 5-hidroxitriptamina con ácidos grasos como el lignocérico, el behénico y el araquidónico. Durante el tostado, los lípidos no sufren modificaciones importantes, sólo una ligera hidrólisis de los triglicéridos y una degradación de diterpenos (cafestol y kahweol), que pueden originar compuestos volátiles por oxidación. El contenido de lípidos de la infusión recién preparada está alrededor del 0.8 %, referido a la materia seca (Hernández, 2010).

- Minerales

El contenido de minerales es mayor en *C. robusta* que en *C. arabica*, así como en los cafés procesados por vía seca. Destaca la presencia de potasio, calcio y magnesio. Otros minerales, como el manganeso, el rubidio y el cobre, aparecen en niveles traza (Hernández, 2010).

- Cafeína

La cafeína, que es la 1, 3, 7-trimetilxantina, es la base xántica responsable de las principales acciones fisiológicas que puede presentar el café, así como responsable, en parte, de su sabor amargo. Su contenido en el café verde está condicionado por la especie; se encuentra en menores concentraciones en *C. arabica* que en *C. robusta*. En los granos verdes se encuentra formado un complejo muy poco soluble con el ácido clorogénico, lo que evita su toxicidad para los tejidos de la planta. Durante el tostado, y dado que la temperatura de sublimación de la cafeína es de 178 °C, cabría esperar una disminución en su concentración. Sin embargo, esto no ocurre e incluso, se produce un aumento porcentual,



debido posiblemente a la combinación de varios factores, como el aumento de su temperatura de sublimación, la baja difusión del vapor de la cafeína a través del grano y la pérdida de peso que se origina durante el tostado. La cafeína se encuentra también en otros alimentos estimulantes como el té y el cacao (Hernández, 2010).

- Trigonelina

La 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 que también aporta sabor amargo, se degrada en parte en el tostado dando lugar a ácido nicotínico (el café tostado tiene entre 10 y 40 mg de ácido nicotínico por 100 g de café, lo que significa que en una taza podría haber 2-3 mg) y a la formación de una serie de sustancias de naturaleza pirrólica y piridínica, que ejerce una notable influencia sobre el aroma (Hernández, 2010).

2.7.1 Compuestos fenólicos presentes en el café

Los compuestos fenólicos constituyen una de las familias más numerosas y ampliamente distribuidas en el reino vegetal, con más de 8000 estructuras actualmente conocidas.

Los compuestos fenólicos forman parte de un grupo muy heterogéneo; comprende desde simples moléculas como los ácidos fenólicos, hasta compuestos altamente polimerizados. En general, son productos secundarios del metabolismo de las plantas y suelen ser, en parte, los responsables del color, el aroma y el sabor de los alimentos que los contienen. En cuanto a su estructura, tienen un anillo aromático (C_6) en común, con uno o más grupos hidroxilo (Tabla 4). Estos compuestos pueden ser divididos en varios grupos, de acuerdo a su estructura química básica (Hernández, 2010).



Tabla 4. Clasificación de los principales compuestos fenólicos de origen vegetal, de acuerdo a su estructura química básica.

| Esqueleto carbonado | Clasificación |
|---------------------|---|
| C_6 | Fenoles simples, benzoquinonas |
| C_6-C_1 | Ácidos fenólicos |
| C_6-C_2 | Ácidos fenilacético, acetofenoles |
| C_6-C_3 | Ácido hidroxicinámico, polopropano, cumarina, isocumarina |
| C_6-C_4 | Naftoquinona |
| $C_6-C_1-C_6$ | Xantanos |
| $C_6-C_2-C_6$ | Estilbeno, antraquinona |
| $C_6-C_3-C_6$ | Flavonoides, isoflavonas |
| $(C_6-C_3)_2$ | Lignanos, neolignano |
| $(C_6-C_3-C_5)_2$ | Bioflavonoides |
| $(C_6-C_3)_n$ | Ligninas |
| $(C_6)_n$ | Melanoidinas |
| $(C_6-C_3-C_5)_n$ | Taninos |

Fuente: Hernández (2010)

- Ésteres del ácido caféico

El éster fenético del ácido caféico (CAPE), su fórmula molecular es $C_{17} H_{16} O_4$, con un peso molecular de 284.31 (Figura 16).

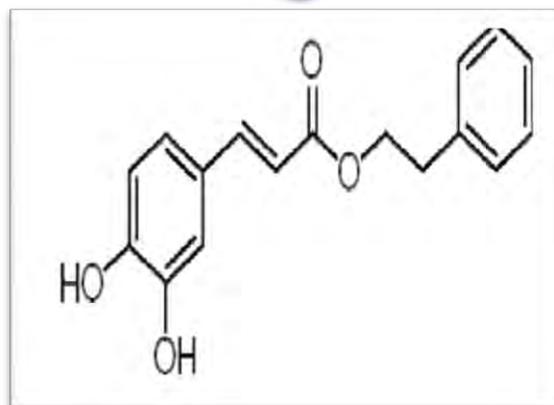


Figura 16. Estructura química de ésteres del ácido caféico
Fuente: Domínguez (2008)

- Ácido clorogénico

Un grupo importante, dentro de los ácidos fenólicos simples, son ácidos clorogénicos, que comprenden varios ésteres del ácido quínico (Figura 16). El grano verde de café es la principal fuente de estos compuestos, representando entre el 7 y el 10% de su materia seca; sin embargo, durante el tueste ocurren diferentes reacciones químicas. El ácido clorogénico más abundante en el café es el 5-O-cafeoilquínico (Hernández, 2010).

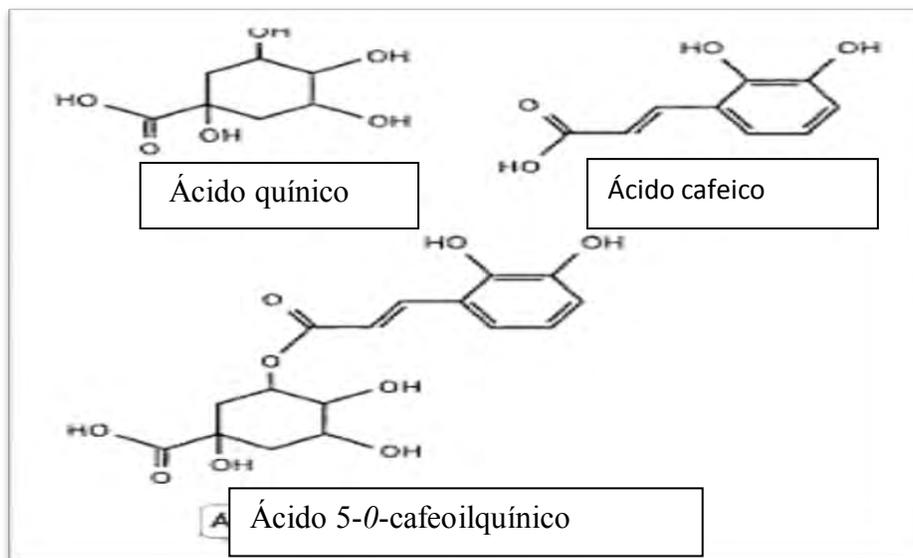


Figura 17. Estructura química de los ácidos fenólicos simples.
Fuente: Hernandez (2010)



- Ácido Cinámico

El ácido cinámico, como ácido no saturado en α - β , puede hidrogenarse en el doble enlace C=C por acción del hidrógeno. Aun cuando el doble enlace no ocupe una posición terminal, la intensa reactivación que le induce el núcleo bencénico lo hace apto para la dimerización, la cual se efectúa ya por la acción de la luz originando diferentes ácidos truxílicos estereoisómeros derivados del ciclobutano (Vogel's, 2011).

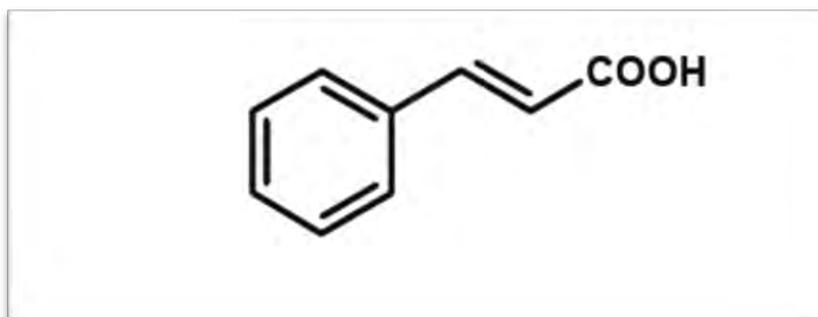


Figura 18. Estructura del ácido cinámico
Fuente: Vogel's (2011)

Destaca la presencia del ácido clorogénico y sus derivados. Se trata de una familia de ésteres formados por ácidos trans cinámicos y ácido quínico. El más abundante ácido clorogénico, resultado de la reacción entre los ácidos cafeico y quínico (ácido 5-cafeilquínico). Se encuentran en el café verde en una proporción que oscila entre 6.5 y 10 %, referido a materia seca. No obstante, pueden sufrir una intensa degradación durante el tostado, la pérdida puede llegar a ser hasta del 80 %. Una taza (200 mL) de *C. arabica* contiene entre 70 y 200 mg de ácido clorogénico, y una taza de *C. robusta* entre 70 y 300 mg. Además de su demostrada actividad antioxidante, estos ácidos parecen sintetizarse como respuesta de la planta a alguna agresión, y son, en parte, responsables del sabor amargo y la sensación astringente. En el café también se encuentran otros ácidos, como el fórmico, acético, succínico, tartárico, málico, oxálico, cafeico, cítrico y fosfórico. Muchos de estos ácidos están presentes en el café verde, mientras que otros, sobre todos los volátiles, se forman en el proceso de tostado debido a las reacciones de hidrólisis que sufren los hidratos de carbono. Los ácidos del café presentan una notable influencia sobre su calidad sensorial (Hernández, 2010).



- Compuestos volátiles

En el café verde aparecen alcanos y alquenos (que se forman en la oxidación lipídica), piridinas, quinolina, metoxipirazina, ésteres, furanos, doles, etc. En el tostado, la cantidad de compuestos volátiles se incrementa notablemente y se han identificado más de 300. Aunque seguramente la mayoría ejercen su influencia en la sensación olfativa global del café, parece ser que sólo un grupo reducido de ellos (unos 60) tiene una notable participación en ésta. Entre estos los distintos componentes aromáticos en el café tostado, pueden destacarse los siguientes: compuestos alifáticos (hidrocarburos, alcoholes, compuestos carboxínicos, etc.) que se forman por fragmentación de los hidratos de carbono; compuestos aromáticos, como los fenoles (que proceden de la degradación de los ácidos clorogénicos), éteres y ésteres fenólicos, y compuestos heterocíclicos, como los furanos (procedentes de la pirólisis de los azúcares), pirazinas, pirroles, tiofenos, oxazoles y tiazoles. Las notas aromáticas aportadas son muy variadas. Así pues, y a modo de ejemplo, los tiofenos se asocian con aromas sulfurosos indeseables (“a mostaza” o “a cebolla”), mientras que sus ésteres y aldehídos aportan matices “a caramelo” y “a nuez”; los tiazoles se asocian a notas muy diversas, como “a legumbre”; las pirazinas se asocian a un sabor amargo y agrisado y a un olor “a cereal” (aroma también aportado por los pirroles), pero, al ser sustituidas por alquinos, resaltan la nota “a galleta”; la piridina se asocia a un sabor acre y un característico olor “a sucio”, mientras que los furanos tienen un aroma predominante a “caramelo”. Algunos de estos compuestos pueden modificarse durante su almacenamiento (Hernández, 2010).

- Aldehídos

Se encuentran alrededor de 28 aldehídos en el café. Son moléculas que se oxidan fácilmente y que se encuentran en muchos productos naturales. Los aldehídos están presentes en el café tostado fresco en muy altas concentraciones. Los aldehídos dan aromas afrutados y florales.



- Alcoholes

Su aroma es más fuerte que el de los aldehídos, se producen durante el proceso de beneficiado del café. Se han encontrado 20 componentes y están asociados a los aromas frutales, cítricos, llamados aromas «verdes» o «amarillos».

- Cetonas

Son esenciales en la composición del aroma. En el café producen aromas dulces, afrutado, a azúcar quemada o bien, a mantequilla o a maderas. Son abundantes en el café y se pierden rápidamente durante el almacenaje. Las cetonas dan intensidad al aroma.

- Ésteres y lactonas

Hay una gran variedad y son los componentes más importantes en el gusto de los alimentos. Presentan diversas estructuras y provienen de la reacción de ácidos grasos y de alcoholes. Los ésteres más comunes encontrados en la naturaleza son las grasas. Se encuentran 29 compuestos en el café y 8 lactonas que son ésteres cíclicos (AMCCE, 2007).

2.8 Actividad Antioxidante

2.8.1 Definición: Radicales Libres

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un átomo desapareado o libre, por lo que son muy reactivos ya que tienden a capturar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica. Una vez que el radical libre ha conseguido sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre por quedar con un electrón desaparecido (Avello y Suwalsky, 2006).



2.8.1.1 Capacidad antioxidante del café

Es conocido las propiedades antioxidantes de los granos de café. La fuente de la actividad antioxidante en el café son los compuestos fenólicos, especialmente el ácido clorogénico, el cual esta presente en un rango de 6-10 % en peso seco (Sánchez-González *et al.*, 2005).

Los granos de café verde contienen compuestos antioxidantes, como el ácido clorogénico, ácidos, polifenoles y alcaloides; estos varían principalmente con la especie, el origen, el grado de tostado, los compuestos antioxidantes del café están parcialmente unido a la estructura del polímero (Brezová *et al.*, 2008).

Diversos estudios han puesto de manifiesto un alto contenido de antioxidantes en el café (principalmente, ácido clorogénico y sus derivados, y ácido cafeico), con una alta biodisponibilidad. Investigaciones recientes revelan que el organismo humano absorbe, aproximadamente, el 33 % del ácido clorogénico y el 95 % del ácido cafeico ingerido. Además parece ser que el proceso de tostado incrementa notablemente la actividad antioxidante, ya que las melanoidinas que se generan durante dicho proceso, y que proceden de la reacción de Maillard, pueden desempeñar un papel importante como antioxidante. Estudios bastante recientes demuestran un incremento de la capacidad antioxidante total del café tostado frente al café verde, si bien el tiempo del tostado parece ser uno de los factores más determinantes (Gracia, 2011).

2.8.2 Beneficios del consumo del café

Siguiendo la divulgación de los estudios epidemiológicos asociado entre la dieta y la salud, en años recientes se ha incrementado la atención en los alimentos que ejercen una alta capacidad antioxidante. En los alimentos tratados con calor, como las bebidas de café y bebidas relacionadas, generalmente tiene como resultado la contribución de los antioxidantes naturales (López *et al.*, 2006).

La oxidación de lípidos poliinsaturados ha sido generalmente reconocido como el responsable de la disminución de la calidad de varios productos alimenticios, así como un mecanismo importante de alteración de la función celular en algunas enfermedades. Por



estas razones los alimentos que contienen antioxidantes aparecen para suministrar al cuerpo humano con antioxidantes para su protección (Nicoli *et al.*, 1997).



