

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

### EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE TOSTADO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA *coffea arábica L.* (TÍPICA, CATURRA ROJO Y BOURBON SIDRA)

#### TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

**AUTORA:**

Quito Ichán Aida Beatriz

**DIRECTOR:**

Ing. Luis Manosalvas, MSc

Ibarra – Ecuador

2021

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

## CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE TOSTADO  
SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ  
ARÁBICA *coffea arábica L.* (TÍPICA, CATURRA ROJO Y BOURBON SIDRA)

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA

Ing. Luis Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

Bioq. Valeria Olmedo, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gabriel Chimbo, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



FIRMA



FIRMA



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de educación superior, hago la entrega del presente documento a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

#### DATOS DE CONTACTO

CÉDULA DE IDENTIDAD:	100252524-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quito Ichán Aida Beatriz		
DIRECCIÓN:	Angochagua, Ibarra – Imbabura		
EMAIL:	<a href="mailto:abquitoi@utn.edu.ec">abquitoi@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	062 – 575 – 005	TELÉFONO MÓVIL:	0986995959

#### DATOS DE LA OBRA

TÍTULO:	Evaluación de los parámetros del proceso de tostado sobre la actividad antioxidante de tres variedades de café arábica <i>coffea arábica L.</i> (Típica, Caturra rojo y Bourbon sidra)
AUTOR:	Quito Ichán Aida Beatriz
FECHA:	10 de marzo del 2020

#### SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO

PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial					
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Luis Manosalvas, MSc.					

## **2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 30 de junio del 2021

**EL AUTOR:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Quito Ichán Aida Beatriz', written over two horizontal lines.

**Quito Ichán Aida Beatriz**

**C.I.: 100252524-2**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señora Quito Ichán Aida Beatriz,  
bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Manosalvas', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Luis Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

## **DEDICATORIA**

La culminación del presente trabajo de grado, dedico con mucho cariño a toda mi familia, especialmente a mis padres Oswaldo Quito, Olimpia Ichán Ing. Jesus Obando y hermana Alicia Quito, quienes me apoyaron incondicionalmente en la parte moral, económica y a la vez han sido el pilar fundamental durante mi formación académica.

A Dios por haberme guiado el camino correcto y permitirme culminar mi formación profesional

Aida Beatriz Quito Ichán

**Autor**

# AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos aquellos quienes me ayudaron a culminar mi carrera universitaria, con su apoyo incondicional y desinteresado.

A la UTN por abrirme las puertas en su casona del saber y darme la oportunidad de superarnos, a mis profesores quienes supieron guiarme por el camino correcto, a mis compañeros y amigos por su incondicional ayuda cuando los he necesitado.

En especial a la Bioquímica. Dra. Valeria Olmedo y al MSc. Gabriel Chimbo por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento, guiando paso a paso mi trabajo de grado.

En general quiero agradecer a todas y cada una de las personas que vivieron conmigo la realización de esta tesis en especial al Ing. Lenin Trujillo, con sus altos y bajos y que no necesitamos nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
I Capítulo I INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Problema .....	12
1.2 Justificación .....	13
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo general .....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	14
1.4 Hipótesis de Trabajo .....	14
1.4.1 Hipótesis nula .....	14
1.4.2 Hipótesis alternativa .....	14
II Capítulo II MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Café.....	15
2.1.1 Taxonomía del café .....	16
2.1.1.1 Flor del cultivo de café.....	16
2.1.1.2 Fruto cereza o baya del cafeto.....	17
2.1.1.3 Tamaño de las bayas de café y desarrollo fisiológico.....	17
2.1.2 Composición fisicoquímica del grano de café verde.....	18
2.1.2.1 Carbohidratos.....	19
2.1.2.2 Lípidos.....	19
2.1.2.3 Minerales.....	20

2.1.2.4	Proteína.....	20
2.1.3	Variedades del café.....	21
2.1.3.1	Café arábico.....	21
2.1.3.2	Café robusto .....	22
2.1.4	Generalidades de los genotipos en la especie Arábica .....	23
2.1.5	Beneficio del café .....	24
2.1.5.1	Procesamiento por vía húmeda. ....	25
2.1.5.2	Procesamiento por vía seca. ....	25
2.2	Producción y consumo de café .....	25
2.3	Proceso de tostado de café .....	26
2.3.1	Principales fases en el proceso del tostado de café .....	27
2.3.2	Cambios fisicoquímicos del grano de café durante el tueste.....	28
2.3.2.1	Temperatura del producto. ....	29
2.3.2.2	Desarrollo de color. ....	29
2.3.2.3	Aumento de volumen y cambios estructurales.....	31
2.3.2.4	Deshidratación.....	33
2.3.2.5	Cambios físicos: principios activos (aceite de café) en la superficie del grano de café.....	35
2.3.3	Cambios químicos durante el asado .....	36
2.3.3.1	Efectos endotérmicos y exotérmicos en el grano de café.....	36
2.3.3.2	Formación de gas. ....	37
2.3.3.3	Formación de compuestos aromáticos. ....	38
2.3.3.4	Relación acidez / amargura. ....	40
2.3.4	Parámetros considerados en el proceso del tostado.....	41
2.3.4.1	Mezclado. ....	42
2.3.4.2	Grado de tueste.....	43

2.3.4.3	Tiempo de tostado.....	44
2.3.4.4	Temperatura de tostado.....	46
2.3.4.5	Otros.....	48
2.4	Componentes bioactivos del café tostado y su beneficio.....	49
2.4.1	Capacidades antioxidantes del café.....	50
2.4.1.1	Métodos para evaluar la capacidad antioxidante.....	50
2.4.2	Contenido de fenoles en el café.....	53
2.4.2.1	Flavonoides en el café.....	53
2.4.2.2	Polifenoles en el café.....	54
2.4.3	Melanoidinas en el café.....	55
2.4.4	Compuestos Cafeicos.....	56
2.5	Características sensoriales del café.....	57
2.5.1	Gusto o Gustación.....	57
2.5.2	Olfato.....	58
2.5.3	Impresión visual.....	58
III	Capítulo III MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
3.1	Caracterización del área de estudio.....	60
3.2	Materiales y equipos.....	60
3.3	Descripción de la metodología.....	61
3.3.1	Caracterización de los componentes bioactivos del café.....	62
3.3.2	Evaluación de la actividad antioxidante sobre los parámetros del tostado....	63
3.3.2.1	Factores controlables.....	63
3.3.2.2	Variables dependientes.....	64
3.3.2.3	Síntesis del análisis de varianza.....	64
3.3.3	Caracterización proximal del café verde y tostado.....	65
3.4	Manejo específico del experimento.....	66

3.4.1	Descripción del proceso.....	67
3.4.1.1	Recepción de la materia prima .....	67
3.4.1.2	Lavado.....	67
3.4.1.3	Selección. ....	68
3.4.1.4	Despulpado.....	68
3.4.1.5	Fermentación.....	69
3.4.1.6	Secado .....	69
3.4.1.7	Tostado.....	70
3.4.1.8	Molido.....	70
3.4.1.9	Pesado.....	71
3.4.1.10	Envasado .....	71
3.4.1.11	Almacenado.....	71
IV	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
4.1	Polifenoles totales .....	72
4.2	Flavonoides totales .....	73
4.3	Contenido de ácidos clorogénicos .....	74
4.4	Efecto de los parámetros del tostado sobre la actividad antioxidante del café.....	77
4.4.1	Poder antioxidante férrico reductor (FRAP) .....	77
4.4.2	Actividad antioxidante por el radical catión <b>ABTS</b> + .....	81
4.5	Composición proximal del café verde y tostado.....	85
V	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
5.1	Conclusiones.....	89
5.2	Recomendaciones .....	90
VI	Bibliografía.....	91
VII	ANEXOS.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Cafetero de la especie Arábica “Caturra rojo.....	15
<b>Figura 2.</b> Flor del cafeto .....	17
<b>Figura 3.</b> Características morfológicas del fruto del café.....	17
<b>Figura 4.</b> Desarrollo fisiológico del fruto de café.....	18
<b>Figura 5.</b> Composición química del grano de café.....	19
<b>Figura 6.</b> Variedades de café: Coffea arábica (a) y Coffea canephora (b). Variedades de café: Coffea arábica (a) y Coffea canephora (b). .....	21
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo para el beneficio del café por vía húmeda y seca.....	24
<b>Figura 8.</b> Producción de café en Ecuador .....	26
<b>Figura 9.</b> Proceso del tueste: Fases durante el desarrollo de la operación unitaria. ....	28
<b>Figura 10.</b> Efecto de la transferencia de calor en el grano tostado de café .....	29
<b>Figura 11.</b> Micrografía de barrido del tejido del grano de café verde de una muestra química .....	32
<b>Figura 12.</b> Cambios en la estructura del grano del café explícitamente del citoplasma inducido por el tueste.....	32
<b>Figura 13.</b> Pérdidas en el tostado, materia seca y contenido de agua durante el tostado de café.....	34
<b>Figura 14.</b> Etapas iniciales del proceso de migración del aceite de café. (A) Inmediatamente después agregar calor; las superficies lisas de las células epidérmicas. (B) Después de un día de almacenamiento .....	35
<b>Figura 15.</b> Número de compuestos volátiles de los granos de café almendra y tostado. ...	38
<b>Figura 16.</b> Grupos químicos de algunas notas aromáticas del café tostado. ....	39
<b>Figura 17.</b> Variables que determinan la calidad del café.....	42
<b>Figura 18.</b> Desarrollo característico del aumento de volumen de grano en función del grado de tostado.....	44

<b>Figura 19.</b> Niveles de tueste en la almendra de café. ....	45
<b>Figura 20.</b> Ejemplos de curvas de temperatura de tiempo no tradicionales .....	47
<b>Figura 21.</b> Acción del polifenol del café metabolizado como ácido cafeico y ferúlico .....	55
<b>Figura 22.</b> Ilustración esquemática del sistema olfativo .....	58
<b>Figura 23.</b> Diagrama del proceso del café tostado molido .....	66
<b>Figura 24.</b> Variedades de café: A) Típica, B) Bourbon Sidra y C) Caturra rojo.....	67
<b>Figura 25.</b> Cosecha del café A) Selección, B) y C) almacenamiento.....	67
<b>Figura 26.</b> Lavado de los granos de café .....	68
<b>Figura 27.</b> Despulpado del cerezo del café por acción mecánica.....	68
<b>Figura 28.</b> Proceso de fermentación del café.....	69
<b>Figura 29.</b> Secadores solares empleados en el secado del café .....	69
<b>Figura 30.</b> Tostado del café: A) Ingreso de café y B) Proceso terminado.....	70
<b>Figura 31.</b> Molienda de los granos tostados del café.....	70
<b>Figura 32.</b> Resultados analitos del espectro muestral del café .....	71
<b>Figura 33.</b> Almacenamiento y etiquetado del producto fina .....	71
<b>Figura 34.</b> Poder antioxidante férrico reductor (FRAP) en granos de café tostado .....	78
<b>Figura 35.</b> Interacción del factor A y C sobre la actividad antioxidante <i>FRAP</i> .....	80
<b>Figura 36.</b> Interacción del Factor B (temperatura de tueste) y C (tiempo de tosti3n) sobre la actividad antioxidante <i>FRAP</i> .....	81
<b>Figura 37.</b> Actividad antioxidante por el radical cati3n (ABTS) en granos de café tostado .....	82
<b>Figura 38.</b> Interacción del Factor A (variedades de café) y B (temperatura de tosti3n) sobre la actividad antioxidante <i>ABTS</i> .....	84
<b>Figura 39.</b> Interacción del Factor B (temperatura de tosti3n) y C (tiempo de tueste) sobre la actividad antioxidante <i>ABTS</i> .....	85
<b>Figura 40.</b> Curva de calibraci3n en la cuantificaci3n de polifenoles totales .....	110
<b>Figura 41.</b> Curva de calibraci3n en la cuantificaci3n de flavonoides totales .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación Taxonómica del Café</i> .....	16
<b>Tabla 2</b> <i>Características de las variedades (arábica) en estudio</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Promedios de la composición química del grano de café</i> .....	24
<b>Tabla 4</b> <i>Desarrollo del color según la escala gourmet</i> .....	30
<b>Tabla 5</b> <i>Sabores de algunos de los ácidos</i> .....	40
<b>Tabla 6</b> <i>Condiciones del gado de tostado en relación con el tiempo de estadía en el tueste del café</i> .....	46
<b>Tabla 7</b> <i>Cambios en el grano de café por efecto de la temperatura en el tueste</i> .....	47
<b>Tabla 8</b> <i>Cambios en la composición química de los granos verdes durante el tostado</i> ....	49
<b>Tabla 9</b> <i>Métodos analíticos de evaluación de la capacidad antioxidante</i> .....	51
<b>Tabla 10</b> <i>Contenido de ácidos en granos de café verde, % base seca</i> .....	56
<b>Tabla 11</b> <i>Condiciones Climatológicas de la Ciudad de Ibarra y Quito</i> .....	60
<b>Tabla 12</b> <i>Materias, instrumentos y equipos empleados en la investigación</i> .....	61
<b>Tabla 13</b> <i>Tratamientos</i> .....	64
<b>Tabla 14</b> <i>Extracto del análisis de varianza (ADEVA)</i> .....	64
<b>Tabla 15</b> <i>Métodos empleados en la cuantificación del análisis proximal</i> .....	65
<b>Tabla 16</b> <i>Contenido de polifenoles totales en muestras de café verde y tostado</i> .....	72
<b>Tabla 17</b> <i>Contenido de flavonoides totales (mg/g) en muestras de café verde y tostado</i> ..	73
<b>Tabla 18</b> <i>Promedio de los contenidos de ácidos clorogénicos en café verde y tostado de la especie C. arábica, según la variedad y las condiciones de operatividad (Tiempo y temperatura de tostado)</i> .....	75
<b>Tabla 19</b> <i>Análisis de varianza para la actividad antioxidante FRAP del café tostado</i> .....	78
<b>Tabla 20</b> <i>Análisis de varianza para la actividad antioxidante ABTS del café tostado</i> .....	82

<b>Tabla 21</b> <i>Análisis proximal del café verde y tostado</i> .....	86
<b>Tabla 22</b> <i>Curva de calibración bajo la solución de trabajo Trolox</i> .....	115
<b>Tabla 23</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para la actividad antioxidante de las muestras de café tostado por el método FRAP</i> .....	122
<b>Tabla 24</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para la actividad antioxidante ABTS</i> .....	122
<b>Tabla 25</b> <i>Análisis de varianza para el contenido de polifenoles totales</i> .....	123
<b>Tabla 26</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el contenido de polifenoles totales</i> .....	123
<b>Tabla 27</b> <i>Análisis de varianza para el contenido de flavonoides totales</i> .....	124
<b>Tabla 28</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el contenido de flavonoides totales</i> .....	124
<b>Tabla 29</b> <i>Análisis de varianza para el ácido clorogénico</i> .....	125
<b>Tabla 30</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el ácido clorogénico</i> .....	125
<b>Tabla 31</b> <i>Análisis de varianza para el ácido cafeico</i> .....	126
<b>Tabla 32</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el ácido cafeico</i> .....	126
<b>Tabla 33</b> <i>Análisis de varianza para el ácido sirínigico</i> .....	127
<b>Tabla 34</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el ácido sirínigico</i> .....	127
<b>Tabla 35</b> <i>Análisis de varianza para el ácido ferúlico</i> .....	128
<b>Tabla 36</b> <i>Prueba de Tukey al 95% para el ácido ferúlico</i> .....	128

# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Análisis proximal para el café (verde y tostado): típica, bourbon sidra y caturra rojo.....	106
<b>Anexo 2.</b> Procedimientos empleados en la determinación de los componentes bioactivos del café.....	108
<b>Anexo 3.</b> Protocolos de laboratorio empleados para la evaluación de la capacidad antioxidante del café bajo los métodos ABTS y FRAP .....	113
<b>Anexo 4.</b> Resultados del análisis de laboratorio.....	118
<b>Anexo 5.</b> Resultado estadístico por la prueba tukey para la capacidad antioxidante FRAP y ABTS .....	122
<b>Anexo 6.</b> Resultado estadístico para el contenido de polifenoles totales .....	123
<b>Anexo 7.</b> Resultado estadístico para el contenido de flavonoides totales .....	124
<b>Anexo 8.</b> Resultado estadístico para el contenido de ácidos clorogénicos .....	125

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación se encaminó al estudio de los efectos que ocurrieren durante el proceso de tostado: tiempo – temperatura (190 – 220 °C y 12 – 18 min) sobre la actividad antioxidante (AA), compuestos bioactivos y análisis proximal de tres especies de café *arábica*. Los resultados mostraron que el contenido de compuestos bioactivos: polifenoles, flavonoides totales y el porcentaje de ácidos clorogénicos de los granos de café verde de todos los tratamientos fueron mayores en comparación con los granos de café tostados, con la diferencia de algunos CGA que aumentaron su contenido por acción del tratamiento térmico. Los granos de café ligeramente tostados (190°C – 12 min) mostraron la mayor AA; sin embargo, se observó una pérdida de aproximadamente 30 - 50% de antioxidantes después de un tostado adicional. Se identificó que los factores de estudio tenían un efecto significativo sobre la AA, lo que sugiere que la formación de productos de reacción de Maillard y la liberación de polifenoles unidos de las células vegetales mejora la capacidad antioxidante, sin olvidar, que las condiciones del cultivo, origen y funciones fisiológicas condicionan al proceso. Los resultados mostraron que el café Caturra rojo registró menor contenido de cenizas, fibra, humedad y más proteínas que sus congéneres (Típica y Bourbon sidra), a diferencia de C. Típica que mostró mayores contenidos de aceite que los de Bourbon sidra y Caturra rojo, algo similar se evidenció con Bourbon sidra con respecto al contenido de humedad, el cual fue más alto que las otras variedades. En general, el contenido proximal fue más alto en grano verde que en tostado, presentando una disminución significativa tras aplicar el tratamiento térmico.