Objetivos





Objetivo General: Evaluación de las propiedades físicas, químicas, sensoriales y capacidad antioxidante de café (*Coffea arabica*) proveniente de diferentes estados de la República Mexicana.

Objetivo Particular 1

Evaluar los parámetros físicos (color), químicos (humedad, grasa, fenoles) y actividad antioxidante en el café verde variedad Typica de diferentes estados productores (Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Chiapas) que permita establecer la calidad de la materia prima antes del tostado.

Objetivo Particular 2

Evaluar los parámetros físicos (color), químicos (humedad, grasa, fenoles) y actividad antioxidante de diferentes variedades de café verde (Typica, Mundo Novo y Bourbon) provenientes del estado de Chiapas que permita establece el efecto de la variedad en la calidad del grano.

Objetivo Particular 3

Establecer el efecto de estado productor (Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Chiapas) de café arábica con tostado medio de granos de café variedad Typica sobre los parámetros físicos (color), químicos (humedad, grasa, fenoles) y actividad antioxidante que contribuya a su caracterización de acuerdo a su origen y calidad.

Objetivo Particular 4

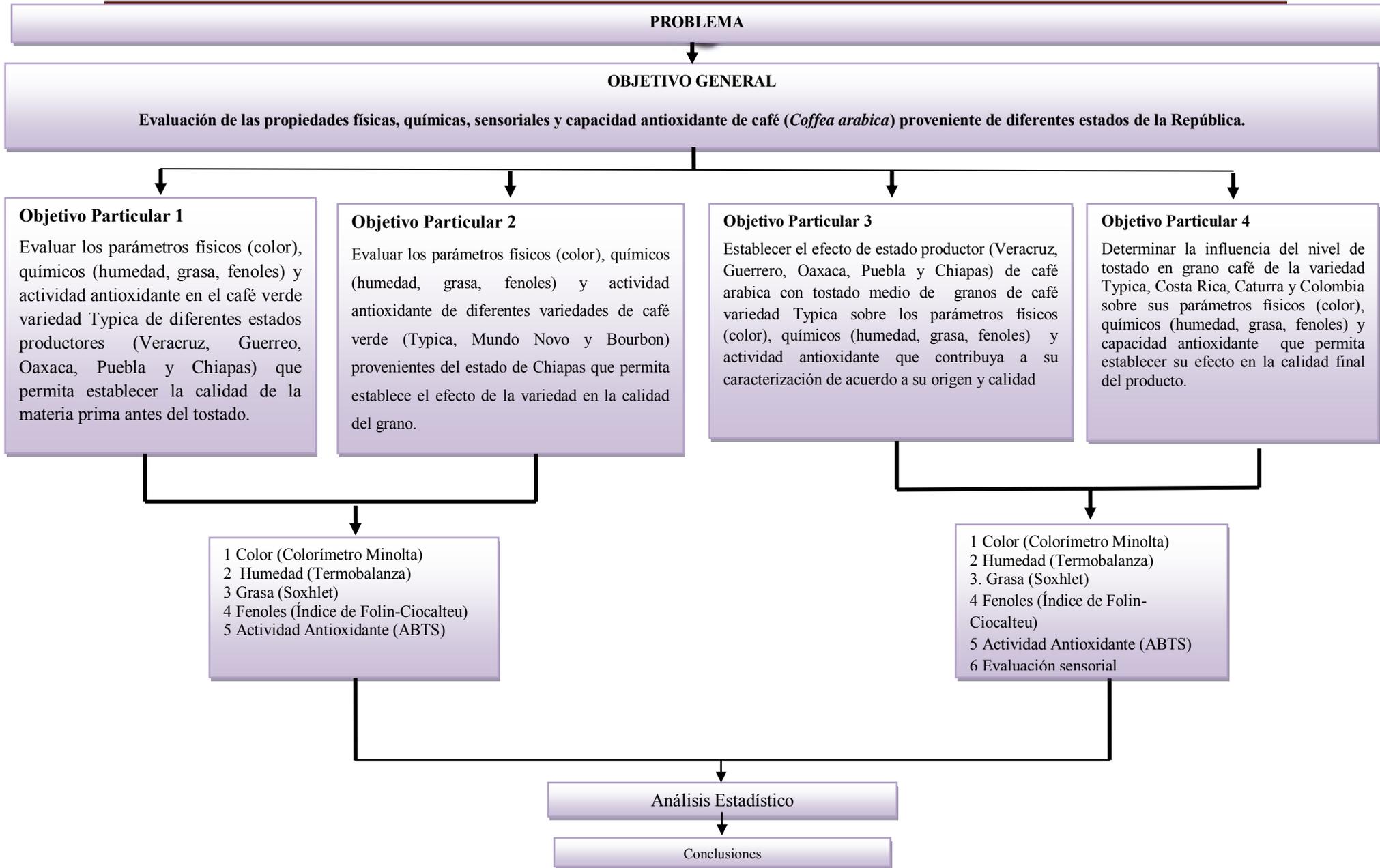
Determinar la influencia del nivel de tostado en grano café de la variedad Typica, Costa Rica, Caturra y Colombia sobre sus parámetros físicos (color), químicos (humedad y fenoles) y capacidad antioxidante que permita establecer su efecto en la calidad final del producto.



Materiales y métodos



Cuadro metodológico





4. Metodología

4.1 Material Biológico

Los granos de café verde se adquirieron en Expocafé en su edición del 2011 y se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas plásticas. En la Tabla 5 se muestran los diferentes estados de la República Mexicana, así como la variedad de cada grano.

Tabla 5. Muestras de Cafés Verdes

| Localización | Variedad | |
|--------------|---------------|--|
| Veracruz | Typica |  |
| Puebla | Typica |  |
| Chiapas | Typica |  |
| Oaxaca | Typica |  |
| Guerrero | Typica |  |
| Chiapas | Mundo Novo |  |
| Chiapas | Bourbon |  |



Las muestras de café con tostado medio fueron adquiridas en diferentes puntos de venta en Expocafé 2011 y éstas fueron almacenadas en bolsas laminadas, a temperatura ambiente y en un lugar seco. La Tabla 6 muestra la procedencia de los granos, así como la variedad de los granos con tostado medio.

Tabla 6. Muestras de cafés tostados medios

| Localización | Variedad | |
|-----------------|----------|--|
| Oaxaca | Typica |  |
| Veracruz | Typica |  |
| Puebla | Typica |  |
| Veracruz | Typica |  |
| Guerrero | Typica |  |
| Chiapas | Typica |  |



Los cafés con distintos niveles de tostados fueron suministrados por los productores de Café Pécora y se almacenaron en bolsas laminadas, todos a temperatura ambiente. La Tabla 7 muestra el nivel de tostado, así como las variedades provenientes del estado de Veracruz.

Tabla 7. Muestras de cafés de distintos grados de tostado.

| Variedad | Tostados | | | |
|------------|----------|------|-------|--------|
| | Severo | Alto | Medio | Ligero |
| Typica | | | | |
| Caturra | | | | |
| Costa Rica | | | | |
| Colombia | | | | |

4.2 Tratamiento de la muestra.

Cada muestra de 10 g fue pulverizada en un molino para café por 1 min (marca KRUPP GX4100) (Figura 19), previo al análisis físico, químico o de capacidad antioxidante, para homogenizar las muestras y favorecer la extracción de los compuestos requeridos para la evaluación.



Figura 19. Molino (KRUPP GX4100).



4.3. Efecto del estado productor en los parámetros de calidad y capacidad antioxidante en café verde

Después de obtener los cafés verdes variedad Typica se procedió a evaluar el efecto de la procedencia sobre las características físicas (color), químicas (humedad y grasa) contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de acuerdo con los métodos descritos en el apartado 4.4.

4.3.1 Evaluación del efecto de la variedad en café verde procedente del estado de Chiapas sobre los parámetros de calidad y capacidad antioxidante

Se emplearon tres variedades de café verde procedente del estado de Chiapas: Typica, Mundo Novo y Bourbon y se evaluaron: el color, humedad, grasa, fenoles y capacidad antioxidante por los métodos descritos en el apartado 4.4.

4.3.2 Efecto del estado productor en parámetros de calidad y capacidad antioxidante con nivel de tostado medio.

El color, la humedad, el contenido de grasa, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante, así como la evaluación sensorial (apartado 4.5) se determinaron en granos de café de las variedades Typica, con nivel de tostado medio provenientes de los estados de Chiapas, Puebla, Oaxaca, Guerrero y Veracruz..

4.3.3 Efecto del nivel de tostado en parámetros de calidad y capacidad antioxidante en café variedad Typica

Se trabajó con diversos grados de tostado (Severo, Alto, Moderado y Ligero) en granos de café variedad Typica, Caturra, Costa Rica y Colombia, así como la evaluación sensorial con variedad Typica del estado de Veracruz, proporcionados por la empresa Pecora. Se determinaron color, humedad, grasa, fenoles y capacidad antioxidante por los métodos descritos en el apartado 4.4.



4.4. Técnicas analíticas

➤ **Determinación de color**

El análisis de color se llevó a cabo con la ayuda de un colorímetro (Marca Minolta Modelo CR-300). Es necesario calibrar el equipo (Figura 20) antes de su uso empleando una placa de porcelana blanca en donde se coloca el cabezal. Posteriormente el cabezal se coloca sobre las muestras y así se obtuvieron las coordenadas colorimétricas. El color se expresó en L (luminosidad), a y b, para posteriormente obtener croma ($C = \sqrt{(a)^2 + (b)^2}$) y tono $h = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$ (López-Galilea, 2006).



Figura 20. Colorímetro (Minolta modelo CR-400).

➤ **Determinación de contenido de humedad.**

Para la determinación de humedad se realizó con base en la norma NMX-F-176-SCFI-2008, empleando una termobalanza digital (marca OHAUS modelo MB45) (Figura 21), donde se colocaron 0.5 g de muestra mientras se evaporó de manera continua la humedad de la muestra. La humedad se expresó en porcentaje.



Figura 21. Termobalanza(MARCA OHAUS MB45).



➤ **Determinación de contenido de grasa**

El contenido de grasas se determinó por el método de Soxhlet (A.O.A.C. 925.10, 1990). Este método consiste en una extracción semi-continua con un disolvente orgánico. En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente (Figura 22). Posteriormente éste es sifoneado al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. El contenido de grasa se expresó en porcentaje.



Figura 22. Extracción de Soxhlet.

➤ **Fenoles totales.**

La concentración de fenoles totales en extractos de café fue medida por espectrofotometría, 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 estandar de ácido gálico en un rango de 0 a 1 mg/mL a 765 nm, expresándose como mg de ácido gálico/g de muestra.



Figura 23. Espectrofotómetro (Marca Thermospectronic modelo Genesys 10 uv).



➤ **Actividad Antioxidante**

La capacidad antioxidante se reporta como equivalente de Trolox, se basa en la decoloración del radical catiónico **ABTS**⁺ como resultado de la transferencia de un átomo de hidrógeno 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. Para después realizar diluciones con factores de 1:100, 1:1000 (Del Castillo *et al.*, 2002). El radical libre fue producido mediante la reacción con persulfato de potasio y el reactivo ABTS. La solución se ajustó a una absorbancia de 0.700 ± 0.2 a 734 nm. Para la curva patrón se llevaron a cabo los ensayos con cada una de las soluciones preparadas del estándar Trolox (200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 μM) en donde en una celda se añadieron 100 μl de solución estándar de Trolox a 1900 μl de la solución del radical coloreada de ABTS y agitar y una vez que transcurrieran 7 min. se midió la absorbancias a 734 nm y registró la lectura como Af (señal inhibida). Por cada solución del estándar Trolox, se preparó una celda a la que se añadió 100 μl de metanol a 1900 μl de la solución del radical coloreado ABTS. La absorbancia se midió a 734 nm y se registró la lectura como A₀ (blanco o señal no inhibida). Los resultados se expresaron en mmol/g.

4.5 Evaluación sensorial

Se realizó una evaluación sensorial de los granos de café con tostado medio de diferentes variedades procedentes de diferentes estados de la República Mexicana, así como de los granos de café variedad Typica del estado de Veracruz con diferentes grados de tostado (severo, alto, medio y ligero). Para ello se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) ayudados de un panel de jueces semientrenados los cuales fueron entrenados en el laboratorio de Poscocecha de frutas y hortalizas (Arias-Balderas, 2012).

4.5.1. Entrenamiento de jueces

Para la evaluación sensorial los panelistas semientrenados determinaron los parámetros sensoriales como: olor, sabor, mouthfeel y cuerpo que serían evaluados proponiendo diferentes referencias y escalas (Tabla 8).



4.5.2. Tratamiento de la muestra para la evaluación sensorial

Se pesaron 6 g de granos molidos por cada 250 ml de agua, las muestras se prepararon con una cafetera (marca Taurus), y la bebida se dejó reposar aproximadamente por 5 minutos, para permitir que la mayoría de los sedimentos se asienten, y se vertieron en vasos de plástico.

4.5.3. Atributos evaluados

Con la ayuda de panelistas semi entrenados se realizaron pruebas sensoriales mediante pruebas descriptivas (QDA), para parámetros (Tabla 8) de café como: olor, sabor, sensación en la boca (mouthfeel) y cuerpo (NMX-F-129-SCFI-2007). La descripción de los atributos se basó en referencia y descripción propuesta por Escamilla (1997).

Tabla 8. Atributos propuestos por el panel de jueces y referencias establecidas

| Atributo | Referencia | Descripción | Valor propuesta por Escamilla | Valor propuesto por panelistas |
|----------------------|-----------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Aroma | | | | |
| Tierra húmeda | Tierra húmeda | Descriptor el olor característico de la tierra recién mojada. | 8 | 11 |
| Tabaco | Hojas secas de tabaco | Describe el aroma de hoja seca de la planta | 10 | 9 |
| Cenizas | Cenizas de cigarro | Recuerda el aroma de los ceniceros después de haber sido usados. malboro | 12 | 12 |
| Tostado | Habas tostadas | Sabor que queda en la boca después de comer haba tostada. | 10 | 10 |
| Verde | Pasto cortado | | | 11 |



| Sabor | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|--|----|----|
| Tostado | Trigo | Describe el aroma que se despidе cuando es tostado el trigo o algún cereal. | 8 | 11 |
| Amargo | Solución de cafeína al 0.06% | Uno de los gustos básicos debido a la cafeína presente en el café después de probarla. | 4 | 6 |
| Terroso | Tierra húmeda | Descriptor el olor característico de la tierra recién mojada. | 8 | 9 |
| Cocoa | Cocoa | | | 9 |
| Mouthfeel | | | | |
| Tabaco | Hojas secas de tabaco | Ver aroma | 10 | 13 |
| Astringente | Solución de ácido tánico al 0.06% | Sensación de agarre en la boca, después de que es bebido el café. | 8 | 10 |
| Cuerpo | Solución de sacarosa al 3% | Describe la resistencia al flujo de la bebida al sorberla con la lengua | 3 | 3 |

4.6 Análisis estadístico

Para el tratamiento de resultados se realizó mediante análisis estadístico de varianza (ANOVA) y se aplicaron pruebas de rango múltiple para establecer diferencia significativa (0.05) entre diferentes tratamientos, utilizando el programa estadístico SPSS versión 18.