**Palabras claves:** café, compuestos bioactivos, actividad antioxidante, análisis proximal, tostado del café.

## ABSTRACT

The objective of this research was directed to the study of the effects that occur during the roasting process: time - temperature (190 - 220 ° C and 12 - 18 min) on antioxidant activity (AA), bioactive compounds and proximal analysis of three species of Arabica coffee. The results showed that the content of bioactive compounds: polyphenols, total flavonoids and the percentage of chromogenic acids of green coffee beans of all treatments were higher compared to roasted coffee beans, with the difference of some AGCs that increased their content by action of heat treatment. Lightly roasted coffee beans (190 °C - 12 min) showed the highest AA; however, a loss of approximately 30-50% of antioxidants was observed after additional roasting. The study factors were found to have a significant effect on AA, suggesting that the formation of Maillard reaction products and the release of bound polyphenols from plant cells improves antioxidant capacity, not forgetting that culture conditions, origin and physiological functions condition the process. The results showed that the red Caturra coffee registered lower content of ash, fiber, moisture and more proteins than its congeners (Typica and Bourbon cider), unlike C. Typica that showed higher oil contents than those of Bourbon cider and Red Caturra. Something similar was evidenced with Bourbon cider with respect to moisture content, which was higher than the other varieties. In general, the proximal content was higher in green grain than in roasted, presenting a significant decrease after applying the heat treatment.

**Key words:** coffee, bioactive compounds, antioxidant activity, proximal analysis, coffee roasting.

# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema

La caficultura se considera una de las actividades más importantes en la economía mundial; pues contribuye en los ámbitos: económicos, sociales, ambientales, institucionales y de salud humana de cualquier país (Ponce et al., 2018). En Ecuador, la situación es totalmente diferente pues año tras año la problemática con este cultivo aumenta, algunas veces por los diferentes ecosistemas y otras por la forma en la que se produce y comercializa.

La baja producción y precios internacionales han desembocado en la problemática que hoy por hoy resisten los caficultores ecuatorianos, cuyas causas principales yacen en los escasos incentivos, la limitada asistencia técnica, el desconocimiento metodológico en la manufactura, la fluctuación del coste interno y el poco interés productivo suscitado por la versatilidad del mercado.

Sin embargo, para la comercialización del café como bebida, el grano es sometido a un proceso de tostado, donde éste adquiere las características organolépticas que hacen de esta bebida una de las más consumidas a nivel mundial. Es por ello, que la investigación de nuevos procesos que minimicen los problemas asociados a la cadena productiva del café es de suma importancia hoy en día. Si bien se ha identificado los problemas que enfrentan los caficultores ecuatorianos en general; el desconocimiento metodológico en la manufactura es considerado el más importante para la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas”, esto claramente determinado por las preferencias del consumidor a productos con valor agregado.

Es así, que dentro de la producción cafetera existen varios factores que intervienen directamente en la calidad de este, y se consideran de mayor influencia en la adición de valor agregado (expresamente dentro de la operación del tueste), por consiguiente, identificar la iteración de estos elementos (parámetros) dentro del proceso productivo del café es de suma importancia (en todas sus etapas), debido a la dependencia de la calidad del producto.

## 1.2 Justificación

Los constantes avances tecnológicos y las tendencias actuales, condicionan cada vez más al mercado de productos alimentarios que cada día se preocupa más por alimentos que proporcionen beneficios a la salud. En este sentido, es bien sabido que el café tiene características (compuestos bioactivos y actividad antioxidante) que contribuyen a prevenir enfermedades degenerativas (Pilipczuk et al., 2015), por lo que, indagar en cuales son los parámetros adecuados para conseguir estas cualidades se vuelve un reto a la hora de producirlos.

Por otro lado, se conoce que el mercado es muy versátil, por lo que se requiere ser muy competitivo en todos los aspectos (calidad, precio, etc.). Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo dar a conocer a los caficultores de la organización “Bosque Nublado Golondrinas” la importancia que tienen el proceso de tostado en las variedades de cultivo de *Coffea arábica L.* y en la conservación de características diferenciadores (mayor actividad antioxidante y compuestos bioactivos), pues son la herramienta con la cual estos podrían generar nuevas estrategias de negocio y abrir mercados internacionales.

Todo esto lleva a sintetizar la importancia del estudio pues, contribuirá a los caficultores ecuatorianos de la organización “Bosque Nublado Golondrinas” con tiempos y temperaturas para el proceso de tostado que favorecen a mejorar las características de sus productos, lo cual les ayudará a ser más competitivos en mercados nacionales e internacionales. Contribuyendo de esta manera a mejorar la demanda de productos cafeteros, dinamizar la economía rural y evitando la migración campesina

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de los parámetros del proceso de tostado sobre la actividad antioxidante en las variedades de café arábica *Coffea arábica L.* (Típica, Caturra rojo y Bourbon sidra).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes bioactivos responsables de la actividad antioxidante en el café, antes y después del tostado.
- Evaluar el efecto de los parámetros del tostado sobre la actividad antioxidante.
- Determinar la composición proximal en el café verde y tostado en las variedades de café *arábica L.* (Típica, Caturra rojo y Bourbon Sidra.)

## 1.4 Hipótesis de Trabajo

### 1.4.1 Hipótesis nula

**H<sub>0</sub>** = Los parámetros del proceso de tostado “tiempo y temperatura” no influyen sobre las características organolépticas y el contenido de la actividad antioxidante en las variedades de café arábica.

### 1.4.2 Hipótesis alternativa

**H<sub>a</sub>** = Los parámetros del proceso de tostado “tiempo y temperatura” influyen sobre las características organolépticas y el contenido de la actividad antioxidante en las variedades de café arábica.

## Capítulo II

# MARCO TEÓRICO

### 2.1 Café

El café es considerado uno de los productos alimenticios más importantes en la economía mundial. Ecuador posee una gran capacidad como productor y comerciante de este cultivo por la generación de divisas e ingresos que implica su exportación. Es uno de los pocos países en el mundo que distribuye todas las variedades de café. Contando con dos especies que tienen la mayor importancia comercial para el sector Agroindustrial: *Coffea arábica* y *Coffea canephora* (Monteros, 2017).

Por otro lado, en Ecuador, el café se produce en 20 de las 24 provincias, esto debido a su ubicación geográfica (ESPAC, 2017). Sin embargo, de acuerdo con Espinoza (2016), el rendimiento puede variar dependiendo de cada variedad (*C. arábica*: 63% y *C. robusta*: 47%) y periodo de productividad (Monteros, 2016; Monteros, 2017). En la figura 1 podemos observar los frutos del cafeto (también denominadas bayas) de la especie *Coffea arábica* (Caturra rojo), además de su estado de madurez.



**Figura 1.** Cafetero de la especie Arábica “Caturra rojo

No obstante, los especialistas en el café aseveran que para tener una buena taza de café los cultivos dependerán de ciertos factores como: los climáticos y las variables de operación aplicadas en procesos tales como los parámetros de beneficio, fermentación y tostado, así como el origen, la variedad y la composición del café procesado. “Expresado en términos más simples, el éxito del cultivo del café depende de la cantidad y la calidad de su crecimiento” (Pulgarín, 2007).

### 2.1.1 Taxonomía del café

El cafetero denominado “café” pertenece de acuerdo con su taxonomía al género *Coffea*, de la familia de las *Rubiaceas*, a continuación, en la tabla 1 se describe la clasificación para este cultivo de acuerdo con el criterio de Pozo (2015):

**Tabla 1**

*Clasificación Taxonómica del Café*

Taxonomia	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Orden	<i>Rubiales</i>
Familia	<i>Rubiaceae</i>
Género	<i>Coffea</i>

Fuente: Pozo (2015)

En cuanto a su morfología, su altura bordea los 3 – 12 m, aunque para su desarrollo se adopta la forma de arbusto en un tamaño promedio de 2 – 2.5 m (Pérez, 2016; Botanical, 2017). Para Mastrocola *et al* (2013), el ciclo de vida de un cafetal comprende tres grandes periodos: El crecimiento, que inicia con la germinación y termina en la edad de cuatro a siete años de edad aproximadamente, producción: que se establece a partir de los 15 – 25 años o más, y por último, la decadencia fisiológica, que termina en la muerte de la planta.

#### 2.1.1.1 Flor del cultivo de café.

Para Belitz *et al* (2009), la floración del cafetero inicia a la edad de 3 – 4 años, donde se puede observar la aparición de pequeñas flores blancas, que marca el paso al fruto, tan crucial es este punto que al florecer este cultivo la vida útil es apenas de 72 horas. En la figura 2 se muestra la inflorescencia del cultivo de café, según Mastrocola *et al* (2013), su formación puede durar de 4 – 5 meses, donde presenta las siguientes etapas: iniciación floral, un periodo corto de latencia, crecimiento del botón floral y apertura de las yemas.

En cuanto a sus hojas son perennes, duras y lanceoladas, y dependiendo la variedad el tono de color varía de un verde amarillento a un verde oscuro, manteniendo un color brillante todo el año.

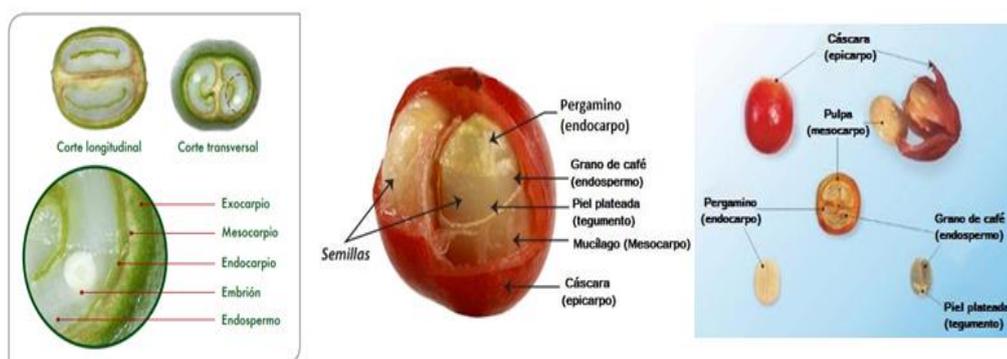


**Figura 2.** Flor del cafeto

### 2.1.1.2 *Fruto cereza o baya del cafeto.*

Para Pulgarín (2013) el fruto del café es una drupa de mesocarpo carnoso, fibroso que está rodeado por un epicarpio de color verde variando a rojo u amarillo, por la aparición de sustancias como la clorofila y antocianinas. Estas tonalidades presentes respectivamente sobre la epidermis del grano indican directamente el estado de madurez, misma que inicia desde la floración hasta el momento de su maduración. Para lo cual transcurre cerca de 32 semanas aproximadamente, pasando a través de diferentes estados de madurez fisiológica.

En cuanto a su estructura la figura 3 muestra como está formado el mismo, en la cual se puede ver claramente la piel, pulpa, pergamino, mucílago, película plateada, grano o semilla y embrión.



**Figura 3.** Características morfológicas del fruto del café

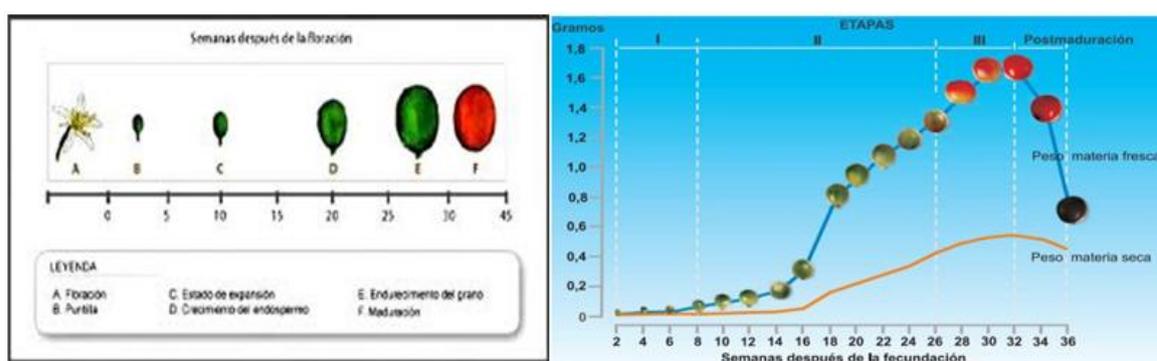
Fuente: Flórez et al. (2013), Ramos et al. (2010) y Arcila et al. (2007).

### 2.1.1.3 *Tamaño de las bayas de café y desarrollo fisiológico.*

En cuanto a lo referente al tamaño del café, Mastrocola et al. (2013) señalan que esta característica varía entre los 3 y 8 mm de longitud, que dependerá de varios factores extrínsecos de la planta como la fertilidad del suelo, el grado de madurez y variedad

(Duicela, *et al* 2015). Por otro lado, para Batista, *et al* (2015), esta particularidad es crucial dentro de este distintivo, ya que se encuentra el genotipo; como factor determinante de la forma y el tamaño del grano, la cual condicionará todas las cualidades de un buen café.

Por otro lado, según Flórez, *et al* (2013) este parámetro está ligado directamente al desarrollo fisiológico del fruto, los mismo autores describen a este fenómeno en tres fases, el cual describe la transformación que atraviesa el grano del café, iniciando desde la floración, atravesando por un incremento y pérdida de peso, de tal forma que se producen cambios en su apariencia tanto internamente como externa, para que finalmente la variación del color muestre la madurez fisiológica del mismo, tal y como se indica en la Figura 4.



**Figura 4.** Desarrollo fisiológico del fruto de café

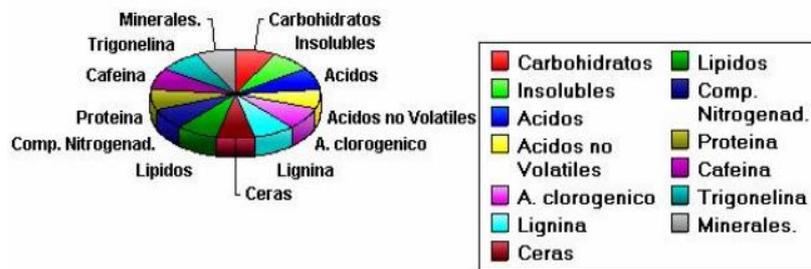
Fuente: Cuya (2013) y Sanz et al. (2011)

## 2.1.2 Composición fisicoquímica del grano de café verde

Sobre la base de lo antes planteado y de acuerdo con Pérez *et al.* (2014), un grano de café contiene normalmente un 30% de azúcares, 34% celulosa, 11% proteínas, 6 – 13% agua y un 12 – 15% materia seca aproximadamente. Sin olvidar el perfil de ácidos hidroxycinámicos y alcaloides, además de sus destacados minerales (K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn). Sin embargo, en algunos casos se han detectado compuestos exógenos como restos de pesticidas, micotoxinas y hasta en casos extremos benzopireno.

Los componentes también pueden tener varias características, tal como se muestra en la Figura 5, lo que demuestra la complejidad de la composición del café verde. No obstante, de este conjunto de componentes del café verde, los principales precursores del sabor son azúcares, proteínas, aminoácidos libres, trigonelina y ácidos clorogénicos (CGA) (Folmer, 2017).

## SUSTANCIAS EN UN GRANO DE CAFÉ



**Figura 5.** Composición química del grano de café

Fuente: Riaño (2017)

### 2.1.2.1 Carbohidratos.

De acuerdo con Wei et al., (2015) los carbohidratos representan alrededor del 40 al 65% de la base seca del café verde, que consiste en carbohidratos solubles e insolubles, de estos los polímeros de arabinosa, galactosa, glucosa y manosa constituyen tanto los polisacáridos solubles como la fracción insoluble, que forman la estructura de las paredes celulares junto con proteínas y CGA. La celulosa, el galactomanano y el arabinogalactano representan alrededor del 45% del peso y el disacárido soluble sacarosa representa el resto.

Dentro del proceso del tostado, resulta importante considerar dicho elemento, puesto que, la fracción soluble del café verde es la reserva de precursores más importante en la formación del aroma, el sabor y color del café (Farah, 2012), dichos precursores están fácilmente disponibles para múltiples reacciones (Maillard, pirolisis, etc.). Demostrándose por su rápido consumo en la etapa inicial del tostado, intrincadamente en el color por la caramelización de la sacarosa (Puerta, 2011).

Sin embargo, los polisacáridos no parecen contribuir específicamente a la formación de aromas durante el tostado, pero imparten propiedades organolépticas relevantes de la infusión de café, tales como viscosidad y sensación en la boca (Redgwell et al. 2002). Producto de la formación de compuesto de alto valor agregado.

### 2.1.2.2 Lípidos.

Los granos de café contienen lípidos que constituyen en promedio entre 7 y 17% del total de la composición del grano. En la especie arábica la grasa oscila entre 15 al 18% y del 8 al 12% en Robusta (Speer et al. 2006). De acuerdo con Speer et al. (2006) la fracción lipídica se compone de cera de café que recubre el grano y los triglicéridos. El ácido linoleico (40-

45%) y el ácido palmítico (25-35%) son los principales ácidos grasos. Además, los diterpenos y esteroides en forma libre y esterificada que forman parte de la fracción lipídica total.

Durante el tostado, los lípidos pueden formar aldehídos a través de la degradación térmica, que pueden reaccionar aún más con otros componentes del café. De ahí que, el aceite de café extraído de los granos tostados se utiliza principalmente para dar sabor al café instantáneo y evitar que los gránulos se fragmenten (Lucon et al. 2011).