Resultados y Discusión





5. Resultados y discusión

5.1 Efecto del estado productor en el color de granos verdes variedad Typica.

Tono, matiz o croma es el atributo que diferencia el color y por la cual designamos los colores: verde, café, etc. (Fotonostra, 2012).

Los resultados obtenidos para granos verdes de variedad typica en la evaluación de color se presentan en la Figura 24.

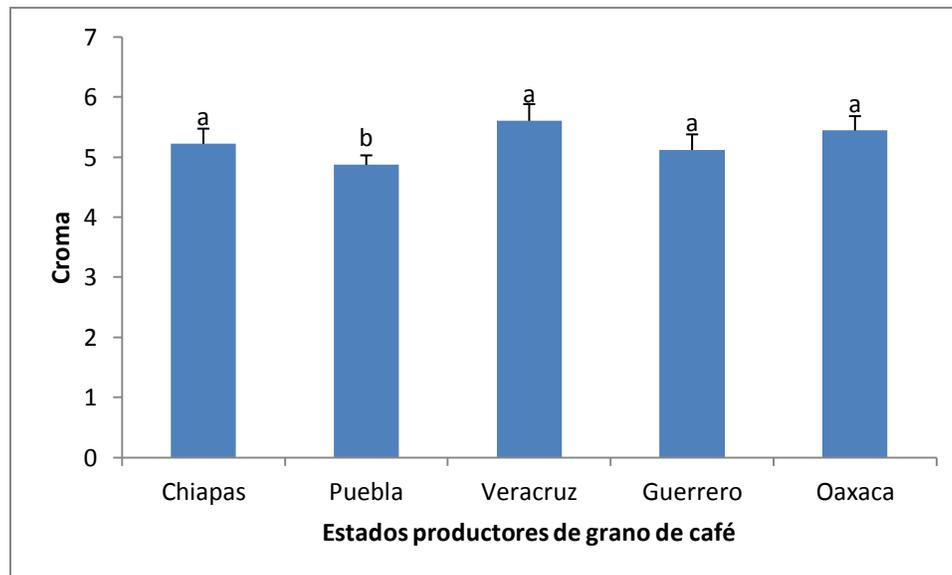


Figura 24. Croma de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café procedentes del estado de Puebla presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los granos de los demás estados evaluados. Los granos de café de Veracruz presentaron el mayor croma con 5.60 y el menor lo presentó la muestra Puebla con 4.87. Esta similitud de croma en las muestras de café verdes se puede atribuir a que el café fresco ha sido sometido a una serie de operaciones que se inician con el despulpado del fruto (la cereza del café) que se realiza por vía húmeda o con el secado del café sin despulpar, si es por vía seca, hasta obtener un grano tipo pergamino seco o café verde, con



el objetivo de eliminar las capas que rodean el fruto, el color verde olivo del grano se obtiene en un tiempo de 4 a 5 días.

Luminosidad es la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación (Fotonostira, 2012).

Los resultados obtenidos de luminosidad en cafés verdes se presentan en la Figura 25.

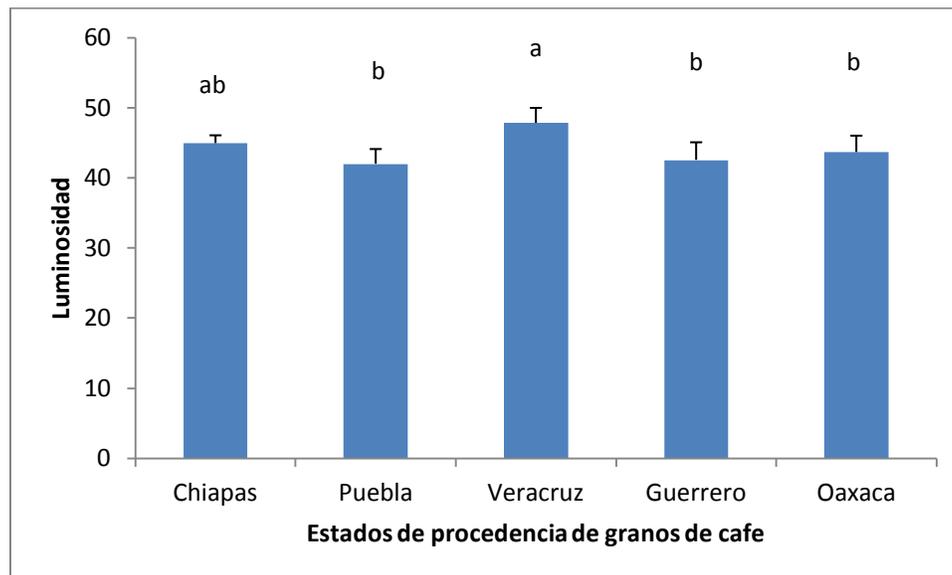


Figura 25. Luminosidad de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café provenientes del estado de Veracruz presentaron el mayor valor de luminosidad 47.81 seguido de los granos provenientes de Chiapas 44.93, los cuales presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en luminosidad con respecto a los granos de café de los otros estados de la República. La muestra que presentó la menor luminosidad fue Puebla con 41.99, lo cual indicó que los granos de Chiapas tuvieron un color verde más oscuro en comparación con los granos de Puebla y Veracruz.

Nicoli (1997) realizó un estudio de propiedades antioxidantes en bebidas de café en relación con el nivel de tostado. En donde reporta resultados de luminosidad para café verde de 68.10 como media.



5.1.1 Efecto del estado productor en la humedad de granos verdes variedad Typica

En la Figura 26 se presentan los porcentajes de humedad obtenidos para granos de café verdes. La pérdida de la calidad del café se debe en gran parte a la humedad, ya que en el almacenamiento el café presenta un contenido de 12%, mientras un grano recién tostado tiene porcentaje del 2 ó 3, siendo altamente higroscópico, es decir, capta la humedad del ambiente (QuimiNet, 2012).

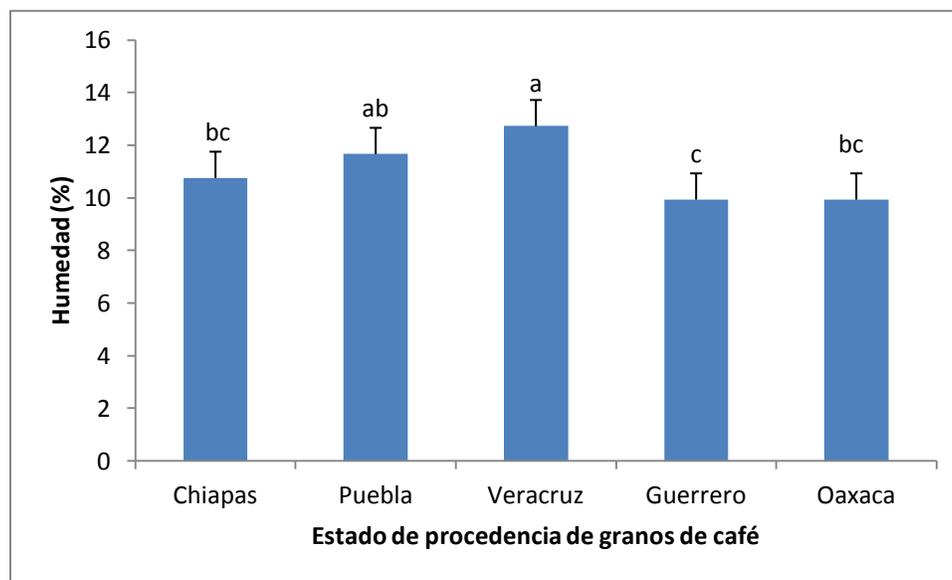


Figura 26. Porcentaje de humedad de granos verdes de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café de Veracruz presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con el resto de las muestras con una humedad de 12.73%, mientras que Guerrero presentó el menor contenido con 9.94%. Hernández (2010) reportó una humedad para el grano verde de 12%, los granos de café analizados en este estudio presentaron porcentajes similares a los reportados por este autor.

En el comienzo de la cosecha el café cereza contiene una humedad de entre 60-65% (Prieto, 2002), posterior al beneficio los granos de café verdes presentan una menor humedad, lo cual se debe a que estos han pasado por el proceso de secado, en los granos de café verdes



se recomienda un contenido de alrededor del 12%, ya que con estos porcentajes se preserva mejor y por más tiempo las características de calidad en la infusión, hasta por 6 meses después de su elaboración.

5.1.2. Efecto del estado productor en la cantidad lipídica de granos verdes variedad

Typica

Dentro del proceso de elaboración de los granos de café, éste sufre importantes transformaciones químicas durante el tostado, como lo son: reacciones en azúcares, contenido de grasa, degradación o transformación de proteínas, entre otros; lo cual es debido a las altas temperaturas empleadas.

El contenido de lípidos se encontró en un intervalo de 9.67 a 16.33% (Figura 27), Hernández (2010), reportó un contenido de grasa para granos verdes de 17%, la variación se puede atribuir a la procedencia del grano y altura de la siembra, ya que la altitud es un factor determinante de la calidad del café.

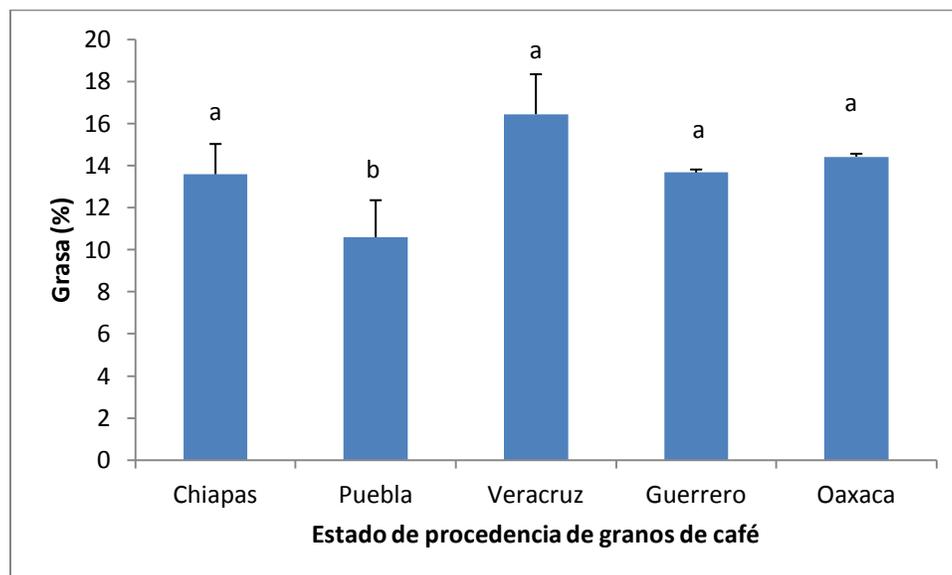


Figura 27. Porcentaje de grasa en cafés verdes de la variedad *Typica* proveniente de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Los granos de café de Veracruz presentaron el mayor contenido de lípidos 16.33%, mientras que la muestra que presentó el menor contenido fue Puebla con 9.67%. Los granos de café provenientes de Puebla presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por estado de procedencia con el resto de las muestras. Reyes (2011) realizó un estudio de identificación del origen geográfico y perfil de calidad de café mexicano en donde se observó que los estados con mayor materia grasa fueron Veracruz y Oaxaca, con una media estimada de 15.8 y 15.19%.

El grano producido en altitudes mayores es de mayor tamaño y rendimiento, a mayor altura mayor incidencia de luz sobre las plantas de café, por lo tanto mayor contenido de grasa lo que es un parámetro de calidad para los granos de café, esto se nota al comparar los resultados obtenidos ya que los granos del estado de Oaxaca fueron cultivados a 1300 msnm, seguido por Chiapas donde se cosecharon a una altura de 1000-1200 msnm, mientras que en el estado de Puebla la altitud es de 900 msnm, Veracruz y Guerrero de 960 y 1000 msnm, respectivamente. La procedencia de los granos de café tiene efecto sobre el contenido de grasa.

5.1.3 Efecto del estado productor en fenoles de granos verdes variedad Typica

Los polifenoles son un grupo heterogéneo de moléculas que comparten las características de poseer en su estructura varios grupos bencénicos sustituidos por grupos hidroxílicos (Zavaleta *et al.*, 2012).

Los cafés verdes contienen fenoles, teniendo más presencia el ácido clorogénico; este contenido varía de principalmente por la variedad del grano.

En el caso de los cafés verdes variedad Typica (Figura 28) provenientes de diferentes estados, se observó que el café de Oaxaca presentó el mayor contenido de fenoles (76.27 mg AG/g), mientras que los provenientes de Puebla y Veracruz presentaron el menor contenido de compuestos fenólicos y presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Lo que indicó que si hay un efecto directo sobre el contenido de fenoles respecto a la procedencia del café verde.

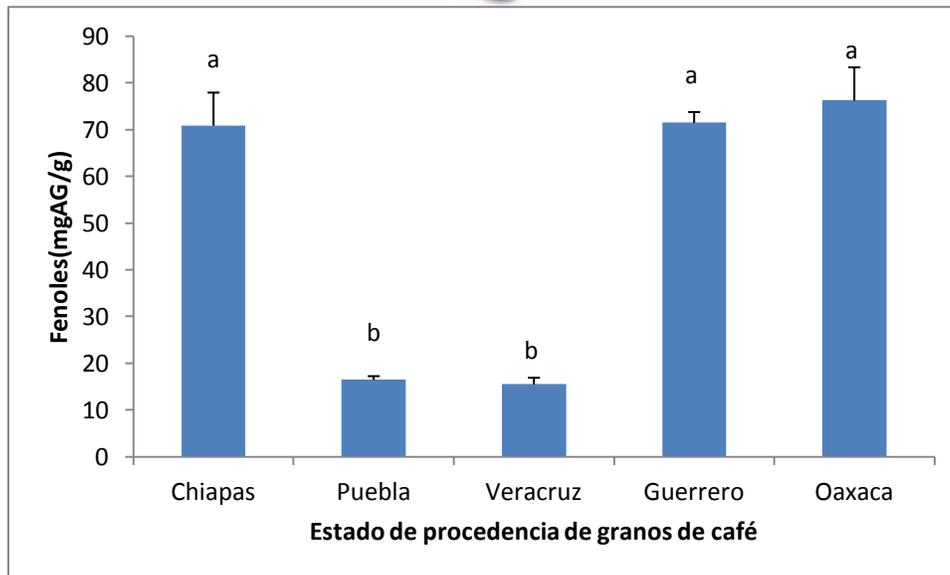


Figura 28. Fenoles de cafés verdes de la variedad Typica provenientes de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

López-Galilea (2006) encontró que el contenido de fenoles en café verde fue superior a los tostados, ya que se puede generar una pérdida de estos compuestos debido a los tratamientos térmicos a los que son sometidos durante el tostado, mientras que Borrelli (2002) determinó la caracterización química y antioxidante en granos de café de distintos niveles de tostado mediante una cromatografía de filtración en gel, reportando un contenido de fenoles de 67 mgGAE (equivalente de ácido Gálico) para granos verdes, esta variación se puede atribuir a las condiciones agroambientales que pudieron tener una influencia en la concentración de estos componentes, como se observa el contenido de fenoles totales decrece en los granos con algún nivel de tostado, también se observa una mayor concentración en comparación con los granos tostados.

5.1.4. Efecto del estado productor en la capacidad antioxidante de granos verdes variedad Typica

En la Figura 29 se muestra la capacidad antioxidante de cafés provenientes de los estados de Chiapas, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, de la variedad Typica verdes.

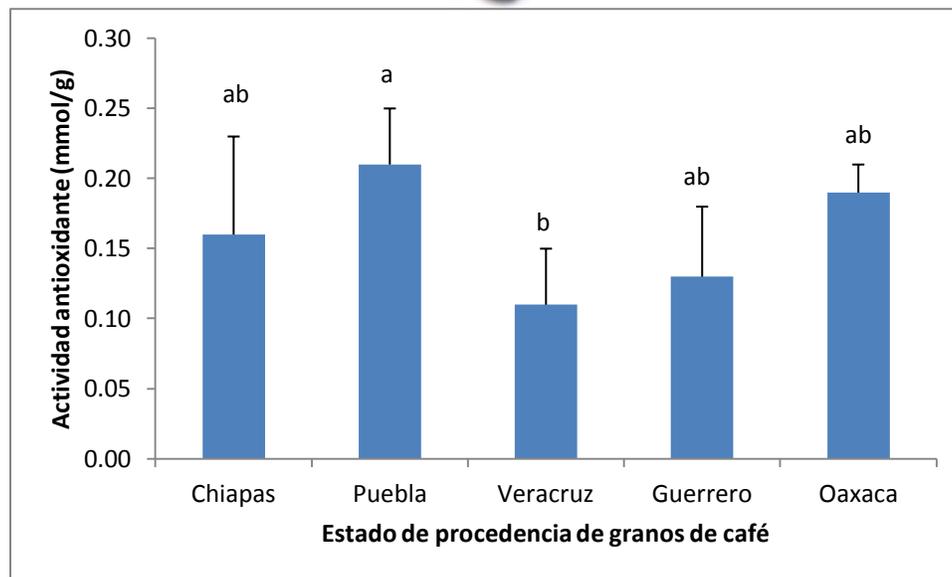


Figura 29. Actividad antioxidante para las muestras verdes de la variedad Typica procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Chiapas, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café que presentaron mayor capacidad antioxidante fueron los de Puebla con 0.21 mmolTrolox/g, seguida por los provenientes de Oaxaca con 0.19 mmolTrolox/g, mientras la de menor fue Veracruz con 0.10 mmolTrolox/g. Los granos provenientes de Veracruz presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de los estados, mientras que la capacidad antioxidante de los granos de Puebla y Guerrero no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$). Bravo (2010) estudió la capacidad antioxidante con residuos de café en donde obtuvo una capacidad antioxidante de 0.14 mmolTrolox/g, en tanto Borrelli *et al.* (2002) reportó la capacidad antioxidante determinada con el método de ABTS espectrofotométricamente para granos de café verdes en 0.739 mmol Trolox, en el presente estudio esta fue menor en el caso de los granos de Puebla, pero mayor que la obtenida de los granos provenientes del estado de Veracruz, siendo la capacidad antioxidante de un alimento dependiente de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él, esta variación se puede atribuir a la altura a la que se cosechó (1200-1400 msnm), ya que las semilla tienen un mejor desarrollo y calidad, en donde factores ambientales como la temperatura precipitación, luminosidad, vientos y suelos pueden ser determinantes (Monroig, 1994).



5.2. Efecto de la variedad en color de granos verdes procedentes del estado de Chiapas.

El Croma representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo (Moreno, 2004).

En la Figura 30 se muestra los cambios de cromaticidad de los granos de café verde de diferentes variedades procedentes de Chiapas. El grano de café con mayor cromaticidad fue la variedad Mundo Novo con 5.57 seguido de la variedad Typica y Bourbon con 5.22 y 5.20, respectivamente sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por variedad, siendo en la etapa de secado en donde el grano obtiene el color verde olivo, entonces se puede considerar que los granos de la variedad Mundo Novo estuvieron expuestos por un mayor tiempo en esta etapa del proceso. También el color en el grano es una característica que tiene una importancia comercial, ya que el beneficio desempeña un papel esencial en el color, que varía entre amarillo claro y verde oscuro. El color dominante varía con el origen botánico, la naturaleza del suelo, la técnica del cultivo, el beneficio y la manera en que se almacene y se conserve el grano.

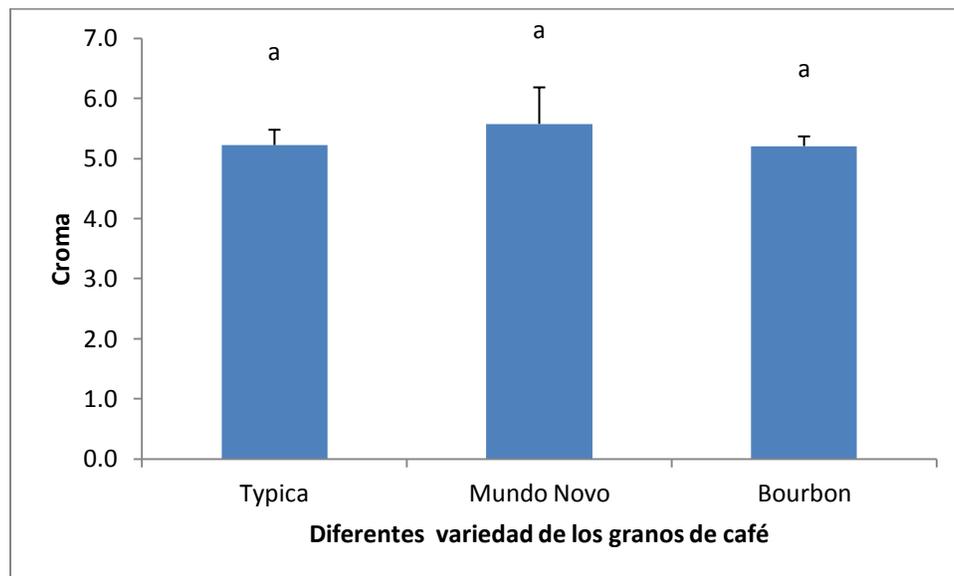


Figura 30. Croma de cafés verdes de diferentes variedades del estado de Chiapas: Typica, Mundo Novo, Bourbon.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



La Luminosidad de un color es una característica física y se identifica con la propiedad de los materiales de reflejar, en mayor o menor grado, la luz que lo ilumina (Moreno, 2004).

En la Figura 31 se muestran las luminosidades de los granos de café de diferentes variedades; se puede observar que no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por variedad, siendo Mundo Novo la que presentó una luminosidad de 47.91, mientras que la de menor fue la variedad Typica con 44.93, al igual que en la cromaticidad la variedad Mundo Novo presentó mayor luminosidad con respecto a las otras variedades, esto se puede atribuir al proceso de beneficio, ya que en esta etapa del proceso puede ser húmedo o seco, mientras que en el primero da una mayor calidad de los granos, en el proceso del secado es donde se obtiene el color característico de los granos.

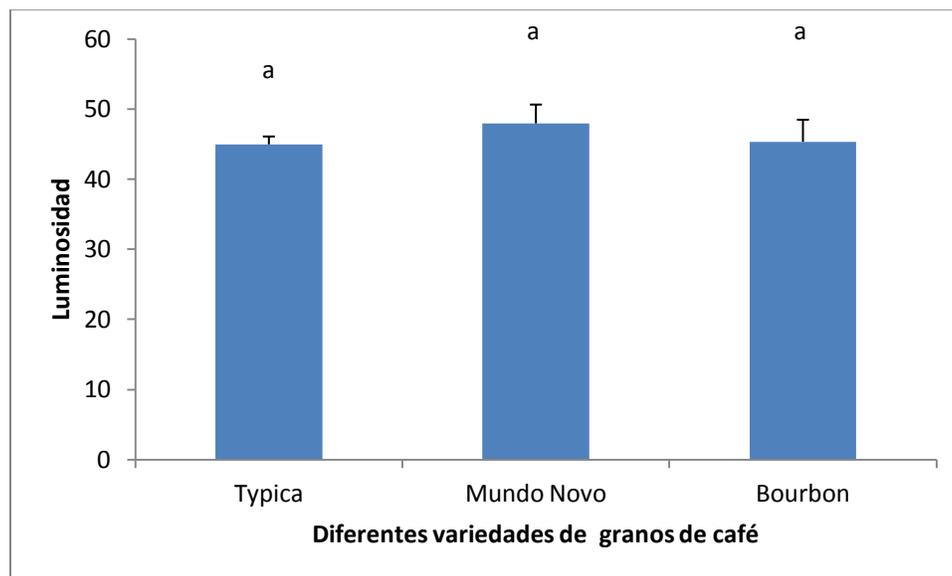


Figura 31. Luminosidad de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

5.2.1 Evaluación de humedad de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas.

Es importante tener un control permanente de la temperatura de almacenamiento. Las variaciones drásticas de humedad relativa y temperatura generan procesos de desorción (Prieto, 2002).



En la Figura 32 se muestran los contenidos de humedad de granos de café de diferentes variedades. La humedad en los granos de café variedad Bourbon fue de 11.36%, presentando el mayor contenido de humedad, mientras que la menor fueron los granos de la variedad Mundo Novo con 10.54%. Los granos de café no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por variedad. La cantidad de humedad es importante en la calidad del grano, ya que el contenido ideal de conservación es entre 10-12% para así evitar la actividad enzimática y el crecimiento de mohos, los cuales dependen directamente de la humedad relativa y la temperatura del medio.

En comparación con otros estudios Reh (2006), realizó la determinación del contenido de agua en cafés verdes por tres métodos para su comparación, dicho estudio lo realizó con granos de café arábica y robusta provenientes de diferentes orígenes geográficos, en uno de sus métodos fue mediante un microprocesador, a 105 °C, en donde se mantuvo la muestra de 10 g por 16 horas a 63% HR, en donde se obtuvieron resultados de 12.18%, en comparación con los obtenidos la humedad de los granos verdes estuvieron por arriba, aproximadamente en 1%, lo cual puede deberse a la variedad de café así como al proceso del beneficio del cual son obtenidos.

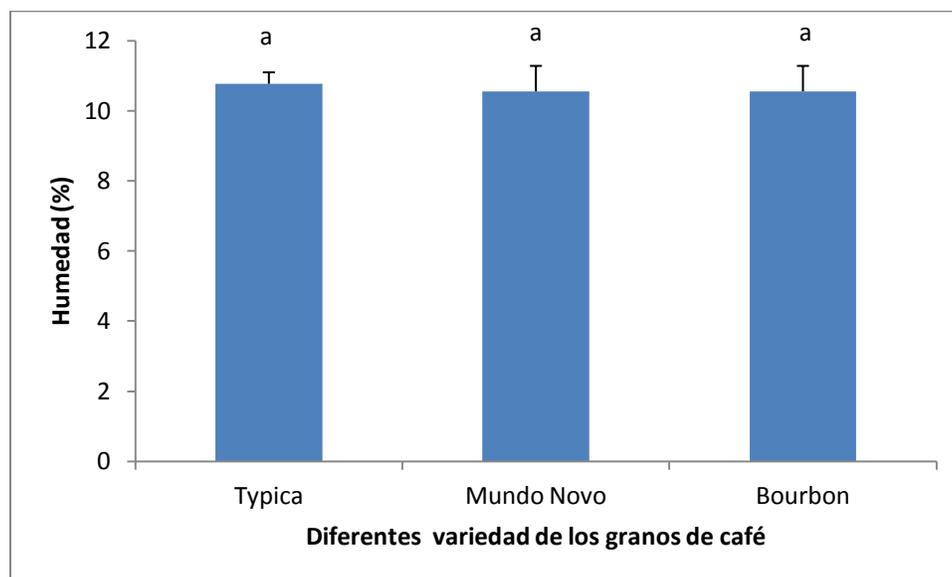


Figura 32. Humedad de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



5.2.2. Evaluación de grasa de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas.

En la Figura 33 se observa que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la variedad Mundo Novo con el resto de las variedades, en donde la variedad Typica presentó 16.33 % de materia grasa, seguida de la variedad Mundo Novo con 16.26%, mientras que la variedad que presentó menor cantidad de materia grasa fue Bourbon con 11.88%. Hernández (2011) realizó un análisis de estructuración y evaluación de la materia grasa de recursos genéticos del café (*Coffea arabica*) en donde reportó que los granos híbridos tuvieron una media estimada de 16.60% de materia grasa una media mayor en comparación con los granos que no son híbridos, ya que a pesar que el suelo donde fueron cultivados fueron de la misma procedencia y por lo tanto pudieron tener condiciones similares, los granos híbridos pudieron tener un mejor aprovechamiento de los nutrientes que se encontraban en la parcela tales como: radicación solar y ser más fuertes a las condiciones adversas. En el caso del presente trabajo, se pudo atribuir a que la variedad Mundo Novo es un híbrido entre las variedades Typica y Bourbon.

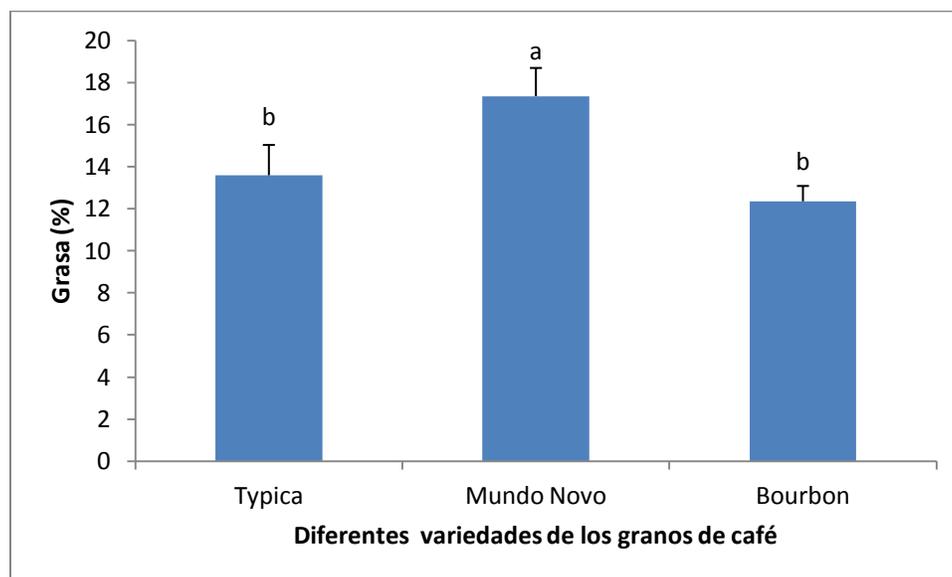


Figura 33. Grasa de cafés verdes de diferentes variedades: Typica, Mundo Novo, Bourbon.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



5.2.3 Evaluación de fenoles de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas.

Los principales ácidos orgánicos presentes en los granos de café son el ácido clorogénico, cafeíco y cinámico (Hernández, 2010). En la Figura 34 se observa que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por variedad, también se observa que la muestra de Bourbon mostró la mayor cantidad de fenoles con 74.66 mgAG/g, y la variedad Mundo Novo con la menor cantidad de 66.45 mgAG/g, la mayor cantidad de fenoles se puede atribuir a que las variedades Bourbon y Mundo Novo son híbridos y siendo la cantidad de fenoles, ácidos orgánicos presentes en los granos, estos compuestos son los que sirven para dar protección. Brezová *et al.*, (2008) reportó la cantidad de fenoles totales en 11 muestras de granos de café en tuvo valores de entre 58-41 mg AG/g, esta variación se puede atribuir al nivel de tostado, ya que se ha observado la disminución de fenoles totales en los granos con algún grado de tostado.