Algunos autores señalan la importancia de las variedades con mayor contenido de aceite que se pueden utilizar para producir aceite de café, el cual es un aditivo muy valorado que se utiliza para preservar el sabor y el sabor de cafés de calidad mejorada (Oliveira et al. 2006).

### **2.1.2.3 *Minerales.***

De acuerdo con Mariano (2019) los elementos minerales son componentes naturales de los granos de café como resultado de la incorporación biológica durante la formación del fruto en la planta de café en desarrollo, principalmente como nutrientes esenciales (P, K, Mg, S, Ca, Fe, Zn, Cu, B) pero también como contaminantes no esenciales y tóxicos (Pb, Cd, Al, Sb).

La composición mineral de los granos de café verde refleja la fuente botánica (especie, cultivo) y las condiciones ambientales de crecimiento (ubicación geográfica, tipo y composición química del suelo, prácticas agronómicas) (Sunarharum et al. 2019). Además, del efecto que producen estas en la composición mineral de los granos de café verde.

Finalmente, las diferentes formas de preparación de la infusión de café inciden en el contenido mineral final de la bebida. De hecho, la determinación de la composición mineral del café verde y los productos del café con métodos analíticos elementales adecuados y técnicas de extracción de datos se ha utilizado para la autenticación y discriminación del origen geográfico de las muestras de café, y para la detección y discriminación de diferentes especies y contaminantes en el café (Mariano, 2019).

### **2.1.2.4 *Proteína.***

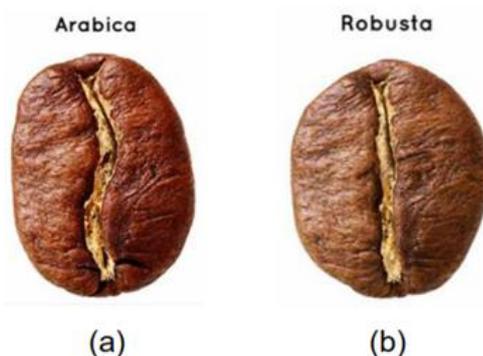
Los compuestos Nitrogenados, principalmente reconocidos por las proteínas, representan alrededor del 11 al 15% de la materia seca del café (Poisson et al. 2017). De acuerdo con Farah (2012) las proteínas están unidas a los polisacáridos, los mismos que son responsables de ser precursores de algunos compuestos volátiles y de valor agregado, como: la actividad

antioxidante y color en el grano de café. De ahí que, en los granos verdes se presenta en mayor proporción que en los granos tostados.

De acuerdo con los investigadores las proteínas cumplen un papel fundamental dentro del tostado del café, puesto que constituye alrededor del 9 y 13% de la composición química total de las diferentes variedades de café (Puerta, 2011). Ya que, no es sino por medio de estas (junto con otros compuestos) que se generan varias reacciones químicas, que por efecto mejoran las características del café en taza. Sin embargo, al igual que todos los compuestos depende del origen y condiciones de cultivo como se explicó anteriormente.

### 2.1.3 Variedades del café

Las variedades de café más conocidas en el mundo y Ecuador son la Arábica y Robusta, de las cuales se derivan los distintos genotipos o subespecies, para ambos géneros (Figura 6).



**Figura 6.** Variedades de café: *Coffea arábica* (a) y *Coffea canephora* (b). Variedades de café: *Coffea arábica* (a) y *Coffea canephora* (b).

Fuente: Herrera y Lambot (2017)

Por otro lado, las características entre estas son diversas, como el fruto, la calidad, arom a, crecimiento fisiológico, etc. A continuación, se describe cada una:

#### 2.1.3.1 *Café arábico*

*C. arábica* es una especie autógama, es decir, se autopoliniza, este cultivo se caracteriza por ser un arbusto pequeño a comparación de robusta, puede alcanzar los 5 m de altura, en cuanto a sus hojas son ovaladas y de color verde oscuro brillante, por su parte la floración se produce después del período de lluvias y sus flores son blancas y de aroma dulce, produciendo frutos verdes y ovalados, alcanza su estado de madurez cuando este se vuelve rojo, dicho periodo se estima que rodea los 7 a 9 meses (Dos Santos et al. 2019).

Sin embargo, el rendimiento promedio nacional de café Arábigo para el año 2017 fue de 0.23 t/ha. La provincia de Carchi fue la zona productora de mayor rendimiento (0.93 t/ha); mientras que, Cotopaxi fue la de menor productividad (0.02 t/ha) (Monteros, 2017). Sus variedades más conocidas son: Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Colombia, que se cultivan en zonas húmedas y altas entre 600 y 1.200 m. s. n. m (Velásquez, 2019).

En cuanto a las características productivas a nivel nacional de café Arábigo se resumen en lo expuesto por Monteros (2017) el cual señala que: El mes de mayor cosecha para esta especie es en julio, las variedades más utilizadas por el agricultor son Caturra (25 %), Catucaí (19 %) y Sarchimor (18 %). Mientras que la densidad de siembra es de 3.097 plantas por hectárea. Sin embargo, una planta de café Arábigo posee en promedio 1.32 ejes productivos y 20.5 ramas productivas frutos.

El investigador además considera que el 71% de productores siembran material certificado, el 37% de los agricultores mecaniza el control de malezas y el 47% de los agricultores fertiliza su cultivo de este último el promedio en elemento puro que se emplea es 0.57 qq/ha de nitrógeno, 0.62 qq/ha óxido de fósforo y 0.35 qq/ha de potasio. Sin embargo, el principal problema reportado por los agricultores son las plagas y enfermedades. Los productores declaran a la roya es la plaga que afecta de mayor manera el rendimiento.

Por otro lado, en cuanto a las propiedades de la bebida, son muy aromáticos, profundos y penetrantes, de un color claro, cuerpo leve, sabor ácido y un contenido bajo en cafeína (Rojo, 2014).

### **2.1.3.2 *Café robusto***

Robusta es un árbol robusto caracterizada por poseer una raíz poco profunda, puede alcanzar los 10 m de altura y su fruto es redondeado, en cuanto a su estado fisiológico de madurez oscila entre los 9-11 meses aproximadamente, por su parte la semilla es alargada, mientras que las hojas suelen ser más grandes, se lo cultiva 1000 m.s.n.m. y se caracteriza por ser resistente a numerosas plagas y enfermedades (Velásquez, 2019; Rojo, 2014). En cuanto a su rendimiento a nivel nacional Monteros (2017) señala que es de 0.49 t/ha. Por otro lado, Monteros argumenta que las características productivas de café Robusta se resumen en:

- Los meses de mayor cosecha en Ecuador son julio y junio.
- Las variedades más empleadas son Conilón (29 %) y Napo Payamino (29 %).
- La densidad de siembra es de 1.265 plantas por hectárea.

- El 61% de los productores utiliza material de siembra no certificado y solo el 52% mecaniza el control de maleza.
- La fertilización promedio que se emplea es 0.10, 0.12, y 0.08 qq/ha de N, P y K respectivamente.
- El principal problema reportado por los agricultores son las plagas y enfermedades, donde el Mal de la hilacha (provocada por el hongo *Pellicularia koleroga*) es la plaga que afecta en mayor manera el rendimiento.

Por otro lado, su bebida es fuerte en comparación a la especie arábica, de gran cuerpo, caracterizada por su color oscuro y de fuerte sabor con un punto amargo que se pega al paladar. Esto y su mayor contenido en cafeína (2 – 4 %) provocan que su consumo se realice mayoritariamente en forma de mezcla (Rojo, 2014).

#### 2.1.4 Generalidades de los genotipos en la especie Arábica

Si bien el estudio del café en esta última década ha ido en aumento, la especie arábica ha sido sin duda alguna la de mayor interés, es así el impacto que ha generado esta variedad que estudios como el propuesto por Dos Santos *et al*, (2019) identificando la capacidad antioxidante, o el planteado por Méndez, *et al*, (2019), evaluando el efecto del “tostado”, son de suma importancia dentro del análisis, es así que la Tabla 2 muestra las características de algunas de los genotipos derivadas de arábica dentro de la presente investigación:

**Tabla 2**

*Características de las variedades (arábica) en estudio*

VARIETADES	CARACTERÍSTICAS
Arábica típica	Variedad muy conocida como criollo o arábigo, se caracteriza por un arbusto de porte alto, granos grandes, sus hojas nuevas son de color bronceado y un café de muy buena calidad.
Arábica Bourbon cidra	De origen en las islas Bourbon, plantas de porte mediano, ramas con entre nudos largos, es más precoz y productivo que el Típica.
Arábica Caturra	Junto con Pacas y Villa Sarchi, estas 3 variedades tienen su origen en las mutaciones naturales del Bourbon. Específicamente la variedad Caturra es de origen brasileño, su porte es bajo, entre nudos cortos y excelente productividad.

Fuente: Calle (2012).

Por otro lado, investigadores como Herrera y Lambot (2017), muestran la importancia de esta variedad a lo largo de su estudio e ilustra la calidad, la variación genética, su productividad, características y más; por la que ha pasado esta especie. Sin embargo,

enfatan la importancia de la modificación biología contra las plagas y enfermedades, como punto crucial en las cualidades finales de un buen café.

En cuanto a la composición química Puerta, (2011), menciona que los granos de café de las variedades de *Coffea arábica L.* contienen una mayor cantidad de lípidos y sacarosa que *Coffea canephora*, mientras que para Robusta se destaca la gran presencia de polisacáridos, cafeína, ácidos clorogénicos y cenizas (Tabla 3).

**Tabla 3**

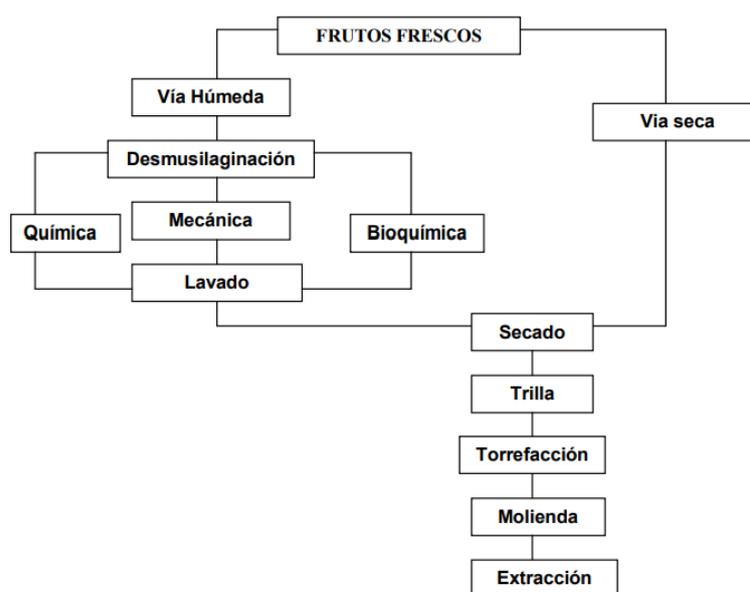
*Promedios de la composición química del grano de café*

Variedad de café	Fibra (%)	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Cafeína (%)	Ácidos clorogénicos (%)	Cenizas (%)
Borbón	21.75	15.27	13.9	1.15	7.37	3.78
Caturra	18.85	13.98	14.79	1.13	6.97	3.39
Típica	18.71	13.99	14.5	1.2	6.66	3.43
Robusta	15.53	11.42	15.66	2.1	8.08	3.96

Fuente: Puerta (2011)

### 2.1.5 Beneficio del café

De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2017) se entiende por benéfico del café al proceso que consiste en retirar de las cerezas de café ya maduras las capas exteriores que rodean al grano y solo dejar el grano del cafeto en pergamino seco, esta técnica se la suele realizar por vía húmeda o seca (Figura 7).



**Figura 7.** Diagrama de flujo para el beneficio del café por vía húmeda y seca

Fuente: Riaño (2017)

### **2.1.5.1 *Procesamiento por vía húmeda.***

Para Riaño (2017), todo proceso tiene un inicio y el de vía húmeda se caracteriza por la recolección cuidadosa de los frutos, continua con la selección, fijándose en el tamaño y grado de madurez, lo cual, asegura que las cerezas recolectadas cumplan con las condiciones adecuadas para los siguientes procesos.

Luego se pasa a un lavado preliminar en el cual se pueden separar por flotación algunas cerezas de menor calidad, así como materiales extraños. Las cerezas ya clasificadas son sometidas al despulpado; en donde se remueve mecánicamente el exocarpio y en cuanto sea posible el mesocarpio (Puerta, 2013).

La siguiente etapa es la fermentación, en donde se elimina el mucílago por acción enzimática (Puerta, 2013). Este proceso demora cerca de 72 horas, pero puede ser acelerado con la adicción de preparados enzimáticos. Este método fermentativo de acuerdo con Aguilar-Rivera (2014) se completa cuando los granos dejan de deslizarse fácilmente entre los dedos dejando una sensación áspera, no es sino hasta ese punto donde los granos están listos para la etapa de secado y demás procesos.

### **2.1.5.2 *Procesamiento por vía seca.***

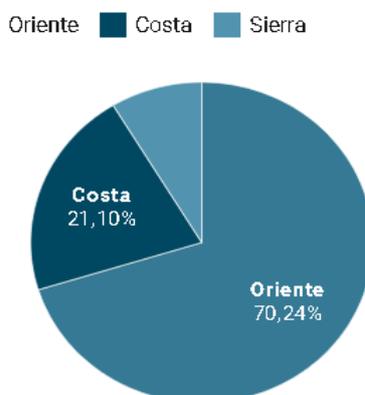
Según Riaño (2017), este procesamiento es más directo y de menor impacto económico que el anterior, esto debido a que generalmente la recolección del café se realiza desprendiendo el racimo completo en vez de seleccionar individualmente los granos, lo cual lo diferencia al de vía húmeda.

A diferencia del otro, el de vía seca inicia en el cual hojas, ramas, granos inmaduros, granos deteriorados; materiales no deseados, son llevados a patios de concreto para ser secados al sol; formando capas de 5 centímetros de espesor, las cuales son removidas y giradas varias veces al día para hacer eficiente el secado y que generalmente toma entre tres y cuatro semanas reducir el contenido de la humedad del grano hasta el 12 %, quedando el grano listo para las siguientes etapas (Gómez, 2010).

## **2.2 Producción y consumo de café**

La dinámica de la producción de café en Ecuador en estos últimos años se caracteriza por una alta inestabilidad, ya que, si bien las exportaciones han incrementado en periodos anteriores para algunos productos, el caso del café es la excepción, tanto así que las ventas de café hacia mercados internacionales se han reducido en un 91 % desde el 2011 (Cobos,

2019), lo que ha generado que cada año se destinen menos áreas de producción de este cultivo y produzca una merma competitiva dentro de las exportaciones.



**Figura 8.** Producción de café en Ecuador

Fuente: Cobos (2019)

Sin embargo, a pesar de las cifras alarmantes expuestas en el artículo descrito por Cobos (2019), ANECAFE (2019) expresan lo contrario, si bien existe una disminución desde el año 2011 al 2018, la tendencia en este último ha sido considerable en parte, tras la caída abrumante de este bien. Por otro lado, si bien se conoce que la variedad arábica es la que más se comercializa en el mercado ecuatoriano, la figura 8 muestra la situación productiva del café en cada región.

Por su parte, Rojo (2014), asegura que en los últimos 50 años ha habido un crecimiento constante en la producción nacional intercalada por descensos periódicos. En cuanto a su manejo se estima que el 15 % de los caficultores operan de manera tecnificada con altos rendimientos productivos, mientras el 85 % lo realiza de forma artesanal o tradicional, con bajos rendimientos por su operación (ANECAFE, 2019).

En cuanto al consumo, Ecuador posee una tasa baja per cápita en cuanto al café, a pesar de que este crece a un ritmo lento (media libra o libra por año), según un estudio realizado por Sepúlveda *et al*, (2016), los hábitos de consumir café oscilan en un 68.1%, lo que demuestra que cada ecuatoriano consume 135 tazas o 0.67 kg/per cápita (de café) (Pizarro et al. 2016).

### **2.3 Proceso de tostado de café**

El tostado es la operación unitaria clave para convertir los granos de café verde en tostado, es decir es el núcleo de cualquier operación en fabricación de café, esto debido a que durante el tueste se crea el sabor y se determinan las propiedades físicas del grano (Revi, 2019).

El tostado generalmente se define como el tratamiento térmico que sufre el grano en un ambiente seco (caliente). Aunque en particular, el objetivo principal de producir café tostado es alcanzar el sabor deseado, sin olvidar también generar un color oscuro y una textura porosa y quebradiza, los cuales estén listos para las siguientes etapas (Farah, 2012).

Durante el tostado, los granos de café están expuestos al aire caliente, lo que produce un aumento de la temperatura del producto induciendo amplias reacciones químicas, deshidratación y cambios profundos de la microestructura de este (Schenker *et al.* 2017), el cual genera los deliciosos compuestos de sabor que eventualmente pueden transferirse a la fase líquida durante una extracción cuidadosa.

### **2.3.1 Principales fases en el proceso del tostado de café**

Dentro del contexto descrito por Schenker et al., (2017) para la operación unitaria en estudio y corroborado por Castillo et al., (2016), se puede describir que el proceso del tostado pasa por diversas fases:

#### **a) Deshidratación o secado:**

- En el punto de ebullición del agua se convierte en vapor de agua libre.
- Muy importante para crear presiones internas iniciales.

#### **b) Caramelización:**

- Se produce la fundición de los compuestos de azúcar en el café (fructosa a 128° C; la glucosa a 146 - 150° C y sacarosa a 186° C)
- Preparación de una de las materias primas para las reacciones de Maillard.