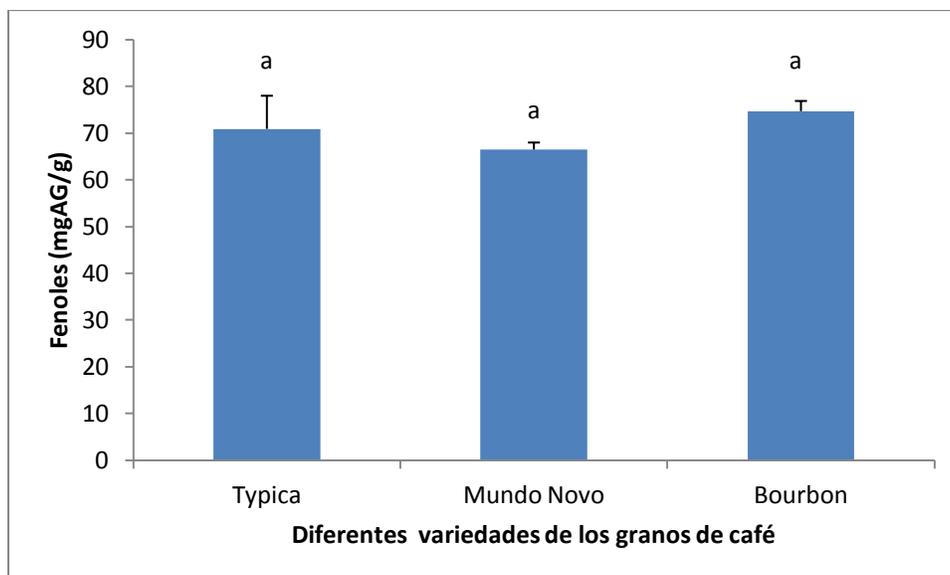


Figura 34. Fenoles de las muestras verdes: Typica, Mundo Novo, Bourbon
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



5.2.4 Evaluación de capacidad antioxidante de granos de café verdes de diferentes variedades procedentes del estado de Chiapas.

La capacidad antioxidante del café está relacionada con la presencia de componentes naturales y compuestos formados durante el proceso de tostado (Vignoli *et al.*, 2009).

En la Figura 35 se muestra la capacidad antioxidante de granos de café de diferentes variedades. La variedad Mundo Novo presentó la mayor capacidad antioxidante con 0.32 mmolTrolox/g seguida de Bourbon y Typica con valores de 0.26 y 0.16 mmolTrolox/g, respectivamente presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la variedad. Bravo (2010) reportó la capacidad antioxidante de 0.14 mmol/g para café de grano tostado *Arabica*, siendo similar a la variedad Typica con 0.16 mmol/g del presente trabajo. Del Castillo *et al.*,+ (2002) realizaron un estudio en el efecto del tostado en la actividad antioxidante en bebidas de café, mediante una cromatografía de filtración en gel, encontrando que el café verde tuvo una actividad antioxidante de 4 TEAC (Trolox equivalente capacidad antioxidante).

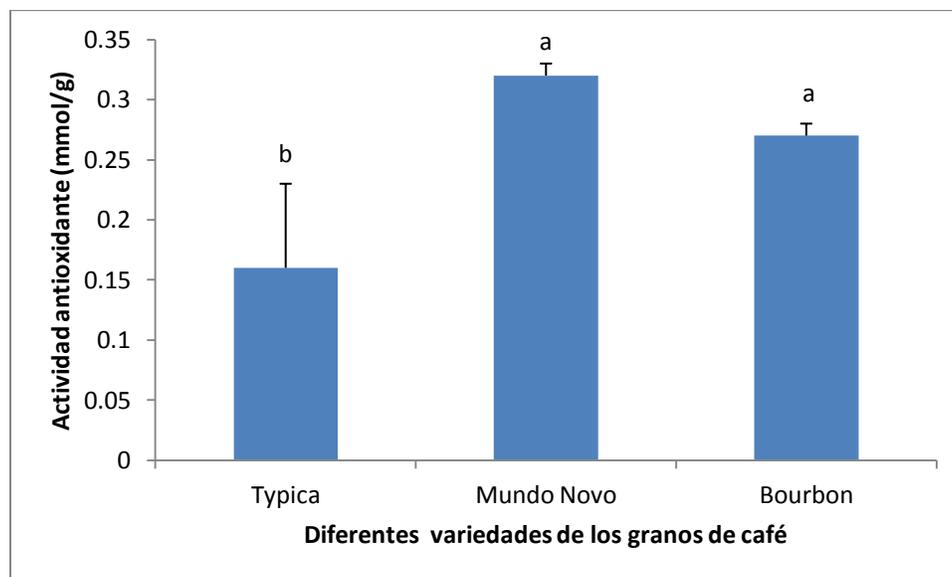


Figura 35. Actividad antioxidante de cafés verdes: Typica, Mundo Novo, Bourbon.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

A pesar que Del Castillo *et al.* (2002) determinó la capacidad antioxidante mediante otro método y por lo tanto los resultados fueron expresados en otras unidades el objetivo del



trabajo fue el efecto del tostado en la actividad antioxidante, el estudio se realizó en granos verdes, tostado ligero, medio y oscuro, mientras que en el presente estudio se analizaron granos verdes así como con cuatro grados de tostados: ligero, medio, alto y severo. Esta alteración en la capacidad antioxidante se puede deber a la variación de las especies, ya que la principal fuente de la capacidad antioxidante son los compuestos fenólicos y éstos a su vez están presentes en la planta y su cantidad y tipos varían en función de la especie, variedad y parte del vegetal, así como la exposición solar, grado de maduración y condiciones de cultivo (Monroig, 2004).

La variedad Typica presentó mayor materia grasa, sin embargo también presentó menor contenido de fenoles totales y actividad antioxidante, estas variaciones podrían deberse a las características genéticas de esta variedad, ya que las condiciones de cultivo fueron similares como el suelo, temperatura, altura y radiación solar.

5.3. Efecto del estado productor en el color de granos de café variedad typica con tostado medio

El valor croma es el cero en el centro del círculo cromático y va aumentando de acuerdo con la distancia respecto al centro (Minolta, 2012). En la figura 36 se muestran los resultados de cromaticidad obtenidos de café variedad Typica provenientes de diferentes estados de la República Mexicana.

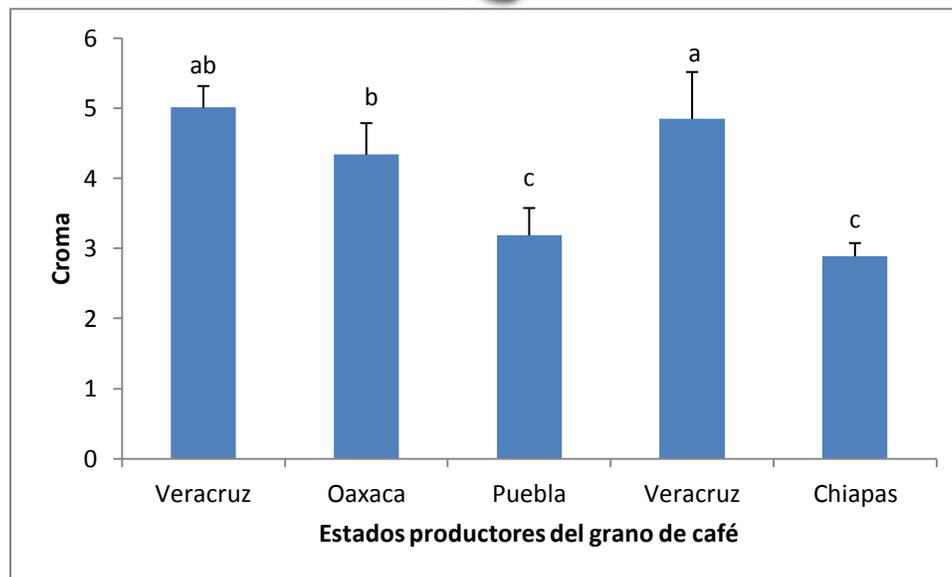


Figura 36. Croma de granos de café de tostado medio de variedad Typica procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Chiapas. Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Como se observa en la Figura 36, los granos de café variedad Typica procedentes de Puebla y Chiapas no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre sí, mientras que el resto sí presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Los granos de café que tuvieron mayor cromas fueron Guerrero con 5.01 y Veracruz con 4.85, mientras que las muestras con menores cromas fueron Puebla con 3.18 y Chiapas 2.89. Estas variaciones de cromas se atribuyen a la homogeneidad del proceso de tostado, ya que pueden presentar variaciones en el tiempo y temperatura durante el proceso del café.

En la Figura 37 se observan los resultados obtenidos de luminosidad en granos de café de tostado medio de variedad Typica provenientes de distintos estados de la República Mexicana.

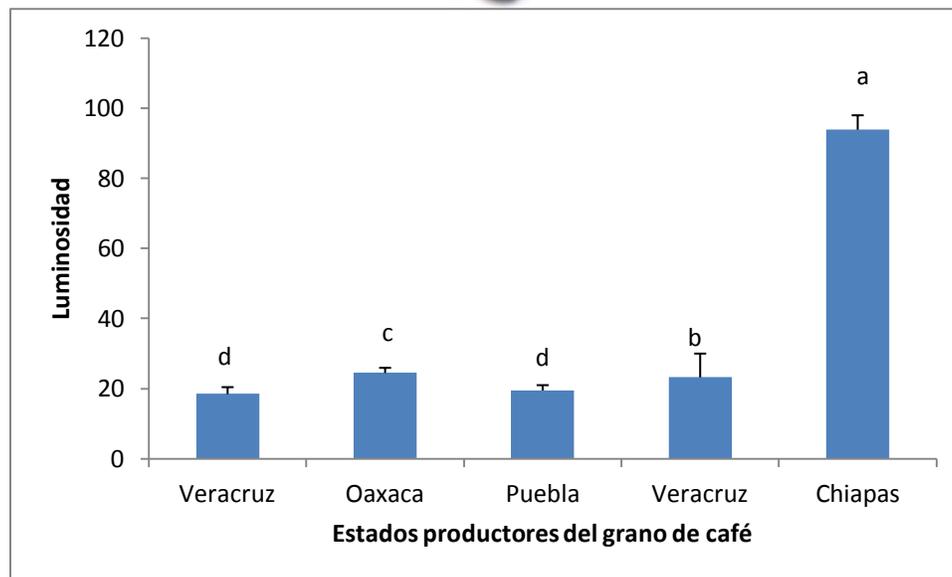


Figura 37. Luminosidad de granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Chiapas.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los granos de café Guerrero y Puebla presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las muestras, siendo los granos de Chiapas los que presentaron mayor luminosidad 93.92, seguidos de Oaxaca 24.54. También se puede observar que los granos de café de Guerrero y Puebla presentaron la menor luminosidad con 18.5 y 19.53, respectivamente.

El intervalo encontrado en los cafés de este estudio se encuentra entre 18.5-93.92, los cuales son valores que difieren a los reportados por Morales y Maj (2002) quienes reportaron para cafés con tostado medio un intervalo de 38.2-53.0, mientras que López-Galilea (2004) realizó un estudio en granos de café con distintos grados de tostado torrefacto donde la luminosidad osciló entre 21.90-30.86. Las variaciones en la luminosidad pueden estar dadas por el proceso de tostado, puesto que en cafés con tostado torrefacto se agrega azúcar obteniendo granos de café brillantes de colores más oscuros.



5.3.1 Efecto del estado productor en la humedad de granos de café variedad típica con tostado medio

En el caso de los granos de café, el tostado tiene gran influencia en el contenido de humedad final de estos, ya que estos pierden peso entre 15-20%, debido a la evaporación del agua y el grano aumenta su volumen entre un 100 y 130%. Los resultados obtenidos del contenido de humedad de los granos de café analizados se muestran en la Figura 38.

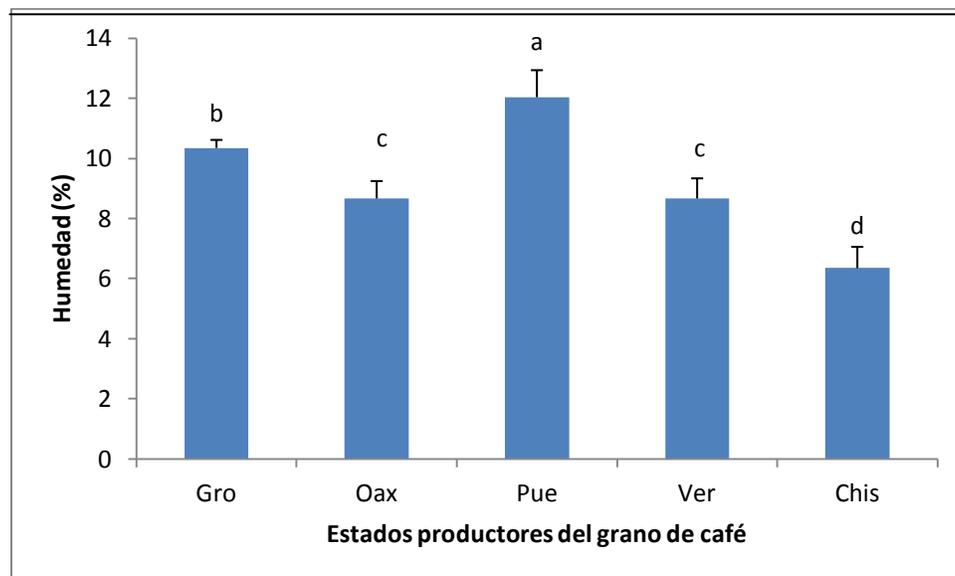


Figura 38. Porcentaje de humedad granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Chiapas.
Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Las muestras del Estado de Puebla presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con y el resto de las muestras, mientras que Guerrero y Chiapas no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ellas notándose que hay un efecto por la procedencia en la humedad de los granos.

Como se observa en la Figura 37 el grano que presentó mayor porcentaje de humedad fue Puebla con 12.04%, seguida de la muestra de Guerrero con 10.35%, mientras que la muestra que presentó menor humedad fue de Chiapas con 6.35%. Como se observa los granos de café analizados se encuentran en un intervalo de humedad de 6 a 12%. Nicoli *et*



al. (1997) reportaron la pérdida de peso en granos de café con distintos niveles de tostados en donde se observó menor pérdida de peso en tostados medios con 12.3% y en los tostados oscuros con 14.3%, esto atribuido a que las temperaturas para el tostado oscuro fueron mayores y por mayor tiempo, como se observa en la Figura 37 los granos con tostado medio no existe mucha diferencia en porcentaje en el contenido de humedad con respecto a los granos de café verde (Figura 37), esto se atribuye a que posterior al proceso de tostado los granos tienden a absorber la humedad del ambiente en donde son almacenados, sin embargo es importante también el control de la humedad en los granos para garantizar la calidad.

5.3.2 Efecto del estado productor en la materia grasa de granos de café variedad typica con tostado medio

Los lípidos son parte importante en la composición del grano de café, ya que las infusiones realizadas con granos de café con mayor contenido lipídico muestran mayor cuerpo. La grasa del café se compone de ácidos grasos, como el linoléico y palmítico (Ramírez, 2012).

Como se observa en la Figura 39 no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por procedencia, el mayor contenido de grasa fue para los granos de café provenientes de Puebla con 22.55%, seguida de Veracruz con 19.06%, los granos de café variedad Typica presentaron el mayor contenido de grasa.

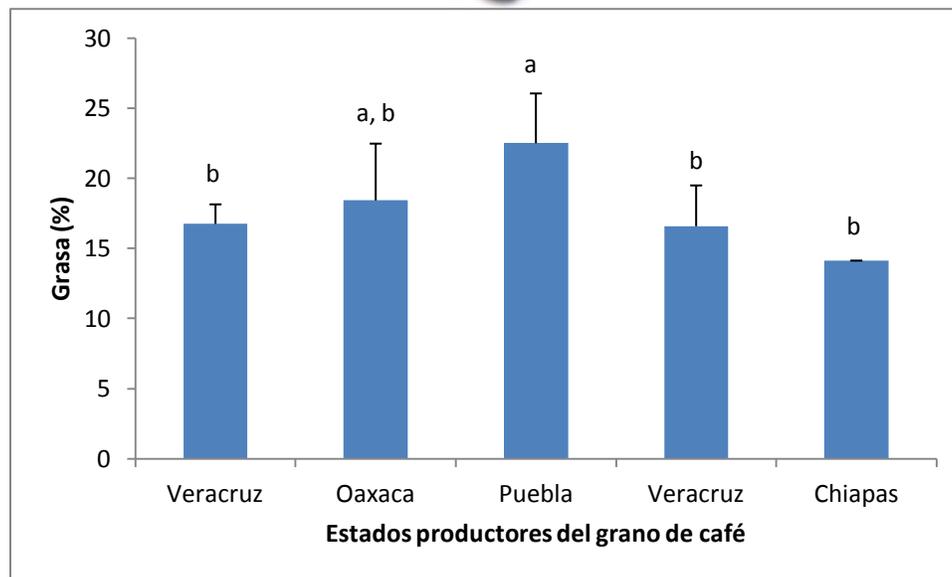


Figura 39. Porcentaje de grasa de granos de café de tostado medio procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Chiapas.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Hernández (2010) reportó un contenido de grasa de 16% para granos tostados. Como se puede observar los resultados obtenidos en este estudio se encuentran en un intervalo de (14.12-22.52%), siendo similares a lo que reportó este autor, aun así las variaciones en el contenido de grasa pueden deberse a la altura de siembra de los granos de café, ya que los del estado de Puebla se cultivan a 1200-1400 msnm, mientras que los granos de Chiapas fueron sembrados a 900 msnm. Existe una relación directa sobre la altura de siembra de los árboles de café y el contenido lipídico de los granos. Es importante destacar que el contenido de materia grasa es superior aproximadamente un 10% en comparación a los cafés verdes, que se encontraron en un rango de materia grasa de 12-15%, la concentración de la materia lipídica aumentó con el tostado, debido a la pérdida de humedad dada por las altas temperaturas que requiere el proceso, trae como consecuencia la concentración de los otros componentes presentes en los granos de café.



5.3.3 Efecto del estado productor en los fenoles de granos de café variedad *Typica* con tostado medio

La acidez es una característica deseable, apreciada en el café, pues hay una relación entre la intensidad de lo amargo y la calidad del café, siendo los fenoles presentes en los granos de café responsables del sabor.

En la Figura 40 se observa que la mayor cantidad de fenoles la presentaron para los granos de Veracruz con 110.46 mg AG/g, mientras que las muestras que presentaron menor cantidad de fenoles fueron Guerrero y Chiapas con valores de 75.00 y 62.35 mg AG/g, respectivamente.

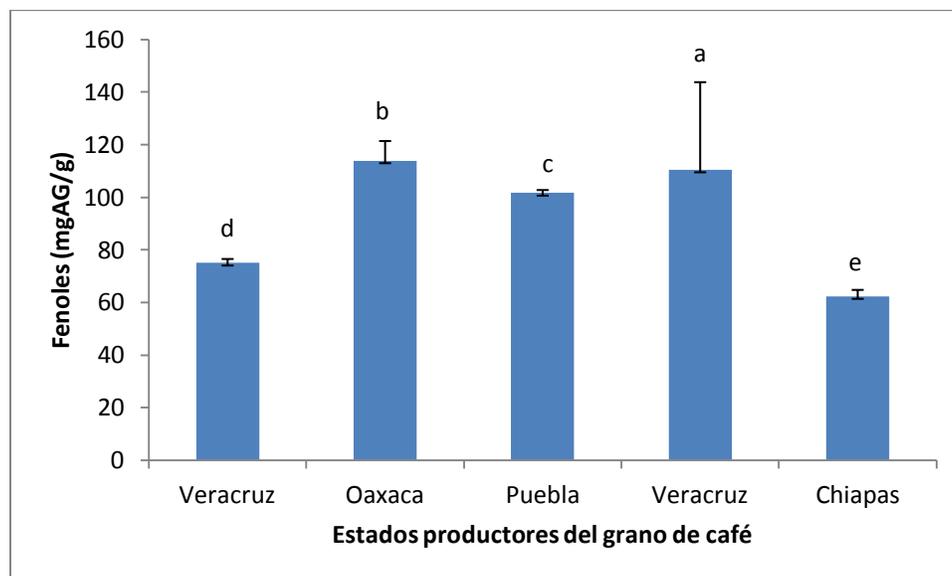


Figura 40. Fenoles de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Chiapas.

Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Todas las muestras provenientes de los cinco estados presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

Vignoli (2010) determinó fenoles totales en granos de café y reportó un intervalo de 120.8-134.4 mgAG/g, se puede observar que los resultados obtenidos se encuentran en un rango



de 75.0-140.52 mgAG/g, la cantidad de fenoles totales difiere entre todos los granos estudiados, esto se puede atribuir a la procedencia de los granos los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla son estados colindantes y no presenta diferencia significativa entre su contenido de fenoles, esto también puede deberse a la altitud de siembra que se encuentra alrededor de 900-960 msnm .

5.3.4 Efecto del estado productor en la capacidad antioxidante de granos de café variedad *Typica* con tostado medio

El café es conocido por su rica fuente de compuestos que poseen actividad antioxidante, siendo estas moléculas que tienen la propiedad de evitar o prevenir la oxidación con otras moléculas.

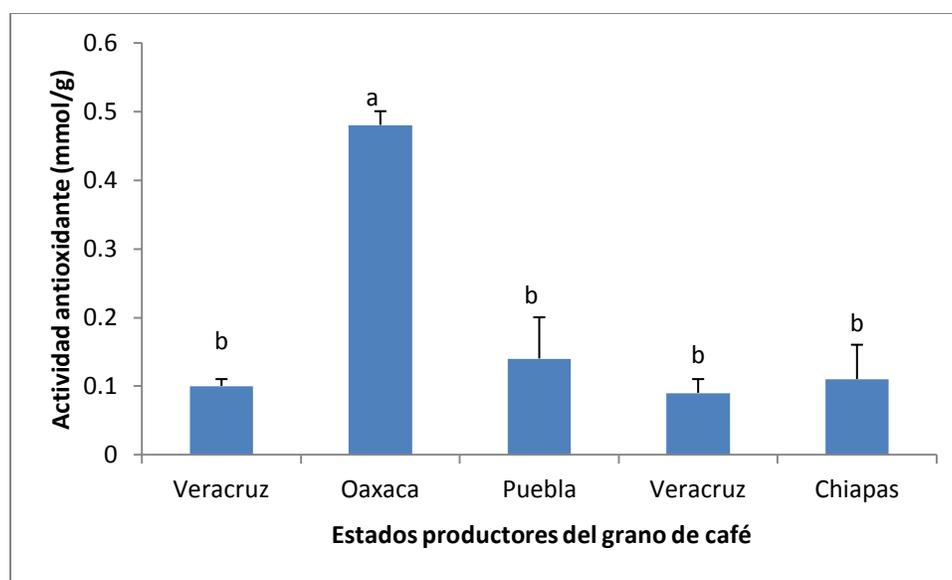


Figura 41. Actividad antioxidante de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Chiapas.

Nota: Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Como se observa en la Figura 41, mientras que por estado de procedencia las muestras de Oaxaca presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los demás granos de café, teniendo la mayor capacidad antioxidante $0.48 \text{ mmol Troloxg}^{-1}$, mientras que la muestra con menor capacidad antioxidante fue Guerrero con $0.1 \text{ mmol Troloxg}^{-1}$, esto se puede atribuir a la altitud de la zona de cultivo, la cual se encuentran entre 1200-1400



msnm, mientras que el resto de las muestras se cultivó en un intervalo de 1000-960 msnm Brezová *et al.* (2008) realizaron el estudio de la capacidad antioxidante en muestras café soluble y granos, el cual reportó datos con una media de 0.22 mmol g^{-1} , mientras que la media obtenida con las muestras estudiadas es de 0.11 mmol g^{-1} , esta variación de capacidad antioxidante se puede atribuir a factores externos como la altitud y luminosidad a la que fueron sembrados, mientras que la variación del contenido de fenoles que es más conocida por los ácidos contenido en los granos, sin embargo existen otros componentes que también se pueden contribuir a la actividad antioxidante, como los flavonoides.

5.3.5 Efecto del estado productor en la evaluación sensorial (análisis descriptivo cuantitativo) de granos de café variedad *Typica* con tostado medio

A partir de los granos de café molidos se realizó una infusión (apartado 4.9) la cual fue sometida a la evaluación del panel de jueces semientrenados (Figura 40).

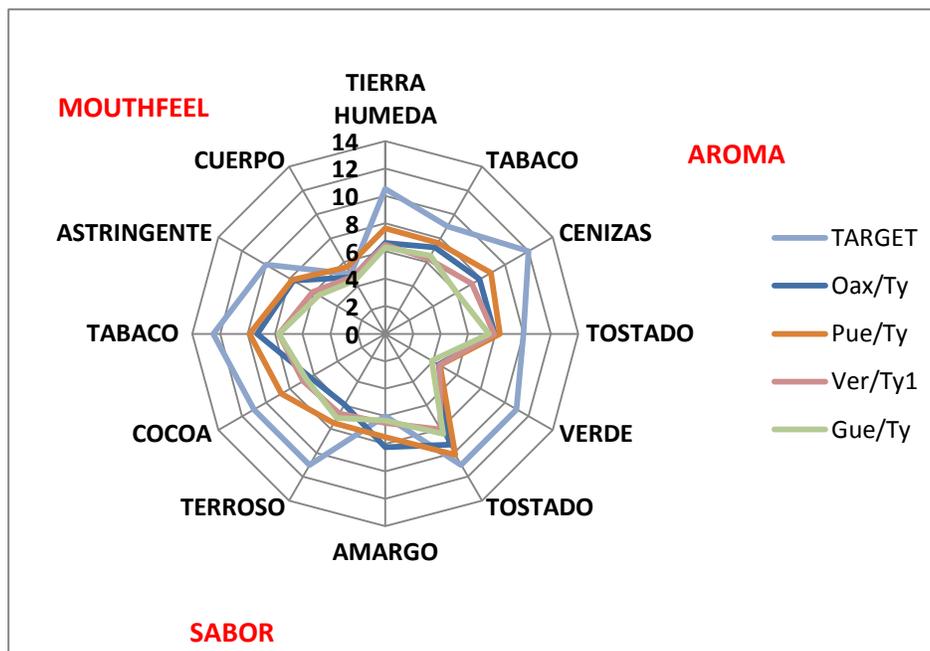


Figura 42. Análisis descriptivo cuantitativo (QDA) de granos procedentes de diferentes estados de la República Mexicana: Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Puebla (Pue) y Veracruz (Ver).

Los granos de café procedentes de Puebla presentaron mayor aroma a tabaco (7.6), cenizas (8.8) y tostado (8.3), así como cuerpo (5.58), mientras que los granos de Guerrero y



Veracruz presentaron mayor aroma verde (3.9 y 4.5 respectivamente), esto se puede atribuir a la composición química, ya que la infusión que presentó mayor atributos de cuerpo y sabores fueron los granos con el mayor contenido de grasa, que fueron Puebla con 22.55% y Veracruz con 16.6%, sin embargo estas infusiones también presentaron mouthfeel más altos de tabaco y astringente, siendo estos atributos indeseables en las bebidas.

El medio en que se cultivaron los granos (suelo, clima, altitud, etc.), los métodos y procedimientos del cultivo, el proceso del beneficio, tienen una clara influencia en el contenido de fenoles y grasa, estos a su vez una influencia en el sabor, ya que sí se cosecha un grano verde o poco maduro, potencia el sabor amargo mientras que uno demasiado maduro, da un sabor fuerte, las condiciones de humedad relativa en el almacenaje y transporte y la preparación de la bebida, todos estos aspectos fueron determinantes para la calidad de la bebida del café que fueron evaluadas por los panelistas.

5.4. Efecto de la variedad y el grado de tostado en el color de granos provenientes del estado de Veracruz

Siendo el proceso del tostado la etapa más relevante, es necesario conocer los parámetros que se ven afectados en los diferentes grados de tostado. Se evaluaron diferentes grados de tostado en café (severo, alto, medio y ligero) con diferentes variedades de café (Typica, Costa Rica, Caturra y Colombia).

La saturación o croma se refiere a la pureza de un color, un color complementariamente puro sería producido solo por una longitud de onda lumínica (Moreno, 2011).