#### **c) Transición térmica (crepitación o el 1 de crack):**

- Primera cocción de los granos.

#### **d) Desarrollo del grano:**

- Inicio de tueste.
- Expansión y brillo.

#### **e) Acabado y enfriamiento:**

- Temperaturas en menos de 30 segundos (por debajo de 175° C).
- Llegar a la temperatura ambiente en menos de 3 minutos.

#### **f) Desgasificación:**

- Se produce en momento del enfriamiento.
- Característico por las notas del proceso aplicado.
- Desprendimiento de aceite de café en la superficie del grano.

Tomando en cuenta lo antes mencionado y para una mejor ilustración, la Figura 9 muestra las fases y procesos que debe pasar el café durante el proceso del tostado.



**Figura 9.** Proceso del tueste: Fases durante el desarrollo de la operación unitaria.

Fuente: Catillo et al., (2016)

### 2.3.2 Cambios fisicoquímicos del grano de café durante el tueste

El proceso de tueste del café ha sido estudiado por numerosos autores y varios departamentos de investigación durante décadas (por ejemplo, Eggers *et al.* 2001; Geiger 2004; Yeretizian *et al.* 2012). Aunque el conocimiento público sobre el tueste de café ha aumentado enormemente, queda mucho por descubrir y dilucidar. A continuación, se describen los cambios físicos que sufre el grano de café dentro del proceso de tueste de acuerdo con lo expuesto por Castillo *et al.* (2016):

Pierde peso, alrededor del 15 - 20%, debido en gran parte a la evaporación de la humedad. El grano aumenta de volumen, entre un 100 y un 130% en función del tiempo de tueste. Su color amarillo verdoso se transforma en un marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido. Los azúcares han sido caramelizados. Se han creado más de setecientos nuevos compuestos aromáticos responsables del gusto y aroma del café.

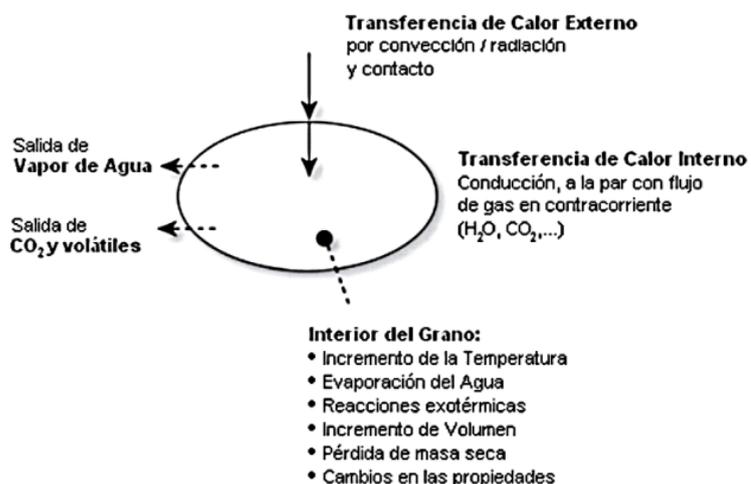
Disminuyen los azúcares y los ácidos clorogénicos, aumentan las sustancias grasas debido a las altas temperaturas. Además, una vez tostado el café, éste tiene un alto contenido de gases, que hace difícil (pero no imposible) que podamos preparar el café inmediatamente. Estos gases se desprenden de forma rápida en las primeras horas y van decreciendo de forma continuada en un proceso que puede llegar a durar hasta 20 días (Folmer, 2017).

La acidez decrece gradualmente y la mayor concentración de furfural, que pertenece al grupo de los furanos y que otorga al café un sabor suave y acaramelado, se alcanza incluso a niveles de tostado muy cortos (Farah, 2012).

### 2.3.2.1 *Temperatura del producto.*

En comparación con otros procesos de tostado en aplicaciones de alimentos (nueces, cacao, etc.), el tostado de café requiere la temperatura más alta en comparación a otros productos, esto con la finalidad de desarrollar características deseadas (sabor, olor, textura, etc.). En general, se requiere que la temperatura del grano de café supere los 190° C durante una cierta duración mínima para desencadenar las reacciones químicas típicas del tostado (Virgen, et al., 2016; Parada et al., 2017).

Para investigadores como Virgen et al., (2016) y Parada et al., (2017) la evolución de la temperatura del producto durante el tostado se caracteriza por un aumento constante hasta el máximo final, al que luego se detiene mediante un preenfriamiento abrupto opcional (enfriamiento con agua), alcanzando una reducción considerable de la temperatura interna del producto. Los entendidos aseguran que la temperatura típica del producto final puede estar en el rango de 200 - 250 °C y que la duración típica puede ser de 3 a 20 min (Figura 10).



**Figura 10.** Efecto de la transferencia de calor en el grano tostado de café

Fuente: Pacheco (2016)

### 2.3.2.2 *Desarrollo de color.*

Para Cho *et al.* (2014) el cambio de color durante el tueste es la indicación más obvia y visible del creciente grado de tostado, lo cual se identifica cuando los granos de café cambian

de color gris azulado verdoso (color del grano verde) a amarillo, naranja, marrón, marrón oscuro y finalmente a casi negro.

El desarrollo del color está muy relacionado con el desarrollo del sabor. Por lo tanto, el color del grano es el mejor indicador del grado de tostado y uno de los criterios de calidad más importantes. Aunque los baristas a menudo se refieren a la simplificación de términos particulares como "tostado expreso", "tostado francés" para expresar varios grados de tostado; sin embargo, los operadores industriales y científicos prefieren medirlo (Kim et al. 2019).

De acuerdo con Schenker et al., (2017) para obtener resultados más confiables, los granos se muelen y preparan en una forma estandarizada, con el fin de medir con un dispositivo comercial de medición óptica de color. En el espacio de color científico  $L^* a^* b^*$  ampliamente utilizado, los mismos investigadores señalan que un valor de luminosidad de  $L^* = 26$  correspondería a un grado medio de tostado, el cual correspondería a un valor de aproximadamente 66 en la "Escala Gourmet" de Agtron (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Desarrollo del color según la escala gourmet*

Nombre	Descripción	Número Agtron
Exceso de tostado	Extremadamente oscuro	< 18.0
Acadian	Demasiado oscuro	18.0 - 23.0
Italian	Muy oscuro	23.1 - 28.0
French	Obscuro	28.1 - 33.0
Vienna	Obscuro-medio	33.1 - 38.0
Full city	Medio-oscuro	38.1 - 43.0
City	Medio	43.1 - 48.0
American	Medio-ligero	48.1 - 53.0
Cinnamon	Ligero-medio	53.1- 58.0
Scandinavian	Ligero	58.1 - 63.0
Finnish	Muy ligero	63.1 - 68.0
Arabic (Straw)	Demasiado ligero	68.1 - 73.0
Underdeveloped	Extremadamente ligero	> 73.0

Fuente: Castillo et al. (2016)

### ***2.3.2.3 Aumento de volumen y cambios estructurales.***

La estructura del grano de café resulta ser tan esencial dentro de la creación del sabor típico del café, que de acuerdo con los experimentos realizados por Schenker et al., (2017) se ilustra claramente que el café molido en polvo verde expuesto a temperaturas similares a las del grano tostado no produce los mismos compuestos de sabor deseados.

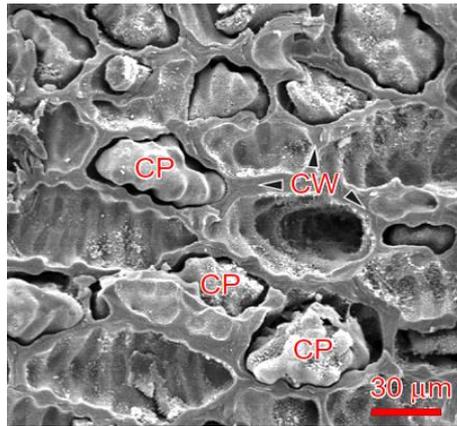
El grano del cafetero intacto actúa como un "minireactor" esencial para las reacciones químicas. Controla el entorno de reacción de manera que los precursores correctos puedan reaccionar entre sí en la secuencia correcta (Eggers et al., 2001). La temperatura, la actividad del agua, la presión y los fenómenos de transferencia de masa están muy relacionados con la estructura y gobiernan la cinética de las reacciones químicas que producen sabor (Geiger, 2004).

Los granos de café se hinchan durante el tostado y pueden aumentar el volumen hasta el factor 2. La microestructura cambia de una estructura densa a una muy porosa (Arcos et al., 2017). La creciente presión de gas dentro del grano es la principal fuerza impulsora para la expansión, mientras que las gruesas paredes de las células de la planta se mantienen contra él.

Según la teoría de la transición vítrea, los polisacáridos de las paredes celulares pueden estar en un estado "vítreo" o "gomoso", dependiendo del contenido real de humedad y la temperatura. El cambio de estado ocurre gradualmente y se vuelve borroso debido a la complejidad del sistema (varios diagramas de estado para los polisacáridos individuales presentes en la pared celular) (Wieland et al., 2011).

Sin embargo, Yeretizian et al., (2012) explican que en principio los granos pasan de "vidrioso" a "gomoso" y finalmente regresan al estado "vidrioso" durante el tostado. El aumento de volumen tiene lugar durante el estado "gomoso" en el que se reduce la resistencia física del material de la pared celular. Por lo tanto, la hinchazón del grano del cafetero es el resultado de una dinámica compleja entre la formación de gas y la resistencia de la pared celular.

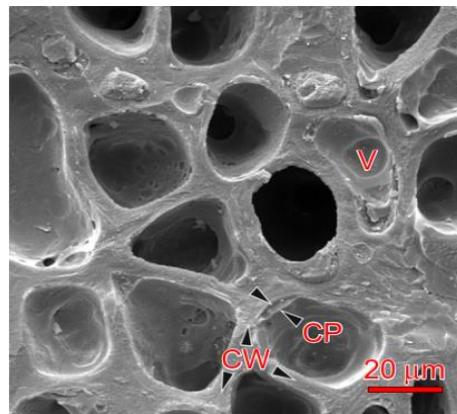
El aumento de volumen, la deshidratación y las reacciones químicas durante el tostado producen cambios profundos en la microestructura del tejido del grano cafetero. El grano verde se caracteriza por una estructura muy compacta, densa y la sofisticada organización intracelular de las células biológicas nativas (Figura 11).



**Figura 11.** Micrografía de barrido del tejido del grano de café verde de una muestra química

Fuente: Schenker (2000).

Las paredes celulares de los granos de café son inusualmente gruesas en comparación con el material vegetal de otras especies. Están equipados con anillos de refuerzo que les dan la típica apariencia nodular en la vista en sección transversal. El tostado destruye esta estructura nativa y gradualmente conduce a la formación de células excavadas. Aunque el marco de las paredes celulares permanece intacto, el citoplasma disminuido se empuja hacia la pared dando paso a un gran vacío lleno de gas que ocupa el centro (Figura 12).



**Figura 12.** Cambios en la estructura del grano del café explícitamente del citoplasma inducido por el tueste

Fuente: Schenker (2000)

Algunos de los citoplasmas desnaturalizados restantes se extienden a lo largo de las paredes celulares. Esta capa se vuelve más delgada con la continuación del tostado, esto debido a que la masa celular se convierte en gases y vapor de agua, induciendo un aumento del tamaño de la celda. Paralelamente al aumento de volumen, la porosidad medida también aumenta gradualmente durante el tostado (Zimmermann et al., 2014).

#### 2.3.2.4 Deshidratación.

Los granos de café verde entran en el proceso de tostado con un contenido de humedad típico de aproximadamente 10 – 12 % [g/100 g, base húmeda (wb)]. Durante el tueste se produce la deshidratación. Dependiendo de las condiciones de tostado, los granos tostados pueden abandonar el proceso con una humedad final de aproximadamente 2.5 % (Puerta et al., 2017).

Por supuesto, el contenido de humedad final de los granos tostados también puede verse influido por las condiciones de enfriamiento, esto debido a la capacidad de los granos en absorber parcialmente el agua que se rocía sobre la superficie del grano durante la etapa de preenfriamiento. Los granos con mayor contenido de humedad inicial generalmente pierden más agua durante la primera fase de tostado y terminan con una humedad final similar que se refleja en una mayor pérdida de tostado (Lupano, 2013).

Aunque la deshidratación durante el tostado isotérmico se realiza de manera constante y continua (Figura 13), la cinética de deshidratación en condiciones no isotérmicas (condiciones de proceso de varios pasos) depende del perfil de tostado. Además, Cho et al., (2014) mencionan que, del agua presente en el grano verde, también se genera una cantidad considerable de agua como resultado de reacciones químicas. Esta agua también se vaporiza durante el tostado.

Por otro lado, Schenker et al., (2017), aseguran que, durante el tostado, el agua se volatiliza y la materia seca se transforma parcialmente en gas. En general, los granos de café pueden perder del 12 – 20 % de peso durante el tueste, dependiendo de la calidad del grano verde, los parámetros y el grado final de tostado. La pérdida de tostado (RL, en %) se define como,

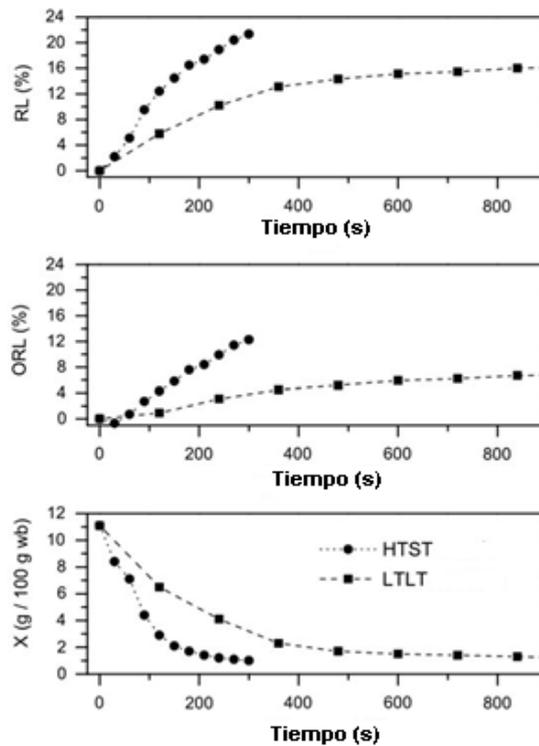
$$RL = \frac{m_{green} - m_{roast}}{m_{green}} \times 100 \quad (1)$$

donde  $m_{green}$  es el peso de los granos de café verde (kg);  $m_{roast}$  es el peso de granos de café tostados (kg).

Para los investigadores esta pérdida en el tueste consta de varias partes, como la evaporación del agua, la transformación de materia orgánica en gas, la pérdida física de pieles plateadas (tegumento), polvo y fragmentos del grano u otro material ligero (Figura 14).

La tasa más alta de pérdida de tostado se encuentra generalmente en las primeras etapas del proceso y es causada principalmente por la deshidratación, mientras que la pérdida de materia orgánica se inicia más tarde durante las etapas más avanzadas. Los granos tostados

oscuros experimentan una mayor pérdida de tostado que los granos tostados ligeros (Puerta et al., 2017).



**Figura 13.** Pérdidas en el tostado, materia seca y contenido de agua durante el tostado de café

Fuente: Schenker et al., (2017)

Mientras la calidad y, en particular, la humedad de la materia prima antes del tostado permanezca constante, la pérdida de humedad puede servir como un indicador del grado de tostado. Dado que el café verde en realidad siempre está sujeto a fluctuaciones de calidad natural (por ejemplo, fluctuando el contenido inicial de humedad del café verde), la pérdida de humedad también puede fluctuar de un lote a otro, incluso cuando se tuesta al mismo color del grano (Sacchetti et al., 2009). Por otro lado, la pérdida de materia seca orgánica pura proporcionaría información más precisa sobre el grado de tostado, ya que tiene en cuenta la pérdida variable del agua (Schenker & Rothgeb, 2017). Esta pérdida de tueste orgánico (ORL, en%) se define como:

$$ORL = 100 - \left[ (100 - RL) \times 100 \frac{dm_{roast}}{dm_{green}} \right] \quad (2)$$

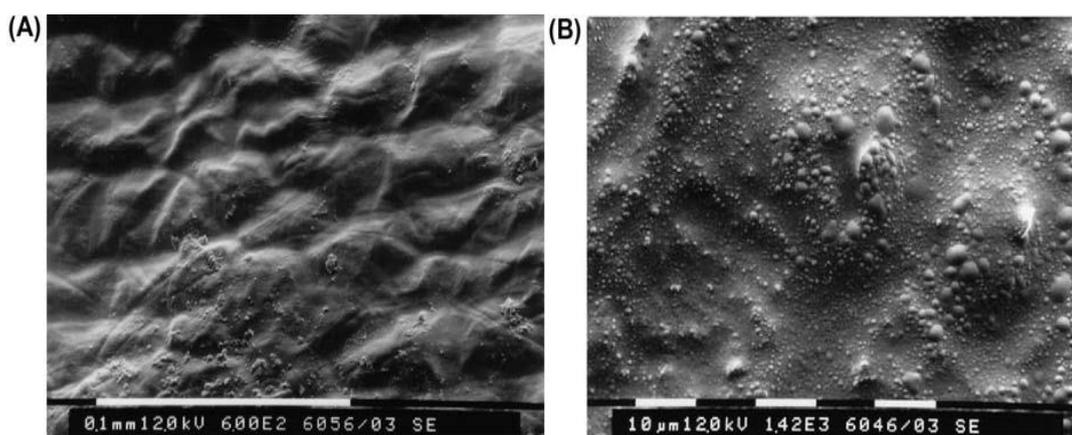
Donde RL es la pérdida en el tueste,  $dm_{green}$  es la materia seca de las judías verdes (g/100 g, wb) y  $dm_{roast}$  es la materia seca de las judías tostadas (g/100 g, wb).

El ORL se correlaciona bien con el valor L\* de la medición de color. Las judías verdes todavía están parcialmente cubiertas con la piel plateada antes del tostado, estas pieles se desprenden naturalmente durante el tueste debido a la hinchazón del grano por acción del aire caliente con el que se llenan (Kim et al., 2019). Dependiendo de la calidad del grano verde, las pérdidas de epidermis en el grano pueden representar aproximadamente un 1 % de pérdida de peso.

Además, en cualquier equipo de tostado disponible comercialmente, los granos también están expuestos a cierto estrés mecánico. El diseño de la cámara de tostado y el movimiento de los granos de café deben optimizarse para evitar la rotura del grano. La rotura del grano generaría pequeños fragmentos que también se pueden perder. Las pieles de plata, el polvo, los pequeños fragmentos del cerezo del café y otros materiales ligeros se llevan con el aire y se separarán en el ciclón de aire caliente del sistema de tostado.

#### 2.3.2.5 *Cambios físicos: principios activos (aceite de café) en la superficie del grano de café.*

Los granos de café pueden contener hasta 18 % de lípidos (aceite de café), los mismo que están incrustados en el citoplasma de la célula vegetal nativa dentro de cuerpos oleosos separados, protegidos por membrana ubicados a lo largo de las paredes celulares (Madrid et al., 2019). Los cambios estructurales en el tejido del grano de café durante el tueste destruyen la organización de células biológicas nativas, rompen los cuerpos oleosos y movilizan el aceite de café (Rodríguez, 2010).



**Figura 14.** Etapas iniciales del proceso de migración del aceite de café. (A) Inmediatamente después agregar calor; las superficies lisas de las células epidérmicas. (B) Después de un día de almacenamiento

Fuente: Schenker (2000).

Los granos de café tostados exhiben ocasionalmente un “sudor de aceite” severo o sin aceite, esto debido a la presión de gas que se genera dentro del grano, el cual empuja el aceite de café a través de pequeños micro canales en la pared celular hacia la superficie del grano (Schenker & Rothgeb, 2017). Durante las etapas iniciales de la migración del aceite, aparecen numerosas pequeñas gotas de aceite en la superficie del grano (Figura. 14).

Sin embargo, Schenker (2000) considera que las gotas de aceite pueden unirse y volverse más visibles, eventualmente cubriendo todo el grano con una película de aceite brillante.

### **2.3.3 Cambios químicos durante el asado**

Como preámbulo al tema Rodríguez (2010) explica que un cambio químico que sufre el grano de café es la pirólisis la cual genera varias reacciones químicas como: oxidación, reducción, hidrólisis, polimerización y descarboxilación. Los azúcares y las proteínas son fraccionados a aldehídos, alcoholes y ácidos, tales sustancias son las que van a ser percibidas por los sentidos de los consumidores y que a continuación se describen los cambios relevantes que sufre el grano del café en el proceso del tostado.

#### ***2.3.3.1 Efectos endotérmicos y exotérmicos en el grano de café.***

El aumento de la temperatura del producto durante el tostado induce reacciones químicas complejas que finalmente resultan en una composición severamente alterada del grano tostado. Algunas de las reacciones químicas más importantes que afectan a los carbohidratos incluyen la reacción de Maillard, la degradación de Strecker, la pirólisis y la caramelización (Moreira et al., 2017; Lee et al., 2017).

Por otro lado, el tueste también conduce a la desnaturalización y degradación de las proteínas, así como la degradación de muchos ácidos presentes en el grano verde del cafeto (Zapata y Sarache 2014).

Durante las etapas iniciales del tostado, se requiere un aporte considerable de energía para impulsar la evaporación del agua e inducir reacciones químicas. En un punto durante el tueste, el balance energético de las reacciones químicas se vuelve autocatalítico, es decir, los granos de café eventualmente comienzan a generar calor por sí solos (Díaz et al., 2018). Por lo tanto, las etapas finales del proceso de tostado se caracterizan por una tasa creciente de avance del proceso y se acercan gradualmente a las condiciones de combustión.

El control del proceso se vuelve crucial en esta fase. Unos segundos pueden marcar la diferencia entre un producto tostado correctamente con el grado de tostado deseado y un

producto sobre-tostado. El tostado debe detenerse abruptamente al grado deseado de tostado con un paso de enfriamiento previo de modo eficiente. Si el tostado continúa sin control, los granos pueden encenderse y producir condiciones inseguras en un tostador (Lee et al., 2019).

### **2.3.3.2 Formación de gas.**

El tostado genera una cantidad considerable de gas como resultado de la pirólisis y la reacción de Maillard. La tasa de formación de gas durante el tostado isotérmico es baja al comienzo del proceso, pero se acelera con fuerza en la segunda mitad del proceso. Sin embargo, depende mucho de las condiciones de tostado, el gas predominante formado al tostar es el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y, otros componentes importantes que incluyen al CO y N. (Cho et al. 2014)

En este punto es importante destacar que una parte del gas se libera al ambiente y otra parte importante permanece atrapada dentro de los granos y solo se libera más tarde durante el almacenamiento; en un proceso de desorción lenta y durante los pasos de procesamiento posteriores (por ejemplo, molienda) (Devia et al., 2018).

Por esta razón, las líneas de procesamiento de café a menudo incluyen "silos de templado" (grano), silos de desgasificación (tostado y molido) y maquinaria de desgasificación para la desorción de gases. Estas operaciones de la unidad liberan gas y evitan la sobrepresión en los pasos posteriores (por ejemplo, extracción) o en el producto envasado (por ejemplo, en una cápsula herméticamente cerrada de un solo servicio), que por lo general incluyen válvulas unidireccionales para la liberación de gas (Schenker y Rothgeb, 2017).

Esta capacidad de retener una gran cantidad de gas es una característica notable de los granos de café tostados; el cual genera alta presión dentro del grano (puede exceder valores superiores a 10 bares) (Schenker, 2000). Las gruesas paredes celulares del café están preparadas para soportar esta presión sin romperse, pero se estiran gradualmente y abarcan un volumen creciente de poros.

Sin embargo, se producen algunas roturas estructurales menores y grietas durante las etapas finales del tostado, que liberan una pequeña cantidad de gas en una micro explosión repentina y se manifiestan en sonidos de grietas y estallidos. El gas junto con el vapor de agua constituye la fuerza impulsora para la expansión del grano durante el tostado (Folmer, 2017).

### 2.3.3.3 Formación de compuestos aromáticos.

En la actualidad y desde las últimas décadas se ha dedicado mucho trabajo científico a la identificación de compuestos clave para el impacto del aroma en el café (Pérez et al., 2012; Poisson et al., 2014). Tal impacto investigativo ha demostrado que la fracción volátil del café tostado es altamente compleja y consta de más de 1000 compuestos (figura 15) (Pacheco, 2016).

Para los entendidos la cinética de la formación de los compuestos durante el tostado está determinada por las condiciones específicas para las reacciones químicas (p. Ej., Temperatura, actividad del agua, presión, etc.) según lo controlado por los parámetros del proceso (por ejemplo, transferencia de calor a lo largo del tiempo). Por lo tanto, las diferentes condiciones de temperatura y tiempo durante el tostado conducen a perfiles de sabor específicos obtenidos de la misma materia prima (Figura 15).

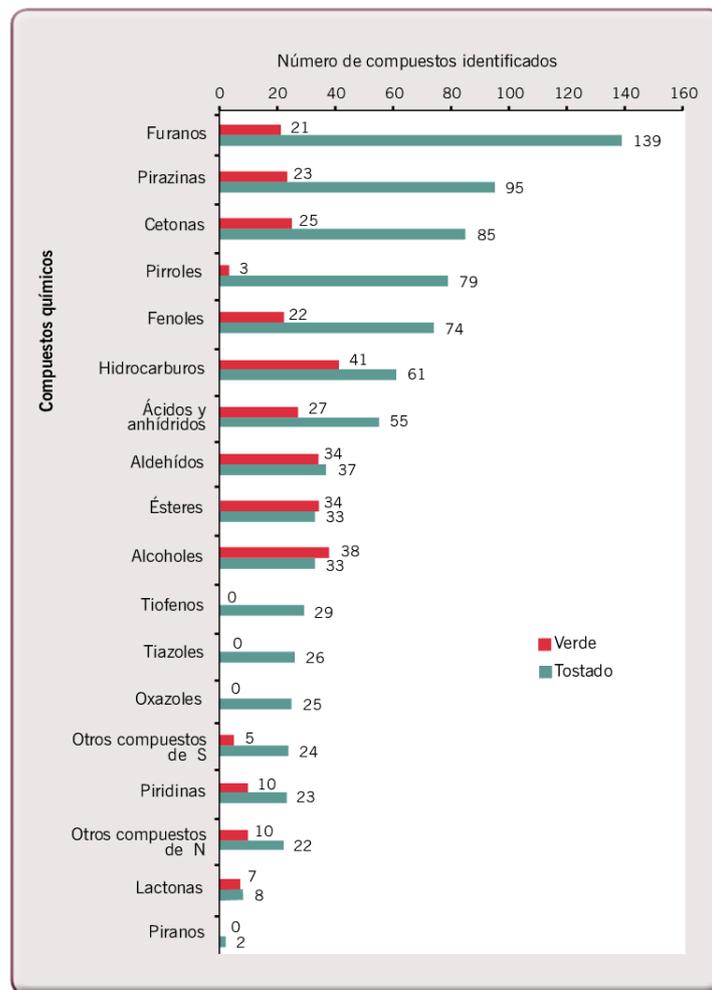


Figura 15. Número de compuestos volátiles de los granos de café almendra y tostado.

Fuente: Puerta (2011)

El desarrollo cuantitativo de compuestos clave de impacto de aroma en función de las condiciones del proceso se ha estudiado utilizando diversas metodologías (Schenker et al., 2002; Wieland et al., 2011; Zimmermann et al., 2014). Schenker et al., (2002) analizaron la fracción volátil de muestras de café tomadas en diferentes etapas del proceso de tostado, utilizando seis perfiles de tostado diferentes.

La primera etapa de tostado no produce grandes cantidades de aroma, pero puede ser importante para la formación de precursores de aroma. La mayoría de los compuestos aromáticos mostraron la tasa de formación más alta en las etapas medias del proceso de tostado y las etapas medias de la deshidratación del grano de café con un contenido de agua del 7 % al 2 % (wb).

La mayoría de los compuestos aromáticos importantes (por ejemplo, la mayoría de las pirazinas) comienzan a descomponerse a alta temperatura durante las etapas avanzadas del proceso debido a la degradación térmica. Las concentraciones de estos volátiles disminuyen con el grado creciente de tostado. Por el contrario, se sigue creando un número limitado de compuestos aromáticos a alta temperatura (por ejemplo, guaiacol).

<b>Furanos</b> Caramelo, paja, césped, azúcar quemado, almendra, ahumado, astringente, café tostado, frutal	<b>Pirazinas</b> Chocolate, tierra, mohoso, nuez, tostado, graso, maíz, alquitrán, pimentón, maní, rancio	<b>Oxazoles</b> Almendra, leguminosas, dulce, avellana, tierra, papa, verde	<b>Piridinas</b> Amargo, astringente, caramelo, mantequilla
<b>Tioles</b> Café tostado envejecido, descompuesto, animal, carne asada		<b>Cetonas</b> Mantequilla, caramelo, dulce, miel, frutal, manzana cocida, floral, grasa, rancio, madera	
<b>Tiofenos</b> Cebolla, mostaza, fétido		<b>Pirroles</b> Dulce, maíz, cereal, aceite, medicinal, setas comestibles, grasa, nuez	
<b>Tiazoles</b> Tierra, papa, verde, nueces		<b>Hidrocarburos</b> Fétido, petróleo, tabaco, manteca, terroso, madera	
<b>Ésteres</b> Frutal, dulce, grasa, rancio, irritante, floral	<b>Fenoles</b> Tabaco, ahumado, clavo, fenólico, quemado, caucho astringente, amargo, picante, terroso, madera	<b>Aldehídos</b> Vinoso, miel, cocido, tostado, grasa, madera, verde, malta, ácido, fermentado, picante, dulce, herbal, papas cocidas, frutal, vainilla, picante, quemado, tostado, rancio	<b>Alcoholes</b> Floral, dulce, frutal, mohoso, tierra, tostado, verde, herbal, rancio
<b>Lactonas</b> Melocotón, coco, nuez, dulce, especia, quemado, grasa	<b>Ácidos</b> Vinagre, dulce, rancio, floral, mentolado, frutal, verde herbal, grasa, rancio, mohoso, terroso	<b>Aminas</b> Desagradable, penetrante, descompuesto, pescado, amoníaco	<b>Piranos</b> Dulce, eucalipto

**Figura 16.** Grupos químicos de algunas notas aromáticas del café tostado.

Fuente: Puerta (2011)

### 2.3.3.4 *Relación acidez / amargura.*

Una buena taza de café se caracteriza por una relación equilibrada de acidez y amargor. Como regla general, el mayor grado de tueste conduce a una disminución de la acidez y a un aumento de amargura. Por lo cual, seleccionar el grado óptimo de tostado es crucial para un perfil de sabor equilibrado, por otro lado, la tabla 5 muestra los sabores de algunos de los ácidos que se forman durante el tueste y que originan las diferencias en la amargura y acidez. Los ácidos clorogénicos se degradan fuertemente durante el tostado. Sin embargo, su contribución en la percepción sensorial general es muy limitada. Por el contrario, los ácidos cítrico y málico son muy relevantes para la percepción sensorial (Vega, De León, Reyes, & Miranda, 2018). Estos ácidos ya están presentes en el grano verde y luego también se reducen gradualmente durante el tostado.

**Tabla 5**

*Sabores de algunos de los ácidos*

Ácidos	Sabor
Clorogénico	Amargo, astringente
Quínico	Amargo y ácido
Cítrico	Ácido intenso como limones
Acético	Agrio
Málico	Manzana verde
Fórmico	Ácido fuerte, acre
Fosfórico	Ácido refrescante
Glicólico	Ácido fuerte
Láctico	Agridulce
Fumárico	Muy ácido, pero no picante
Maleico	Irritante, acre
Succínico	Amargo y salado
Tartárico	Ácido fuerte a uvas negras

Fuente: Puerta (2011)

Por su parte, el ácido acético y el ácido fórmico también contribuyen fuertemente a la acidez sensorial total percibida. Su concentración en café verde es muy baja. Estos ácidos se generan durante las etapas iniciales del tostado a partir de un precursor de carbohidratos, pero luego se degradan a temperaturas más altas durante las etapas finales del tostado.

Las concentraciones de ácido quínico y algunos ácidos volátiles aumentan ligeramente durante el tostado. En general, la acidez total perceptible sensorial está disminuyendo claramente durante el curso del tostado. Los granos tostados ligeros despliegan más acidez en la taza que el café tostado oscuro (Puerta, 2011).

Las vías de identificación y formación de componentes de amargor en el café tostado se han dilucidado solo en los últimos años y aún están sujetas a investigaciones científicas en curso. Aunque tiene cafeína, que está presente en la arena verde y tiene un fuerte sabor amargo, solo contribuye entre un 10 - 20 % a la amargura sensorial percibida en el café.

Los principales contribuyentes al amargor se forman al tostar. La clase de lactonas de ácido clorogénico que se descomponen producto de estos ha sido identificada como uno de los principales contribuyentes al amargor en el café (Hofmann et al., 2008; Vega et al., 2018). Los fenilindanos, por su parte son un producto de descomposición de las lactonas de ácido clorogénico, causan un sabor amargo y persistente en el café tostado oscuro. En general, la amargura percibida aumenta con un mayor grado de tueste.

#### **2.3.4 Parámetros considerados en el proceso del tostado**

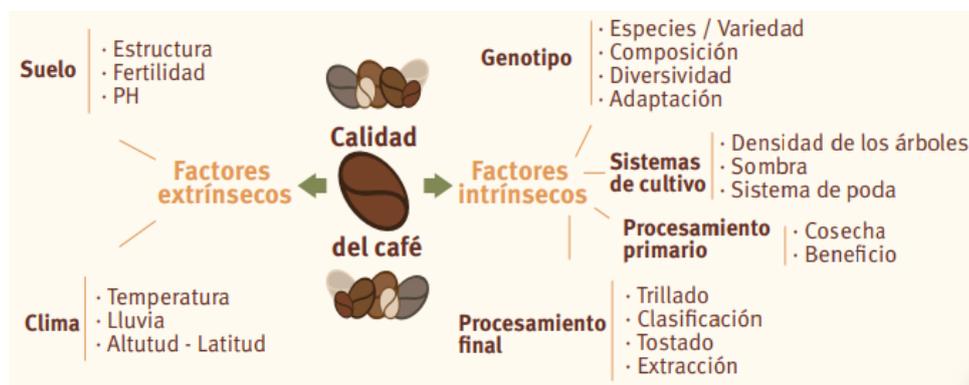
Aunque el tostado de granos se ha vuelto popular en la industria, la mayoría de los productos todavía no estandarizan sus procesos a condiciones y parámetros regulados, que les ayuden a generar el valor deseado. Por tal razón las diferencias entre producciones se ven diversas, resultando atractivo en el mercado para seguir buscado la perfección en la fabricación de estos. A continuación, se describen algunos de las condiciones que se debe tomar en cuenta a la hora del tueste de acuerdo con Schenker et al., (2017), Peñalver et al., (2019) y Porras et al., (2019).