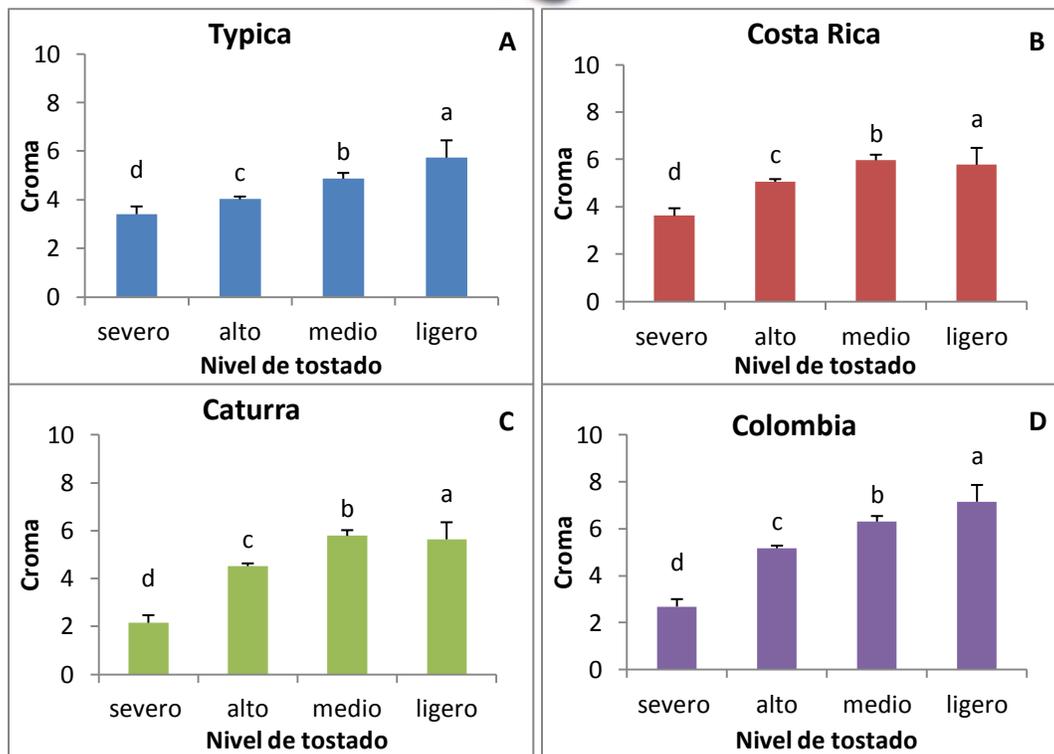


Figura 43. Croma de granos de café de las variedades Typica (A), Costa Rica (B), Caturra (C) y Colombia (D) con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz. Nota: La primeras letras diferentes en cada barra indican que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

En la Figura 43 se observa que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los granos de café con distintos grados de tostado, en donde los granos con nivel de tostado ligero variedad Typica tuvieron cromas de 5.48, mientras que hubo una disminución significativa de la cromaticidad del grano de tostado severo con una media de 3.41, observando que hay una tendencia a decrecer a medida que el nivel de tostado es mayor, ya que desarrollaron un color marrón. En cuanto a otras variedades, se observa que la variedad Colombia tuvo la menor media en tostado severo con 2.69 en cuanto que Caturra tuvo la menor media con 2.16, esto debido a que el grano en verde de la variedad Typica tiene un color bronceado, mientras que los granos de la variedad Colombia en grano verde tienden al color verde olivo, esto se observó en el apartado 5.1 en donde se evaluó el cromas en granos verdes variedad Typica en donde tuvo una media de 5.60.



Los efectos del nivel de tostado se observan en la luminosidad de los granos este parámetro se muestra en la Figura 44.

La luminosidad, también llamada claridad, es una propiedad de los colores. Ella da una indicación sobre el aspecto luminoso del color estudiado: cuanto más oscuro es el color, la luminosidad es más débil. Este término se asocia a veces con el concepto de valor, luminancia, brillo, luz (Wales, 2005).

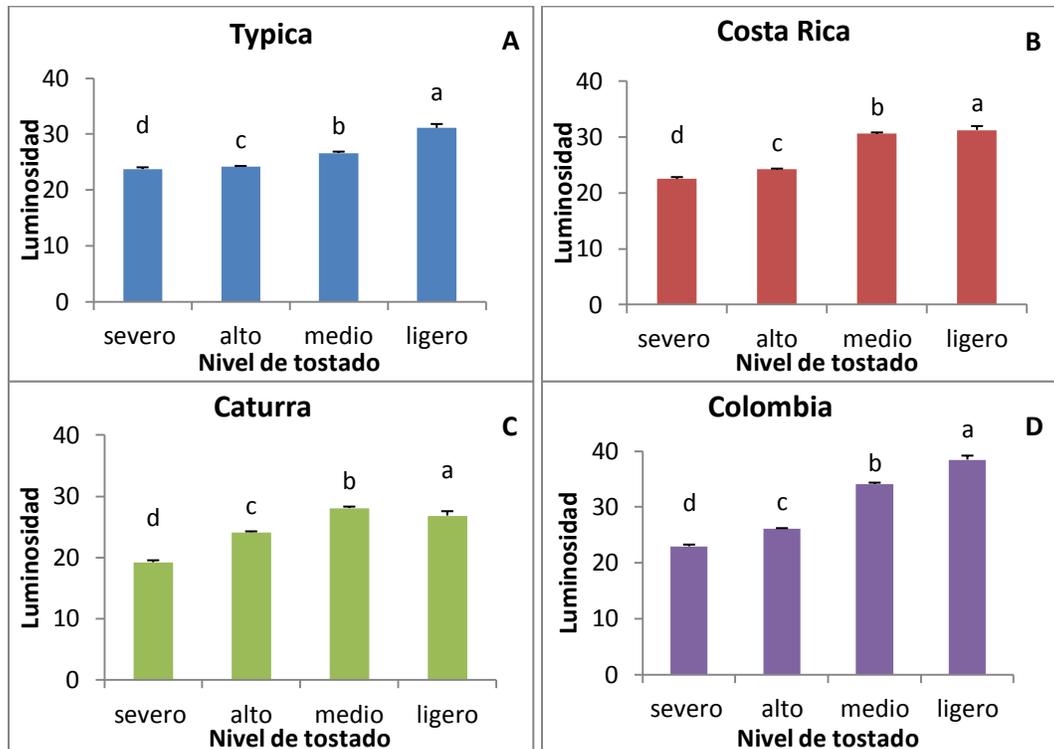


Figura 44. Luminosidad de granos de café de las variedades Typica (A), Costa Rica (B), Caturra (C) y Colombia (D) con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz.

Nota: La primeras letras diferentes en cada barra indican que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

Se observó que en las cuatro variedades de café hubo un efecto por el nivel de tostado presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Se puede observar que los granos de café estudiados muestran decremento en la luminosidad cuando el grado de tostado aumentó, los granos con tostados severos variedad Typica tuvieron una luminosidad de 22.09, mientras que los granos con tostado ligero tuvieron un promedio de 31.08. Morales y Maj (2002) determinaron la luminosidad de granos de café con tostado medio y reportó valores entre 38.2-53. Esto se atribuyó al proceso de tostado, ya que en el calentamiento los granos de



café pasan del color verde a un amarillento que progresivamente pasa a colores ocres, siendo los colores más claros los que proporcionan menos luminosidad.

5.4.1 Efecto de la variedad y el grado de tostado en la humedad de granos provenientes del estado de Veracruz

En la Figura 45 se observa que estadísticamente no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por el grado de tostado, también se observa que la variedad Typica tuvo una humedad entre 9.53-9.78%, mientras que la variedad Colombia (Co) entre 7.65-8.04%.

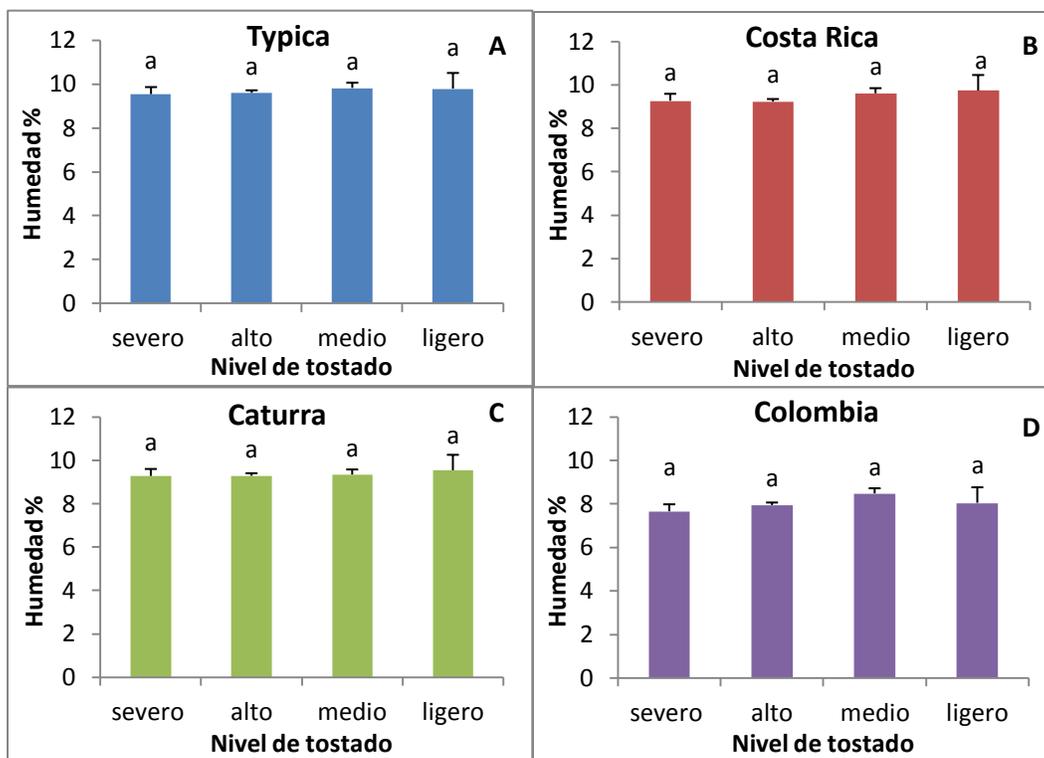


Figura 45. Humedad de granos de café de las variedades Typica (A), Costa Rica (B), y Caturra (C) y Colombia (D) con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz.

Nota: La primeras letras diferentes en cada barra indican que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) nivel de tostado.

Prieto (2002) reportó una pérdida de humedad durante el proceso de tostado de entre 0.4 y 5% dependiendo de la temperatura a la que se lleve a cabo el proceso, como se puede



observar en promedio los granos con distintos tostados perdieron menos humedad que la reportada por este autor.

5.4.2 Efecto de la variedad y el grado de tostado en el contenido de fenoles totales en granos de café provenientes del estado de Veracruz

En la Figura 46 se observa el contenido de fenoles totales para los distintos granos de cafés provenientes del estado de Veracruz.

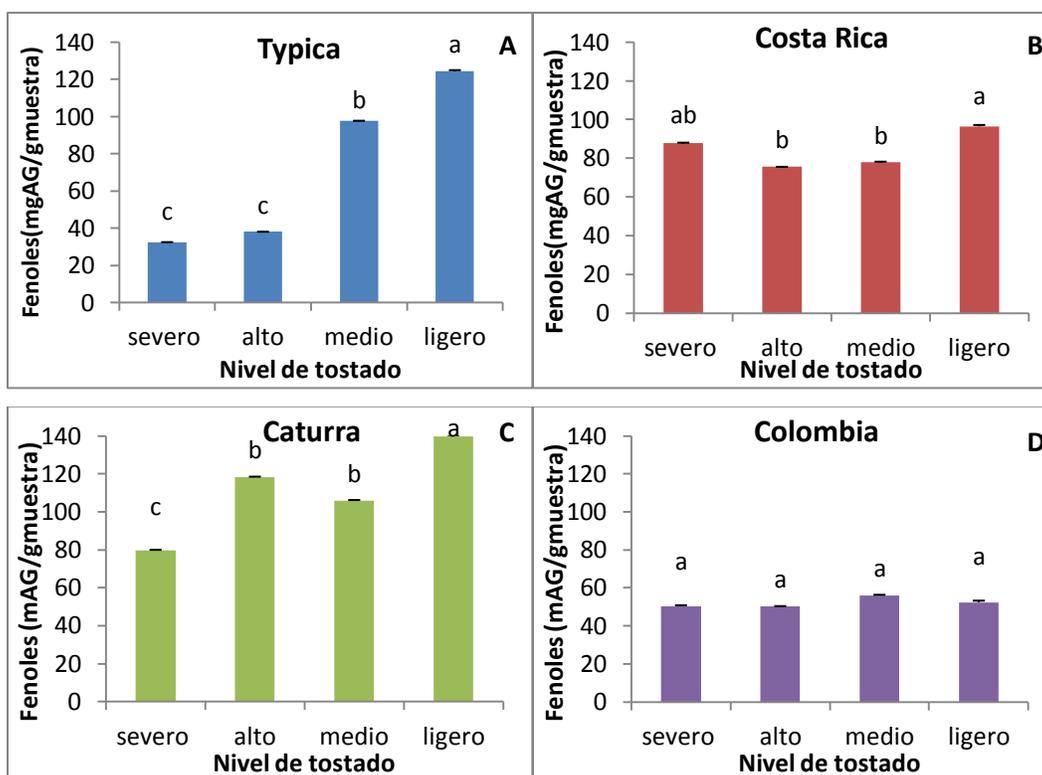


Figura 46. Contenido de fenoles de granos de café de las variedades Typica (A), Costa Rica (B), y Caturra (C) y Colombia (D) con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz.

Nota: La primeras letras diferentes en cada barra indican que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

Las muestras variedad Typica presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en todos los niveles de tostado severo y alto con el resto de los niveles. Los granos con tostado severo tuvieron 32.24 mgAG/g, mientras que los granos con grado de tostado ligero fue de 124.21



mgAG/g; en cuanto la variedad se encontró que Caturra con tostado ligero tuvo un contenido de fenoles más alto de 139.69 mgAG/g que Costa Rica 87.73 mgAG/g y Colombia mgAG/g, 50.39 mgAG/g.

Vignoli *et al.* (2010) realizaron un estudio con granos de café *Arabica* y *Robusta*, con tres niveles de tostado ligero, medio y oscuro, en donde reportaron para la variedad *Arabica* una cantidad de fenoles de 120.8, 130.9 y 134.4 mgAG/100g respectivamente, por lo que se muestra en la figura 46 los granos de café con nivel de tostado severo se encontraron en un rango de 32.23 a 50.39 mgAG/g, mientras que para los granos de café con tostado ligero osciló entre 52.43-139.68 mgAG/g, esto se puede atribuir a que los granos de tostado ligero tuvieron menor pérdida de ácidos orgánicos en el proceso de tostado. López-Galilea (2004) reporta que con el tratamiento térmico del tostado existe una pérdida de estos compuestos, ya que en el caso del ácido clorogénico durante el tostado este se desdobra como ácidos cafeico y quínico, y este proceso se da más rápido a una alta temperatura y mayor tiempo, es decir en un grado de tostado severo.

5.4.3 Efecto de la variedad y el grado de tostado en la capacidad antioxidante de granos provenientes del estado de Veracruz

En la Figura 47, se muestra la capacidad antioxidante de granos de café con diferentes grados de tostado; se observó que el tostado tiene efecto sobre la capacidad antioxidante en los granos de café, siendo el grado de tostado ligero diferente significativamente ($p \leq 0.05$) con los granos con niveles de tostado de severo y alto, .