Considerando los fenómenos que produce esta operación unitaria, se considera que muchos son los factores que pueden influir en la calidad del café. Como ejemplo; al comienzo de la cadena de valor del café se encuentran los factores agrícolas, como la variedad, el clima y los métodos de postcosecha, a pesar de ellos estudios recientes determinan que la composición del café verde puede modular la calidad del sabor (Sunarharum et al., 2014).

Sin embargo, se ha determinado que el proceso del tostado es, sin duda, el factor más importante en la cadena de valor del café, donde los cambios físicos y químicos importantes conducen al desarrollo de los atributos característicos del café tostado. Es solo durante el tostado del café a temperaturas superiores a 200 ° C en que los precursores del café verde se

transforman en constituyentes del café tostado, lo que da color, aroma y sabor (Castillo et al., 2016).

Sin embargo, la calidad intrínseca del café está predeterminada en el grano verde por su composición precursora y el tostador solo puede desbloquear todo el potencial aplicando las condiciones de tostado adecuadas y optimizadas (Figura 17). El grado de tostado y la tecnología son los factores decisivos para el producto final. El conocimiento de los precursores, así como el mecanismo de formación y la cinética de los compuestos clave del sabor es esencial en el desarrollo de productos de alta calidad con atributos sensoriales deseables.



**Figura 17.** Variables que determinan la calidad del café

Fuente: Castillo et al. (2016)

#### 2.3.4.1 Mezclado.

Frente a los grandes avances tecnológicos y la exigencia de los consumidores, la industria se ha visto esforzado en realizar el tostado de granos de un solo origen, aunque a pesar del fuerte interés todavía existe la tendencia a la mezcla de granos, si no es decir la mayoría de los productos de café que se basan en una mezcla de cafés de diferentes orígenes. La gran variedad del potencial de sabor y las propiedades físicas del grano de los cafés de diferentes orígenes y especies dejan infinitas posibilidades de mezcla para el desarrollador experto de productos (Schenker & Rothgeb, 2017).

Sin embargo, una vez que se ha definido la composición de la mezcla, la siguiente y más crucial decisión que debe tomar el técnico es si tostar toda la mezcla de una vez (mezclar antes de tostar) o fraccionar la mezcla y asar las fracciones individuales por separado. (mezclar después del tueste), también conocido como Tueste split), para que finalmente se mezclen los granos tostados (Peñalver et al., 2019).

En relación con lo mencionado y a pesar de las diferencias, la mayoría de las operaciones de tostado a escala industrial utilizan un enfoque de mezcla antes de tostar. Todos los componentes de la mezcla se tuestan juntos en un proceso de tostado. La simplicidad y el menor costo en las operaciones es la principal ventaja. Sin embargo, las diferentes variedades de café pueden terminar con una diferencia visible en el grado de tostado (apariencia no homogénea de los granos tostados).

Por otro lado, y dado que el comportamiento del tostado en los granos de Arábica y Robusta difiere considerablemente, a menudo puede tener sentido aplicar condiciones de tostado optimizadas individualmente a estas fracciones.

El fraccionamiento se puede utilizar para optimizar las condiciones del tueste de una manera que empuje una característica de sabor específica en una fracción y para optimizar otra nota de sabor en una fracción diferente (Schenker, 2000). Este enfoque puede ser más común para productos de alta calidad. Dado que requiere más silos y una unidad de mezcla después del tostado, la operación de asado dividido es más exigente y agrega complejidad a la operación.

#### **2.3.4.2 Grado de tueste.**

Como la mayoría de las características del producto cambian continuamente durante el tostado, el grado de tostado alcanzado en el producto final es el criterio de control de proceso más importante. En tal sentido, el grado de tueste es un factor para determinar las características de sabor de los extractos que se elaboran posteriormente a partir de café tostado, siendo un determinante para considerar un producto de alta calidad (Madrid L. *et al.* 2019). A medida que continúa el tostado, se evapora más agua y se convierte más materia orgánica (en gas y compuestos volátiles), lo que genera más pérdida.

Los cambios estructurales se vuelven más pronunciados con el aumento creciente del grado de tueste. La densidad del grano disminuye continuamente, en cuanto al color mientras más oscuro sea el tueste, se creará más volumen del grano y porosidad. Sin embargo, la hinchazón del grano se nivelará en un punto.

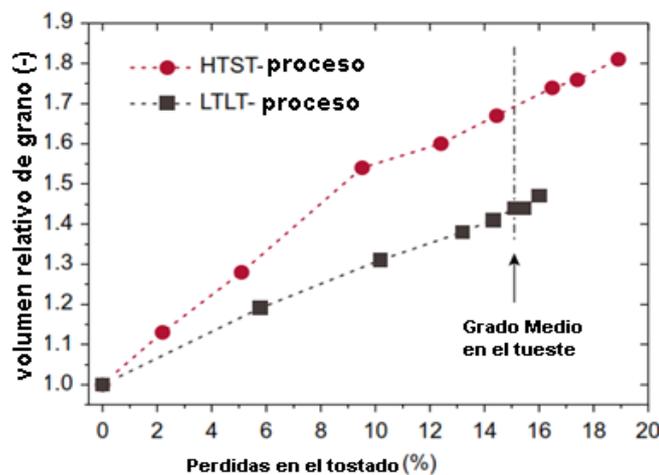
Por su parte, la creciente formación de gas con un mayor grado de tostado da como resultado mayores cantidades de gas que se liberan en el proceso de desorción durante el almacenamiento del grano. El proceso de migración de aceite avanza más rápido en granos tostados oscuros debido a la mayor fuerza impulsora. En granos tostados extremadamente

oscuros, el aceite puede aparecer en la superficie del grano ya durante las últimas etapas de tostado (Madrid L. et al. 2019).

El sabor del café tostado se vuelve más intenso con un mayor grado de tueste. La acidez disminuye y la amargura aumenta. El café tostado ligero aporta más acidez al perfil de la taza. Muy simplificado pero agradable y delicioso aroma del café se acumula hasta un cierto grado óptimo de tostado, pero luego disminuye nuevamente al continuar el tostado.

### 2.3.4.3 *Tiempo de tostado.*

El tiempo de tostado juega un papel clave para el desarrollo del sabor. El tueste largo y corto no dan como resultado las mismas propiedades. El tostado rápido se combina con mayores tasas de transferencia de calor, la temperatura del grano aumenta más rápido, la deshidratación y las reacciones químicas se desarrollan a un mayor ritmo y las tasas de formación de gas son más altas (Porras, et al. 2019). Comparando cafés de idéntico grado de tostado, los granos tostados rápidos generan mayores cantidades de gas que los tostados lentamente. En consecuencia, la expansión del café también progresa más rápido (Figura 18).



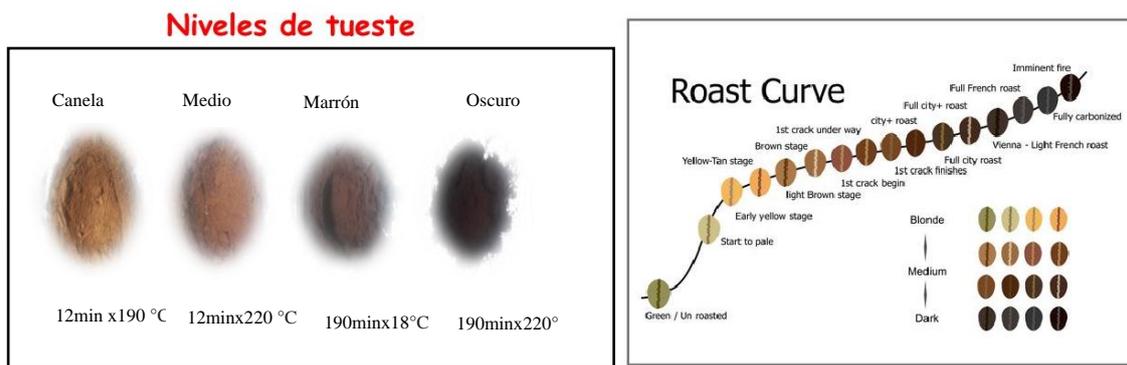
**Figura 18.** Desarrollo característico del aumento de volumen de grano en función del grado de tostado

Fuente: Schenker et al. (2017).

Para un color de café dado (Figura 19), los granos tostados rápidos exhiben un volumen y porosidad mucho mayores y de menor densidad que los producidos por tueste lento. Las diferencias en la estructura influyen también en el rendimiento en la mayoría de los tipos de procesos de extracción. En general, se puede extraer materia más soluble de los granos

tostados rápidamente. Esto puede deberse a una mayor generación de materia soluble o a una mejor accesibilidad para el agua en estructuras de alta porosidad o para ambas.

Los granos tostados rápidos terminan el proceso de tostado con un contenido de humedad final ligeramente más alto. La redistribución del agua dentro del grano toma tiempo y puede limitar el proceso de deshidratación en condiciones de tostado corto. Los cerezos de café tostados rápidos también exhiben una tendencia notablemente más fuerte a la sudoración del aceite.



**Figura 19.** Niveles de tueste en la almendra de café.

Fuente: Ezanza y BAQUÉ

Aunque la intensidad general del sabor puede ser más fuerte para los granos tostados rápidos en comparación con los de tueste lento su color es idéntico, esto no significa que el perfil de la taza sea necesariamente mejor. Los perfiles de copa son simplemente diferentes. Las preferencias del consumidor pueden decidir si un tiempo de tostado más corto o largo es más apropiado para una materia prima determinada. Los mismos compuestos de impacto de aroma se forman independientemente del tiempo de tostado.

Sin embargo, las cantidades de compuestos individuales o grupos de compuestos dependen del tiempo de tostado de varias maneras. Algunos compuestos aromáticos se generan preferiblemente en condiciones de tostado rápido, mientras que otros se mejoran en condiciones de tostado lento.

En consecuencia, la variación del tiempo de tostado conduce a perfiles distinguidos de las concentraciones de compuestos de sabor (Tabla 6). El café tostado rápido generalmente brinda más acidez en el perfil de la taza y, a menudo, una nota más fuerte de "tostado". Los cafés tostados lentos a menudo muestran una mayor intensidad en los atributos sensoriales como las notas "equilibradas", "afrutadas", "como nueces" y "tostadas".

Un posible problema que puede ocurrir en casos extremos de tostado rápido está relacionado con la transferencia de calor dentro del grano. Las altas tasas de transferencia de calor en la superficie del grano pueden dar como resultado un gradiente de temperatura sustancial dentro del grano, desde la superficie del grano hasta el núcleo. En efecto, el grano se puede tostar en exceso en la zona cercana a la superficie, mientras que aún se sigue sin tostar en el núcleo.

**Tabla 6**

*Condiciones del gado de tostado en relación con el tiempo de estadía en el tueste del café*

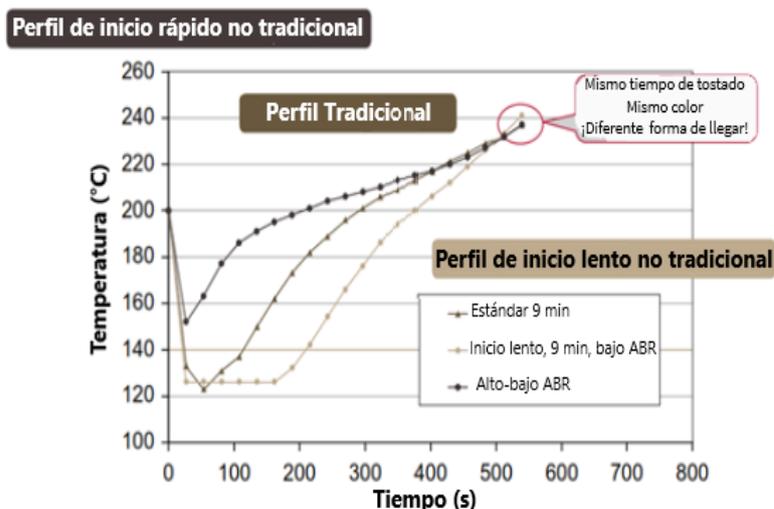
Condiciones de tostado	Grado de tostado	Pérdida de peso (%)
0 min a 240°C	Sin tostar	--
9 min a 240°C	Ligero	10.00
11 min a 240°C	Medio	13.48
13 min a 240°C	Oscuro	16.96
16 min a 240°C	Muy oscuro	21.74

Fuente: Cho et al., (2014)

#### **2.3.4.4 Temperatura de tostado.**

Los perfiles de tostado tradicionales aplican condiciones de transferencia de calor más o menos isotérmicas, que a veces incluyen una reducción gradual del calor en la segunda parte del proceso. La temperatura del aire caliente se establece más alta para un tiempo de tostado más rápido y más baja para condiciones de tostado lento. La temperatura real del producto se desarrolla en función de los ajustes de temperatura del aire caliente y el diseño de la máquina.

En el pasado, esta forma tradicional establecida y generalizada de conformación de perfiles se debía a limitaciones técnicas del equipo de tostado. Por el contrario, los modernos equipos de tostado permiten secuencias personalizadas de transferencia de calor variada durante el tiempo total de tostado (ya sea proceso de múltiples etapas o tostado real de perfiles). En estas máquinas, la transferencia de calor a los granos puede ser ampliamente modulada y controlada para seguir la curva maestra de temperatura del producto deseada con un perfil de temperatura y tiempo preferido (Figura 20).



**Figura 20.** Ejemplos de curvas de temperatura de tiempo no tradicionales

Fuente: Schenker y Rothgeb (2017)

Manteniendo el color final del grano y el tiempo de tostado constante, las diferentes vías para alcanzar el punto final marcan la diferencia en el desarrollo del sabor y las propiedades físicas del café. La cinética de deshidratación dentro del grano depende del perfil de transferencia de calor y da como resultado curvas de deshidratación distinguidas. Por ejemplo, se puede evaporar más o menos agua durante las primeras etapas de tostado.

**Tabla 7**

*Cambios en el grano de café por efecto de la temperatura en el tueste*

Temperatura (°C)	Cambios del grano de café en el proceso de tostado
100	Presenta coloración verde a amarilla, olor a pan tostado y desprendimiento de vapor de agua. Hay desecación y pérdida de agua
120 – 130	Presenta coloración castaña que pasa de pardo claro a oscuro. Reducción de azúcares y aminoácidos
150	Despide olor a semillas tostadas sin apreciarse el aroma característico. Caramelización de azúcares
180	El aroma del café comienza a desarrollarse. Hay un desprendimiento de CO y CO <sub>2</sub> por pirogenación de carbohidratos, proteínas grasas. Los granos adquieren una coloración marrón y su volumen aumenta.
180 – 270	El aroma es más abundante y el color más oscuro. Hay un aumento mayor en volumen, los granos crepitan y presentan una exudación brillante del aceite en la superficie.
270	El desprendimiento del humo aumenta, los granos se ennegrecen y pierden el brillo; el volumen deja de aumentar.
300	Granos negros y desmenuzables bajo ligera presión, desaparece el aroma por completo. El café se carboniza

Fuente: Monroig (2016)

La diferente actividad del agua en las diferentes etapas del proceso influye en las reacciones químicas y, finalmente, también en los cambios estructurales (cambios físicos). Pueden ocurrir nuevas combinaciones de temperatura del grano y actividad del agua durante el proceso de tostado. Las etapas prolongadas a temperaturas más bajas pueden dejar más tiempo para la generación de precursores de sabor específicos e influir en las reacciones químicas posteriores.

El proceso de tostado es un procedimiento muy complejo ya que el tiempo y temperatura al ser los factores primordiales para la realización de un buen tueste de café, afectan en varios aspectos al grano desarrollándose varias etapas conforme el grado de tueste aumenta (Tabla 7). Se puede observar, claramente que a medida que la temperatura en relación con el tiempo de residencia, los cambios en cuanto a la calidad del café son diferente, tanto en su composición, sabor (notas acidas, amargas), amargura, etc.

#### **2.3.4.5 Otros**

Considerando los puntos antes mencionados y, considerando lo expuesto por Giner (2018), donde asegura que además de los factores ya señalados, existen otros parámetros a considerarse de igual importancia, es decir una vez identificado y caracterizado el café verde, se marcan las directrices de tueste como: calor, intensidad de aire, espacio de ocupación dentro del bombo, tiempo y el agua necesaria. En otros estudios se considera a la humedad como otro factor influyente dentro del proceso del tueste del café.

Como calor se entenderá, al valor generado por cualquier combustible, leña, gas, gas óleo o electricidad, que tiene la finalidad de permitir que el café pase de verde a tostado. Por Espacio se considerará al área ocupada dentro del bombo, donde se podrá influenciar el volumen que al final tendrá el grano tostado y su uniformidad (Schenker et al., 2002). Por lo general un bombo de tueste excesivamente lleno no permite una buena rotación del producto y por lo tanto esto también va en detrimento de la uniformidad de color del café.

Por otro lado, el Aire caliente al ser generado a través del quemador y, considerando el modo en que este calor se transmite al grano, se establecerá la temperatura a la que este deberá generar olores, sabores y texturas basados en los gustos del mercado y su tendencia. El aire caliente, además de actuar como regulador de la temperatura, nos permite controlar la velocidad o lentitud del tueste.

Por su parte, el tiempo de tueste, ligado a las funciones anteriores determinará el color final del producto. Los tiempos de tueste corto aumentan la acidez del producto y los largos la amortiguan (Peñalver et al., 2019). El agua por lo general se aplica en la fase final, de modo que se produce un shock térmico, lo que controlar que el café no continúe tostándose de forma descontrolada.

## 2.4 Componentes bioactivos del café tostado y su beneficio

De acuerdo con Ramos (2015) y Gonzáles (2016), los compuestos bioactivos presentes en el café como polifenoles, alcaloides, diterpenos, fenoles, otro y además de los últimos hallazgos como las Melanoidinas, brindan y aportan benéficos al consumidor. En la Tabla 8 se puede observar claramente los cambios porcentuales (químicos) que afronta el grano de café (verde) durante el proceso del tostado para las dos variedades Arábica y Robusta.

**Tabla 8**

*Cambios en la composición química de los granos verdes durante el tostado*

Componentes	C. arábica		C. canephora	
	Grano Verde (% dm)	Grano Tostado (% dm)	Grano Verde (% dm)	Grano Tostado (% dm)
Carbohidratos / fibra				
Sacarosa	6.0 - 9.0	4.2 - trazas	0.9 - 4.0	1.6 – trazas
Azúcares reductores	0.1	0.3	0.4	0.3
Polisacáridos	34 - 44	31 – 33	48 - 55	37.0
Lignina	3.0	3.0	3.0	3.0
Pectina	2.0	2.0	2.0	2.0
Compuestos nitrogenados				
Proteínas/péptidos	10.0 - 11.0	7.5 - 10.0	11.0 - 15.0	7.5 - 10.0
Aminoácidos libres	0.5	ND	0.8 - 1.0	ND
Cafeína	0.9 - 1.3	1.1 - 1.3	1.5 - 2.5	2.4 - 2.5
Trigonelina	0.6 - 2.0	1.2 - 0.2	0.6 - 0.7	0.7 - 0.3
Ácido nicotínico	-	0.016 - 0.026	-	0.014 - 0.025
Lípidos				
Triglicéridos	15.0 - 17.0	17.0	7.0 - 10.0	11.0
Diterpenos	0.5 - 1.2	0.9	0.2 - 0.8	0.2
Minerales	3.0 - 4.2	4.5	4.4 - 4.5	4.7
Ácidos y ésteres				
Ácidos clorogénicos	4.1 - 7.9	1.9 - 2.5	6.1 - 11.3	3.3 - 3.8
Ácidos alifáticos	1.0	1.6	1.0	1.6
Ácido quínico	0.4	0.8	0.4	1.0
Melanoidinas	-	25	-	25

Fuente: Adaptación realizada por la investigadora a partir de Farah, (2012)

Por otro lado, Folmer (2017), en su libro “El arte y la ciencia del café” argumenta y explica la importancia del estudio del café y agrega en cuanto a los cambios físicos, que su medición es mucho más fácil debido a que estos se concretan en el color, forma, volumen, masa,

humedad, densidad y otros, relacionando a estos factores como criterios dentro de la calidad de un buen café.

#### **2.4.1 Capacidades antioxidantes del café**

En los últimos años y como consecuencia de la tendencia al consumidor por productos más naturales, es decir fisiológicamente funcionales, se ha investigado con más rigurosidad al café, tales atributos como su composición, estructura, propiedades y su relación con la salud, sin duda alguna son los factores más indagados por los investigadores hoy por hoy, de ahí que la capacidad antioxidante de los granos de café está ligada a la presencia de varios compuestos fenólicos en su composición.

Al respecto, Paucar (2010), menciona que la capacidad antioxidante del café, en las dos especies principales de café: Robusta y Arábica, son diferentes ya que la primera duplica la capacidad antioxidante de la segunda, por su mayor contenido en ácido clorogénico. De hecho, el investigador añade en su estudio que el café verde posee un mayor contenido de polifenoles, las cuales se les atribuye la capacidad antioxidante, las mismas que superan a las que se le atribuyen al té.

Por otro lado, Tripathi et al., (2019) señalan que el proceso del tostado se ve mermada por el tostado haciéndose propenso a la capacidad antioxidante de este, es decir, reduce los antioxidantes del café en comparación con la almendra verde del cafeto, para los investigadores esta merma se debe a la pérdida progresiva de compuestos polifenólicos, y al grado de temperatura en el tueste. Sin embargo, la capacidad antioxidante del café no sólo se debe a los compuestos fenólicos sino también a otros compuestos que se forman durante el tostado (Moreira et al., 2019).

##### **2.4.1.1 Métodos para evaluar la capacidad antioxidante.**

Se ha informado de una amplia variedad de ensayos para medir la capacidad antioxidante, ya sea por medio *in vitro* o *in vivo* y, aunque muchas son las publicaciones que afirman la medición de esta actividad, las bases químicas de los diversos ensayos difieren fundamentalmente, ya que los números generados corresponden a propiedades químicas específicas y no necesariamente se relacionan con la capacidad antioxidante biológica (Opitz et al., 2014).

Las pautas generales para los ensayos han sido sugeridas por Opitz, *et al*, (2014), Alam, et al., (2013) y Pisoschi et al., (2011) quienes enfatizaron la importancia de comprender la

medición de esta propiedad, los mismos autores mencionan las distintas metodologías y categorías para la determinación de la actividad antioxidante (Tabla 9).

**Tabla 9**

*Métodos analíticos de evaluación de la capacidad antioxidante*

Ensayo	Principio del método	Determinación del producto final
Espectrometría		
DPPH	Reacción antioxidante con un radical orgánico	Colorimetría
ABTS	Reacción antioxidante con un radical catiónico orgánico	Colorimetría
FRAP	Reacción antioxidante con un complejo de Fe (III)	Colorimetría
PFRAP	Reducción de ferricianuro de potasio por antioxidantes y posterior reacción de ferrocianuro de potasio con Fe <sup>3+</sup>	Colorimetría
CUPRAC	Reducción de Cu (II) a Cu (I) por antioxidantes	Colorimetría
ORAC	Reacción antioxidante con radicales peroxilo, inducida por AAPH (2,2'-azobis-2-amidino-propano)	Pérdida de fluorescencia de fluoresceína.
HORAC	Capacidad antioxidante para extinguir los radicales OH generados por un sistema similar a Fenton basado en Co (II)	Pérdida de fluorescencia de fluoresceína.
TRAP	Capacidad antioxidante para eliminar radicales derivados de luminol, generados a partir de la descomposición de AAPH	Temple de quimioluminiscencia
Fluorimetría	Emisión de luz por una sustancia que ha absorbido luz u otra radiación electromagnética de diferente longitud de onda.	Registro de espectros de excitación / emisión de fluorescencia
Técnicas electroquímicas		
Voltametría cíclica	El potencial de un electrodo de trabajo varía linealmente desde un valor inicial hasta un valor final y viceversa, y se registra la intensidad de corriente respectiva	Medición de la intensidad del pico catódico / anódico
Amperometría	El potencial del electrodo de trabajo se establece en un valor fijo con respecto a un electrodo de referencia.	Medición de la intensidad de la corriente generada por la oxidación / reducción de un analito electroactivo
Biamperometría	La reacción del analito (antioxidante) con la forma oxidada de una pareja redox indicadora reversible	Medición de la corriente que fluye entre dos electrodos de trabajo idénticos, a una pequeña diferencia de potencial e inmerso en una solución que contiene la muestra analizada y un par redox reversible
Cromatografía		
Cromatografía de gases	La separación de los compuestos en una mezcla se basa en la distribución entre una fase líquida estacionaria y una fase móvil gaseosa	Detección de ionización de llama o conductividad térmica.

Cromatografía líquida de alto rendimiento	La separación de los compuestos en una mezcla se basa en el reparto entre una fase estacionaria sólida y una fase móvil líquida con diferentes polaridades, a un alto caudal y presión de la fase móvil.	Detección UV-VIS (por ejemplo, conjunto de diodos), fluorescencia, espectrometría de masas o detección electroquímica
---	--	---

Fuente: Pisoschi et al., (2011)

Por otro lado, los investigadores asumen que los métodos más aplicados son ABTS y DPPH, aunque todo depende del material biológico a evaluar (Opitz et al., 2014). Al respecto Pisoschi et al., (2011) argumentan que ambos métodos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque también muestran diferencias.

El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS tiene que ser generado tras una reacción, la cual puede ser química, enzimática, o también electroquímica. Aunque se podría describir cada uno de los métodos señalados anteriormente, a continuación, se describen los empleados en la presente investigación.

### **Método FRAP**

El método FRAP es otro método que puede emplearse para determinar las actividades antioxidantes totales del café. Aunque se usa principalmente para determinar la actividad antioxidante del plasma, también se ha aplicado con éxito para medir la actividad antioxidante de varias muestras biológicas y sustancias puras (Moniruzzaman et al., 2012).

El ensayo FRAP se ha utilizado ampliamente para probar directamente el potencial antioxidante total de varios alimentos y extractos de plantas basado en la reducción de complejos de 2, 4, 6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) con hexahidrato de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), que son casi incoloros. La solución eventualmente se volverá ligeramente parduzca formando complejos ferrosos azules después de la reducción completa (Rodríguez et al., 2017).

### **Método ABTS**

En el ensayo ABTS, también conocido como ensayo de capacidad antioxidante equivalente Trolox (TEAC), es una medida de la actividad antioxidante (AA) en contraste con la concentración de esta, es técnicamente simple, ampliamente utilizada para la detección y las determinaciones de rutina. ABTS es soluble en agua y solventes orgánicos, lo que permite determinar la capacidad antioxidante de los compuestos hidrofílicos y lipofílicos con la misma metodología básica.

Sin embargo, ABTS no se encuentra de forma natural, por lo que es posible criticar que el ensayo no sea directamente relevante para ninguna función biológica, a pesar de ellos estudios han demostrado la medición de la AA (actividad antioxidante) de mezclas de sustancias, por lo que ayuda a distinguir entre los efectos aditivos y sinérgicos (Moniruzzaman et al., 2012).

#### **2.4.2 Contenido de fenoles en el café**

Se considera que el café es una de las fuentes más ricas de fenólicos en la dieta occidental, ya que aporta hasta 350 mg por taza de 200 ml (Komes y Bušić, 2014). Se sabe que el contenido de antioxidantes fenólicos en los granos de café verde está influenciado por la especie y su origen, mientras que en las preparaciones de café depende del procedimiento de elaboración. De acuerdo con los investigadores la clase más abundante de compuestos fenólicos en el café son los ácidos clorogénicos (CGA) que pueden representar hasta el 12% de la materia seca de los granos de café verde, aunque este se condiciona al madurar.

Por otro lado, Preedy (2014), explica a los fenoles vegetales como un grupo grande y heterogéneo de compuestos entre los que se incluyen los siguientes: ácidos cinámicos, ácidos benzoicos, flavonoides, proantocianidinas, estilbenos, couraminas, taninos y ligninas.

##### **2.4.2.1 Flavonoides en el café.**

Los flavonoides, de acuerdo con Panche et al., (2016) son un grupo de sustancias naturales con estructuras fenólicas variables, los cuales se encuentran en frutas, verduras, granos (como el café), cortezas, raíces, tallos, flores, té y vino. En cuanto a su beneficio los investigadores señalan que estos productos naturales son bien conocidos por sus efectos positivos para la salud y el combate contra enfermedades catastróficas u degenerativas.

Por otro lado, en la actualidad se están haciendo esfuerzos para aislarlos, esto debido a que se considera como un componente indispensable en una variedad de aplicaciones nutracéuticas, farmacéuticas, medicinales, alimenticias y cosméticas, atribuido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas y anticancerígenas, junto con su capacidad para modular la función enzimática celular clave Vega et al., (2017).

En cuanto a los granos de café los flavonoides son compuestos fenólicos contenidos en la almendra, y que dependiendo de su estado de madures este se fe afectado (Merecz et al., 2018).

La actividad biológica de los flavonoides de café de acuerdo con Lee et al., (2019) se realiza al dañar la pared celular bacteriana, a través de las diferencias de polaridad entre los constituyentes lipídicos del ADN y los grupos de alcohol en los compuestos flavonoides, de modo que la pared celular se dañará y el compuesto puede ingresar al núcleo de la célula bacteriana, este mecanismo según los investigadores es diferente del que realizan los compuestos alcaloides, donde los compuestos flavonoides dañan las células bacterianas (Ormaza et al., 2018).

Por otro lado, y considerando el estudio realizado por Cuesta et al., (2018) dentro de los métodos de determinación (cromatografía), el contenido de flavonoides en el café oscila entre el 3 y 6%, dependiendo de la especie.

Por su parte Díaz et al., (2018) argumentan que la operación unitaria (tostado) condiciona el contenido de flavonoides, considerando a las tostiones medias como un retenedor alto en flavonoides, sin embargo, los mismos autores señalan que los mimos son responsables de conferir sabor amargo al café por su contenido de fenoles en su estructura, sin olvidar también que contribuyen a la reducción de la prevalencia de enfermedades coronarias y ayudan al equilibrio microbiano a nivel intestinal (Cardona et al., 2013).

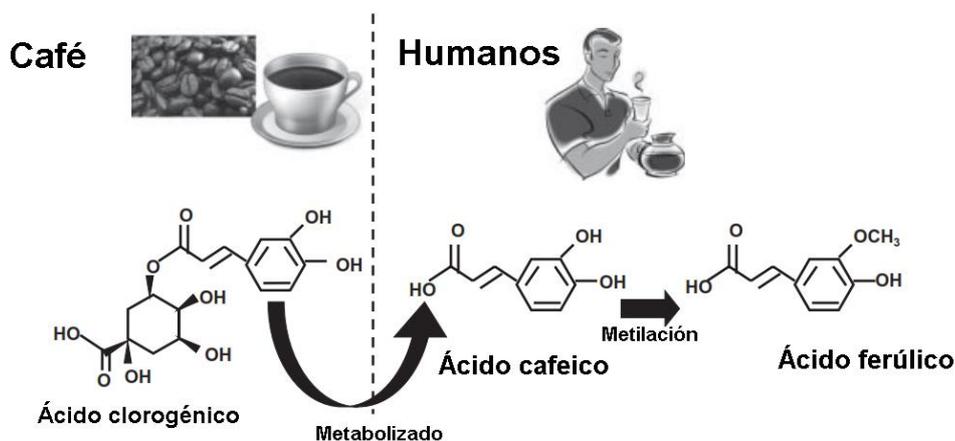
#### ***2.4.2.2 Polifenoles en el café.***

A lo largo del desarrollo investigativo del café se ha identificado un gran potencial bioactivo dentro de su estructura, en este sentido, y al identificar polifenoles con propiedades antioxidantes, se ha caracterizado al café como una fuente importante de antioxidantes dietéticos.

Por su parte, Kondo et al., (2012) manifiestan que los polifenoles se encuentran en una amplia variedad de compuestos derivados de plantas y están presentes en muchos componentes de la dieta humana. Se cree ampliamente que los polifenoles tienen propiedades protectoras, y cada vez hay más pruebas para respaldar sus beneficios de salud en la prevención de diversas enfermedades (Miranda et al., 2017; Fukushima et al., 2020).

Los autores arrojan nueva luz sobre las posibles propiedades antiaterogénicas del café a través de ECA (Enzima convertidora de angiotensina), además de sus funciones antioxidantes y antiinflamatorias. Por otro lado, y como se ilustra en la Figura 21 los granos de café son particularmente abundantes en el ácido antioxidante polifenol clorogénico, el

mismo que se metaboliza rápidamente a ácidos cafeico o ferúlico convirtiéndose en un compuesto bioactivo y accionando sus características (Kondo et al., 2012).



**Figura 21.** Acción del polifenol del café metabolizado como ácido cafeico y ferúlico

Fuente: Kondo et al., (2012)

### 2.4.3 Melanoidinas en el café

Las melanoidinas son polímeros de nitrógeno responsables del cambio de color en los granos de café tostado, para Komes et al., (2014) este fenómeno ocurre durante el tostado del café, esto debido a que la mayoría de los compuestos fenólicos se destruyen o pueden reaccionar con los radicales libres de la reacción de Maillard e incorporarse en la estructura del grano.

Por otro lado, las melanoidinas son uno de los principales componentes de las infusiones de café, y representan hasta el 25% de la materia seca. Son responsables de las propiedades antioxidantes y la capacidad de quelación de metales que muestran los cafés. Algunos autores han confirmado que este efecto se debe a su capacidad para romper la cadena radical mediante la donación de hidrógeno, la efectividad como agentes quelantes de metales, la capacidad de reducir el hidroperóxido a productos no radicales o eliminar los radicales hidroxilos (Moreira et al., 2017; Iriando-DeHond et al., 2018).

Aunque todavía no hay suficiente conocimiento sobre su estructura química, se supone que el mecanismo de formación de melanoidina consiste en una etapa temprana y una etapa avanzada. En la etapa inicial, el resto aldehídico de azúcares y grupos amino reacciona para producir un componente que tiene la estructura parcial de  $-\text{CHOH}-\text{CO}-\text{CH}_2\text{NHR}$ , mientras que, en la etapa avanzada, se forman varios aldehídos, cetonas y furfurales a partir de la fase inicial. productos de etapa, y estos reaccionan con compuestos amino para formar melanoidinas de alto peso molecular (Moreira et al., 2019).

En relación con lo antes mencionado, se han atribuido varias actividades biológicas a las melanoidinas del café, como las actividades antioxidantes, antimicrobianas, anticariogénicas, antiinflamatorias, antihipertensivas y antiglicantes Iriondo et al., (2018). Para comprender sus posibles beneficios para la salud, es esencial conocer sus estructuras químicas. Sin embargo, hay varias preguntas sin respuesta sobre las estructuras exactas de las melanoidinas del café y los mecanismos involucrados en su formación.

#### 2.4.4 Compuestos Cafeicos

La fracción ácida de los compuesto cafeicos en el café verde está compuesta de ácidos alifáticos y fenólicos, los mismos, que representan el 8% de su composición, los principales ácidos no volátiles como se muestra en la tabla 10 son CGA, cítrico, málico y ácido quínico, a diferencia de los ácidos volátiles donde están representados principalmente por los ácidos fórmico y acético, que se derivan del proceso de fermentación en el tratamiento posterior a la cosecha, pero también pueden generarse a través de reacciones de tipo Maillard al tostar (Poisson et al., 2014).