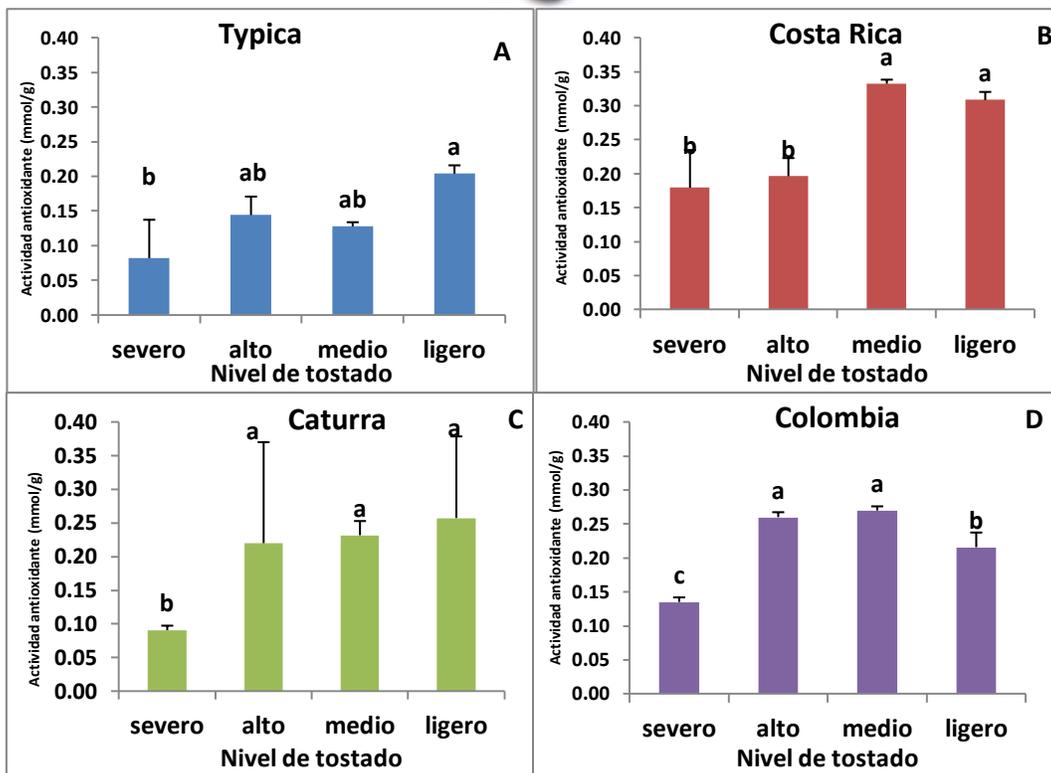


Figura 47. Actividad antioxidante de granos de café de las variedades Typica (A), Costa Rica (B), Caturra (C) y Colombia (D) con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz.

Nota: La primeras letras diferentes en cada barra indican que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por nivel de tostado.

Los granos con un grado de tostado severo presentaron una capacidad antioxidante entre 0.09- 0.17mmol/g, mientras que para el tostado ligero fue de 0.21-0.30 mmol/g, esto se puede atribuir a que en el proceso de tostado ligero no hubo una degradación tan severa del ácido clorogénico como en el caso del tostado severo, que tuvo mayor tiempo de proceso. Los granos con tostados severo presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la capacidad antioxidante contra el resto de niveles de tostado, esto se puede atribuir a que sus compuestos fueron menos afectados por el proceso.

En las variedades Caturra y Colombia, tuvieron en promedio la misma capacidad antioxidante esto se puede atribuir a que la variedad Caturra es una mutación de la variedad Bourbon y ésta a su vez es una mutación de la variedad Typica, este fenómeno de mutación puede tener una relación en el funcionamiento fisiológico, afectando así la composición bioquímica del grano.



Se observa que los granos de café tienen grandes cambios durante el tostado a medida que la temperatura interna aumenta. A 60 °C comienza el proceso de deshidratación y finaliza aproximadamente a los 150 °C; mientras que a 100 °C el agua libre se evapora y ocurre el aumento de volumen debido al ablandamiento de la estructura, al mismo tiempo comienza la caramelización del azúcar y la ruptura del contenido celular del café, los que alcanzan su máximo alrededor de los 200 °C (Prokopiuk, 2004); sin embargo estos cambios varían por el origen botánico y de procedencia, el beneficio y las condiciones del proceso de tostado, así como el grado de tostado que determinan el sabor y el aroma, ya que los ácidos orgánicos proporcionan la acidez, en cuanto a los fenoles determinan el amargo en la taza de café.

5.4.4 Efecto del grado de tostado de la variedad Typica en la evaluación sensorial de granos provenientes del estado de Veracruz

Las muestras de café degustadas fueron de la misma variedad, para determinar cómo se afectan los atributos sensoriales en función del grado de tostado, la percepción sensorial ocurre en combinación con los receptores del gusto y el olfato.

La infusión del grano de café de la variedad Typica (Figura 46) con nivel de tostado severo tuvo mayor aroma de tostado (6.8), terroso (5.7), así como el menor olor a verde (2.4), mientras que para el café variedad Typica tostado ligero estos parámetros del aroma disminuyeron considerablemente, siendo la primera cualidad en percibirse, es un parámetro importante en la determinación de calidad del café, el aroma es una propiedad organoléptica que describe la impresión olfativa de sustancias volátiles (aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, etc.).

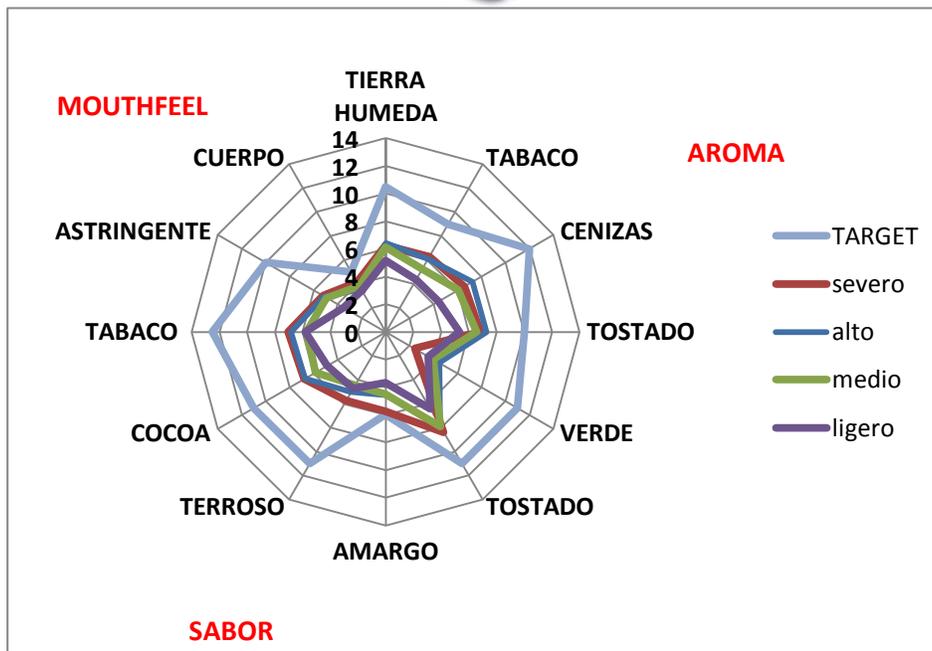


Figura 48. Análisis descriptivo cuantitativo de los granos de café de las variedades Typica con diferentes niveles de tostados procedentes del Estado de Veracruz.

En las variables de sabor como tostado y tabaco aumentaron, así como mouthfeel, sin embargo esto es indeseable en las bebidas. Esto se atribuyó al nivel de tostado de los granos.



Conclusiones





6. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- Los granos verdes Typica provenientes del estado de Veracruz tuvieron una mayor cantidad de materia grasa, pero menor contenido de fenoles y actividad antioxidante, mientras que los procedentes de Puebla presentaron menor cantidad de grasa y fenoles pero mayor capacidad antioxidante, así como menor valor en croma y luminosidad, por lo que se observó un efecto por el estado de procedencia.
- Los granos verdes presentaron una alta capacidad antioxidante, siendo las variedades Mundo Novo y Bourbon las de mayor potencial antioxidante, contenido lipídico y compuestos fenólicos, así como el mayor croma y luminosidad, pero menor humedad.
- La procedencia de granos de café con tostados medios variedad Typica presentaron un efecto en la calidad, siendo los procedentes de Puebla los que presentaron la mayor capacidad antioxidante, contenido de fenoles, grasa y humedad pero menor croma y luminosidad, pero observándose una relación directa entre la altura de siembra de los plantíos de café con el contenido de materia grasa, ya que los granos de Puebla son sembrados a 1400 msnm.
- El nivel de tostado de los granos procedentes de Veracruz presentó un efecto en la calidad del café, siendo los de altos niveles de tostado los que presentaron valores decrecientes en el contenido de fenoles totales, así como en la capacidad antioxidante. En cuanto a los parámetros sensoriales los grados de tostado severo y alto tuvieron mayor sabor y aroma a tostado y menor aroma a verde.



Recomendaciones





7. Recomendaciones

- Estudiar otras variedades de café provenientes de otros estados de la República Mexicana, Centroamérica, Colombia y Cuba.
- Determinar el perfil de fenoles presentes en las diferentes variedades de granos de café: Typica, Bourbon, Costa Rica, Novo Mundo, etc.
- Evaluar el contenido de cafeína en las diferentes variedades estudiadas en el presente trabajo.



Bibliografía





8. Bibliografía

Arellano, J., Escamilla, E., y Ruíz, O. (2008). Relación de los Nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 4: 375-384.

Arias- Balderas, M. (2012). Evaluación sensorial de productos vegetales para el control de calidad en empresas comercializadoras y productoras. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Avello, M. y Suwalsky M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea*.494:161-172.

AMCCE. (2007).. Asociación Mexicana de Cafés y Cafeterías de Especialidad A.C. Recuperado el: septiembre 17, 2011. Disponible en: <http://www.amcce.org.mx/Descargas/Boletin%208.pdf>

AOAC (1990). Official Methods of Analysis, Association of Analytical Chemistry. 15th. Arlington, USA.

Borrelli, R., Visconti, 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.

Bravo. J., M. C. (2010). Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food research International*. 50(2):60-67.

Brezová V., Slebodová, A., y Starko, A. (2008). Coffee as a source of antioxidants an EPR study. *Food Chemistry*. 114:859-868.

Colín, A. (1990). *El Cultivo del café en México*. Mexico: Programa de colaboración Técnica e Investigación aplicada para el fomento de la caficultura.

Cortijo, J. (2010). Recuperado el: Abril 24, 2012. Disponible en: <http://www.mundodelcafe.com>

Del Castillo, M. A. (2002). Effect of Roasting on the Antioxidant Activity of coffee Brews. *Agricultural and Food Chemistry*. 50: 3698-3708.



Dominguez Rojas, M. (2008). Efecto del éster fenético del ácido cafeico sobre la proliferación y apoptosis en varias líneas celulares in vitro. México: Instituto Politécnico Nacional.

Escamilla, J.T. (1997). Análisis Descriptivo Cuantitativo de Café. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Fernández, A. (1990). *Variedades e Café cultivadas en México*. Instituto Mexicano del Café.

Fotonostra. (2012). Recuperado el: Octubre 23 del 2012. Disponible en: <http://www.fotonostra.com/grafico/teoriacolor.htm>

Gotteland, M. S. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista Chilena de Nutrición*, 1-24.

Gracia, A. (2011). Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en extractos. Recuperado el: Octubre 2011. Disponible en: http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias0007/56_1UAQGarciaNava.pdf.

Hernández, A. G. (2010). *Tratado de Nutrición 2a ed. Tomo II: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. Panamericana. Madrid.

Hernández, J. C. (2011). Estructuración y evaluación de la materia grasa de recursos genéticos del café (*Coffea arabica*) usando tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Herrera, C. (2012). Desarrollo y validación de metodología para el estudio de Maduración de fruta. Reporte de servicio social. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.

López-Galilea, I. (2006). Influence of torrefactor roast on antioxidant and pro-oxidant activity of coffee. *Food Chemistry*.94: 75-80.

Monroig, M. (1994.). *El beneficio del café*. Recuperado el: Abril 24, 2012. Disponible en: www.hit-counters.com.

Morales, F. y Maj, B. (2002). Antiradical Efficiency of Millard Reaction Mixtures in a Hydrophilic. *Food Chemistry*. 10:2788-2792.

Moreno, L. (2004). *Teoría del color. Propiedades de los colores*. Recuperado el: Octubre 20 del 2012. Disponible en: <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php>



Moreno, V. (2011). Psicología del color y la forma. Recuperado en abril del 2013. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/59550992/7/La-saturacion-o-croma-se-refiere-a-la-pureza-de-un-color>.

Mundo de las flores. (2010). Recuperado el: septiembre 17 del 2011. Disponible en: <http://www.blogger.com/profile/09913986216356875868>

Minolta (2012). Comunicación precisa de los colores. Recuperado el 23 de Octubre del 2012. Disponible en: <http://www.konicaminolta.com>.

Nicoli M., Anase. M., Manzoco, L.y Lerici, C. (1997). Antioxidant Properties of coffee Brews in Relation to the Roasting Degree. *Academic Press*.30:292-297.

NMX-F-013-SCFI-2010 Café puro o tostado, em grano o molido, sin descafeinar o descafeinado-especificaciones o métodos de prueba. Norma Mexicana.

NMX-F-176-SCFI-2008. Café verde determinación de la pérdida de masa 105 °C- Método de prueba. Norma Mexicana.

NMX-F-129-SCFI-2008. Café verde-preparación de las muestras para su uso en análisis sensorial.

Pecora. (2012). Caffè di specialità. Recuperado el 11 Mayo del 2012. Disponible en: <http://www.caffepecora.com/indexES.php>

Prieto, Y. A. (2002). Caracterización física de café semitostado. Tesis de Licenciatura.: Universidad de América. Bogotá.

Protopiuk, D.(2002). Sucedáneo del café a partir de algarroba. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Valencia. España.

QuimiNet. (2012). Recuperado el 05 de Septiembre del 2012. Disponible en: <http://www.quiminet.com/principal/acerca.php>

Ramirez, B. (2012). Recuperado el 1 de Mayo del 2012. Disponible en: www.elportaldelasalud.com

Reh. (2002). Water content determination in green coffee method comparison to study specific and accuracy. *Food Chemistry*.96: 423-430.

Reyes, T.(2011). Identificación del origen geográfico y perfil de calidad de café mexicano con la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.México.



Salinas, E. (2000). Regulación y desregulación en el caso del café. *Análisis Económico*, 185-205.

Sánchez-González I., Jiménez A., Saura-Calixto F. (2005). In Vitro antioxidant activity of coffees brewed using different procedures (Italian, Express and filter). *Food Chemistry*. 90:133-139.

Sandoval N., Zulma L., Prieto O., Flavio A. (2007). Caracterización de café cereza empleando técnicas de visión artificial. Facultad Nacional de Agronomía. 60:4105-4127.

SAGARPA (2010). Escenario actual del café. Recuperado el 1 de febrero del 2012. Disponible en: <http://www.infoserca.gob.mx/fichas/ficha29-Cafe20100716.pdf>.

Solari, G. (2009). *Procesamiento del café*. Recuperado el 1 de Diciembre del 2011. Disponible en: www.solucionespracticas.org.pe

Sweet Marias's Coffee Ins. (1997). Recuperado el 1 de Diciembre del 2011. Disponible en: <http://www.sweetmarias.com/weblog/>

The coffee. (2008). Recuperado el 1 de septiembre del 2011. Disponible en: <http://www.the-coffee.com/Links.aspx>

Vignoli, J., Bassanni, M. (2009). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee. *Food Chemistry*. 124:863-868.

Vogel's. (2011). *Síntesis del ácido cinámico*. Recuperado el 1 de septiembre 2011. Disponible en: Vogel's. Textbook of Practical Organic Chemistry 5th Edition, Longman, página 1038: <http://www.ugr.es/~quiorred/doc/p12.pdf>

Wales, J. (2005). *La enciclopedia libre*. Recuperado el 1 de agosto del 2011. Disponible en: wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

Zavaleta, J., Muños, A., Blanco, T., Alvarado, C., Loja, B. (2012). Capacidad antioxidante y principales ácido fenólicos y flavonoides de algunos alimentos. Recuperado el 24 de enero de 2013. Disponible en: http://www.medicina.usmp.edu.pe/horizonte/2005_II/Art4_Vol5_N2.pdf.