**Tabla 10**

*Contenido de ácidos en granos de café verde, % base seca*

Ácidos	Arábica (%)	Robusta (%)
Cítrico	1.16 a 1.38	0.67 a 1.00
Málico	0.46 a 0.67	0.25 a 0.38
Fosfórico	0.11 a 0.11	0.14 a 0.22
Oxálico	Trazas a 0.2	Trazas a 0.2
Succínico	Trazas a 0.15	0.05 a 0.35
Fórmico	Trazas a 0.14	Trazas a 0.39
Acético	Trazas	Trazas a 0.2

Fuente: Puerta (2011)

Si bien el café es conocido por su rico contenido de CGA en contenidos cafeicos, hoy por hoy es una de las especies con las concentraciones más altas de todas las plantas, se puede decir que las judías verdes Robusta contienen más CGA significativamente que el café Arábica (Ávalos y Mera, 2018). Se ha informado que los principales ácidos del café (CGA) tostado son: clorogénico, quínico, cítrico, acético, málico, fórmico, fosfórico, glicólico, láctico y otros 36 ácidos (Puerta, 2011).

Puerta, (2011) considera que estos ácidos provienen del café almendra y otros se producen en la tostación a partir de los carbohidratos, sacarosa, ácidos cítrico, málico y fosfórico, trigonelina y lípidos contenidos en la baya. Por otro lado, el mismo autor menciona que en los volátiles del café tostado se encuentran también más de 20 ácidos como el propanoico, butanoico, pentanoico, heptanoico y otros ácidos grasos.

## **2.5 Características sensoriales del café**

El papel del analista sensorial es ser el vínculo entre los proveedores de café verde, tostadores y otro personal de producción, cerveceros, baristas y comercializadores, son responsables de especificar un producto en función de su uso previsto utilizando un lenguaje común acordado entre los profesionales, la precisión de estas especificaciones es crítica porque serán esenciales para la identidad del producto a lo largo de la cadena de valor desde su fabricación hasta su comercialización hasta su consumo final Sunarharum (2014).

Al respecto, Thomas et al., (2017) señalan que examinar los datos sensoriales en paralelo con los parámetros de producción, como los niveles de tostado o las condiciones de extracción, puede revelar la fuente tecnológica de ciertos atributos de sabor, mientras que examinar los atributos sensoriales en paralelo con las preferencias del consumidor o los datos de ventas puede revelar lo que es atractivo para el consumidor y explicar el éxito de ese café en particular.

Stone y Sidel (2004) definen a la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones humanas a esas características de los alimentos y bebidas tal como son percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y escuchar”, de esta definición se podría aludir que a lo que llamamos gusto en el lenguaje común también se llama sabor en el lenguaje científico, el cual se basa en una percepción más amplia que el simple sentido del gusto, definiendo al sabor como una percepción sensorial producida por el consumo de alimentos o bebidas.

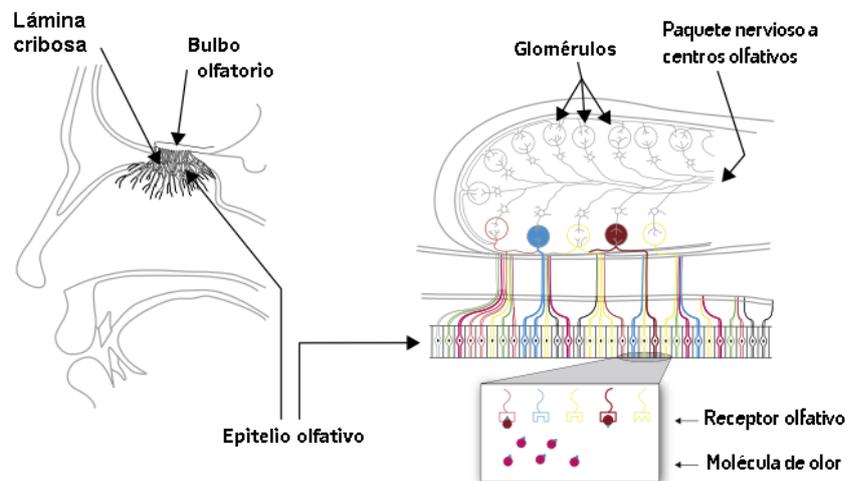
### **2.5.1 Gusto o Gustación**

La percepción del gusto está mediada por las células receptoras del gusto que se encuentran en la lengua (borde y parte dorsal anterior) pero también en el paladar blando, la faringe y la laringe, si bien estas células residen predominantemente dentro de las papilas gustativas, sus estructuras contienen diferentes tipos de células que juegan un papel diferente en la percepción del gusto (García, 2018).

En el café estos compuestos moleculares que provocan la percepción dulce, amarga y umami son detectados por los receptores acoplados a la proteína G, mientras que los canales iónicos detectan iones como el  $\text{Na}^+$  que provoca una percepción salada o el  $\text{Ca}^{2+}$  que provoca otras sensaciones gustativas (Breslin, 2019).

### 2.5.2 Olfato

La activación del sistema olfativo es responsable de la percepción del olor, si bien una especificidad de olfato es que los receptores son expresados por neuronas en lugar de por células, como es el caso de otros sistemas sensoriales como el gusto, cada una de estas neuronas olfativas expresa un tipo único de receptores olfativos, que pueden detectar varias moléculas de olor Thomas et al., (2017).



**Figura 22.** Ilustración esquemática del sistema olfativo

Fuente: Thomas et al., (2017)

En el café una sola molécula odorante puede activar varias neuronas y, en consecuencia, varios tipos de receptores (Figura 22), dicha codificación olfatoria se basa en la combinación de receptores olfativos que se activan, es decir la población de neuronas olfativas que expresan un mismo receptor olfativo converge a la misma estructura llamada glomérulo y por lo tanto, la respuesta olfativa se convierte en un mapa de olor que se puede visualizar experimentalmente (Revi, 2019).

### 2.5.3 Impresión visual

Más allá de la integración de las respuestas olfativas, gustativas y somatosensoriales para construir la percepción del sabor, la información sensorial está más integrada con otra información como la memoria o las emociones para dar forma a la percepción de un producto

alimenticio. Según Köster (2009), muchos factores influyen en la percepción del producto, los mismos que darán forma a las elecciones de alimentos, tales como factores fisiológicos, factores psicológicos, situación, y factores socioculturales.

En este sentido, el café como cualquier producto alimenticio no es fácil de comprender. Los expertos en café capacitados no necesariamente pueden estimar si el producto que conformarán será aceptado por el consumidor promedio. Por ejemplo, la percepción visual de los granos de café generalmente se basa en su color, brillo, tamaño, forma, etc., los mismos que pueden generar características de acidez hasta el punto en que algunos tostadores acentúan deliberadamente estos atributos y, sin embargo, no se ha estudiado la cantidad de consumidores que gustan de esta experiencia.

## Capítulo III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Caracterización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en dos etapas, la fase de campo efectuada en la parroquia Jacinto Jijón y Camaño del cantón Mira, provincia del Carchi y, la experimental realizada en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Universidad Técnica del Norte, y en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental de Santa Catalina, en la tabla 11 se describen las condiciones climatológicas de los lugares de la experimentación y desarrollo:

**Tabla 11**

*Condiciones Climatológicas de la Ciudad de Ibarra y Quito*

Condiciones climatológicas	Descripción	
Provincia:	Imbabura	Pichincha
Cantón:	Ibarra	Mejía
Parroquia:	El Sagrario	Cutulagua
Sitio	Laboratorios UTN (Campus San Vicente de Paúl)	Estación Experimental Santa Catalina
Temperatura:	17.7 °C	18.0 °C
Altitud:	2256 m. s. n. m.	3050 m. s. n. m.
HR promedio:	72%	76%
Latitud:	00°19'47" Sur	00° 22' 00" Sur
Longitud:	78°07'56" Oeste	78° 33' 00" Oeste
Precipitación Promedio:	Anual 541.6 mm	1127.5 mm

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología e Hidrología [IMAMHI] (2020)

#### 3.2 Materiales y equipos

Los insumos, reactivos, equipos, instrumentos y materiales que se emplearon para el desarrollo de la investigación, se encuentran detallados en la Tablas 12, los mismos que sirvieron de instrumento para medir, evaluar y alcanzar el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente estudio.

**Tabla 12***Materias, instrumentos y equipos empleados en la investigación*

Materiales y Equipos	Reactivos
- Tubos de ensayo de 10ml	- Carbonato de sodio al 20%
- Balanza analítica	- Ácido gálico de 200ppm
- Placa de agitación	- Metanol de 0.791 a 0.872g/ml
- Balones aforados	- Cloruro de sodio
- Pipetas	- Agua destilada.
- Erlenmeyer con tapa rosca	- Trolox6hidroxy. 2,35,7,8
- Vasos de precipitación	- ABTS
- Micropipetas	- Persulfato de potasio
- Balones de aforo	- Fosfato de sodio monobásico grado reactivo
- Vasos de precipitación	- Fosfato de sodio dibásico
- Papel Whatman	- Ferrocianida de potasio.
- Frascos ámbar	- Ácido tricloroacético
- Probetas	- Cloruro férrico.
- Tubos de vidrio	- Cloruro de aluminio hexahidratado
- Jeringas plásticas	- Nitrito de sodio
- Tubos de centrifuga	- Hidróxido de sodio
- Embudos de vidrio para filtración	- (+) catequina hidratante 98% aldrich chem
- Centrifuga WIFUG	- Metanol grado P.A
- Lámpara de rayos infrarrojos.	- Ácido fórmico, grado p.a. 98-100%
- Potenciómetro y Refractómetro.	- Acetonitrilo grado HPLC
- Cámara de absorción atómica	- Agua bidestilada
- Microscopio óptico y estero	- Metanol grado HPLC
- Placa de agitación	- Metanol grado reactivo al 99.5%
- Baño ultrasónico	- Ácido gálico monohidratado
- Espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu	- Reactivo de folin & Ciocalteu Merk.
- pHmetro	- Carbonato de sodio 99.5% Fluka 71350
- Mufla y Estufa	
- Cromatógrafo Líquido de Alta resolución (HPLC)	

### 3.3 Descripción de la metodología

La metodológica empleada en este estudio es cuantitativa debido a la estructura experimental y a la visión objetiva del problema. Se consideró esta metodología ya que implica validar los

resultados a partir de diferentes técnicas, como el método estadístico. Sin embargo, al ser un proceso deductivo secuencial, el cual analiza y aborda de forma sistemática la problemática. Se ha propuesto una serie de hipótesis con el fin de medir el impacto del estudio propuesto, así como se ha dispuesto de un control sobre los factores del fenómeno, precisando y analizando al problema desde su fundamento y su aplicación. Por otro lado, a continuación, se describe la metodología planteada con el fin de abordar la objetividad del estudio en un enfoque metodológico, con el propósito de responder la hipótesis de investigación:

### **3.3.1 Caracterización de los componentes bioactivos del café**

La materia prima empleada en el desarrollo del presente estudio fue café pergamino seco de la especie *Coffea arábica*, de las variedades típica, bourbon sidra y caturra rojo, proveniente de la Asociación “Bosque Nublado Golondrinas”, posteriormente una vez recibida las bayas del cafeto se procede a realizar una selección y clasificación, esto con el fin de eliminar impurezas, granos de mala calidad o cualquier contaminante que pudiere generar defectos en los procesos posteriores.

Una vez sometidas las muestras a los diferentes subprocesos de la obtención de café tostado, se procedió a evaluar a las mismas bajo el criterio de Farah (2012) y Folmer (2017), los cuales señalan que ciertamente existen diversos métodos y técnicas en cuanto a determinar las características de los componentes bioactivos en el café, pero consideran que dentro de los críticos de calidad son contados los parámetros a valorar, por lo mencionado se consideró y determino los siguientes compuestos:

- Contenido de flavonoides y fenoles totales
- Ácidos clorogénicos (ácido cafeico, clorogénico, siríngico y ferúlico)

Los protocolos de laboratorio que describen la determinación de cada uno de los antes mencionados análisis se efectuaron bajo las normas ISO y AOAC respectivamente, los mismo que se detallan en el anexo 2 del presente documento. Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza con el fin de identificar las diferencias que existe entre cada tratamiento. Las directrices para el diseño se siguieron de acuerdo con el punto 3.3.2 del presente estudio. Los resultados se presentaron como promedio  $\pm$  desviación estándar.

### 3.3.2 Evaluación de la actividad antioxidante sobre los parámetros del tostado

La evaluación de la capacidad antioxidante del café se realizó bajo el siguiente esquema (diseño experimental), el mismo que consistió en:

- **Diseño:** DBCA AxBxC
- **Tratamientos:** 12, (tabla 13)
- **Unidades experimentales:** 36

#### 3.3.2.1 Factores controlables.

Se desarrolló la fase experimental bajo la consideración de Schenker & Rothgeb (2017), Díaz et al., (2018) y Parra et al., (2019) los cuales mencionan que dentro de los criterios técnicos y de calidad en el proceso de tueste existen diversos factores que afectan directamente las cualidades del producto final y que deberían ser tomadas en cuenta antes de abordar dicha operación, estos parámetros antes mencionados se describen, a continuación, como componentes afectantes dentro de la cuantificación de los mismos:

**FACTOR A:** Variedad del café

- **A1:** Típica
- **A2:** Caturra rojo
- **A3:** Bourbon sidra

**FACTOR B:** Temperaturas de Tostado

- **B1:** 190 °C
- **B2:** 220 °C

**FACTOR C:** Tiempo de tueste

- **C1:** 12 min
- **C2:** 18 min

En resumen, el modelo estadístico antes mencionado se llevó bajo el criterio del diseño de bloques completos al azar (DBCA), considerando la heterogeneidad de las unidades experimentales dentro de cada bloque (Tabla 13), pero difiriendo entre los mismos, cada repetición correspondió al número de bloques, se asumió como factor no controlable la variación (en forma de control de la fluctuación misma de los factores en estudio) de la temperatura en función del tiempo.

**Tabla 13***Tratamientos*

Tratamientos	Combinaciones
T1	A1B1C1
T2	A1B1C2
T3	A1B2C1
T4	A1B2C2
T5	A2B1C1
T6	A2B1C2
T7	A2B2C1
T8	A2B2C2
T9	A3B1C1
T10	A3B1C2
T11	A3B2C1
T12	A3B2C2

**3.3.2.2 Variables dependientes.**

Considerando que las variables a evaluar son susceptibles a los factores antes mencionados, se determinó cuantificar las siguientes características químicas, con la finalidad de verificar y comprobar si existe una incidencia y significancia de estos en el producto final.

- Antioxidantes bajo el método FRAP
- Antioxidantes bajo el método ABTS

Por otro lado, la descripción metodológica de cómo se evaluaron estos parámetros se describe en el anexo 3.

**3.3.2.3 Síntesis del análisis de varianza****Tabla 14***Extracto del análisis de varianza (ADEVA)*

FV	GL
Total	35
Bloques	2
Tratamientos	11
Variedad café (A)	2
Temperatura (B)	1
Tiempo (C)	1
I AxB	2
I AxC	2
I BxC	1
I AxBxC	2
Error	22

Prueba de significancia: En caso de detectarse diferencias significativas se realizará la prueba Tukey (5%).

### 3.3.3 Caracterización proximal del café verde y tostado

En cuanto a la calidad comercial depende de las características fisicoquímicas de los granos del café y de las características sensoriales de la bebida, por tal razón se consideró realizar un análisis proximal a los mejores tratamientos identificados en el análisis Tukey al 5% con la finalidad de identificar si las características químicas (humedad, fibra, grasa, proteína, cenizas y minerales) presentan una variación dentro del proceso experimental tanto para el café en verde y tostado de los mejores tratamientos.

Por otro lado, los granos de café verde Arábica (Típica, Caturra rojo y Bourbon sidra) fueron tratados de manera similar, como ya se ha explicado; calentados en la etapa inicial de tostado a diferentes temperaturas (190 – 220 °C) y tiempos (12 – 18 min) respectivamente. Se evaluaron los granos de café resultantes (muestras) y los granos de café crudos sin tostar. Inicialmente, las composiciones de granos de café verde y tostado se analizaron como información de fondo.

Sin embargo, dichos análisis dentro de la objetividad del estudio se observaron, evaluaron y midieron conforme al Anexo 1 y Tabla 15, donde se describen los protocolos de testeo de cada uno de ellos. Como dato todas las pruebas fueron realizadas por triplicado y basados en los métodos oficiales de análisis de la Asociación Oficial de Químicos Analistas (AOAC) e ISO. Los resultados se contrastaron por medio de estadística descriptiva – para medir la fluctuación porcentual entre el café verde y tostado –. Los resultados se presentaron como promedio  $\pm$  DS.

**Tabla 15**

*Métodos empleados en la cuantificación del análisis proximal*

Matriz	Método
Humedad	(Método oficial AOAC 930.15/90 modificado)
Cenizas	NTE INEN 1119:2013 primera revisión 2013-09
Grasas	NTE INEN 1119:2013 primera revisión 2013-09
Proteínas	Método kjeldahl número 2.062 de AOAC:1984
Fibras	NTE INEN 1116:2013
Macro y microelementos	AOAC (2005) en sus normas AOAC 965.30, AOAC 991.25 (calcio y magnesio) La determinación de p se llevó a cabo mediante espectrofotometría visible, empleando la metodología de la norma AOAC 970.39.

### 3.4 Manejo específico del experimento

El proceso se guió bajo el esquema de la Figura 23, el mismo que describe los subprocesos que se abordaron para el cumplimiento de los objetivos e hipótesis planteadas.

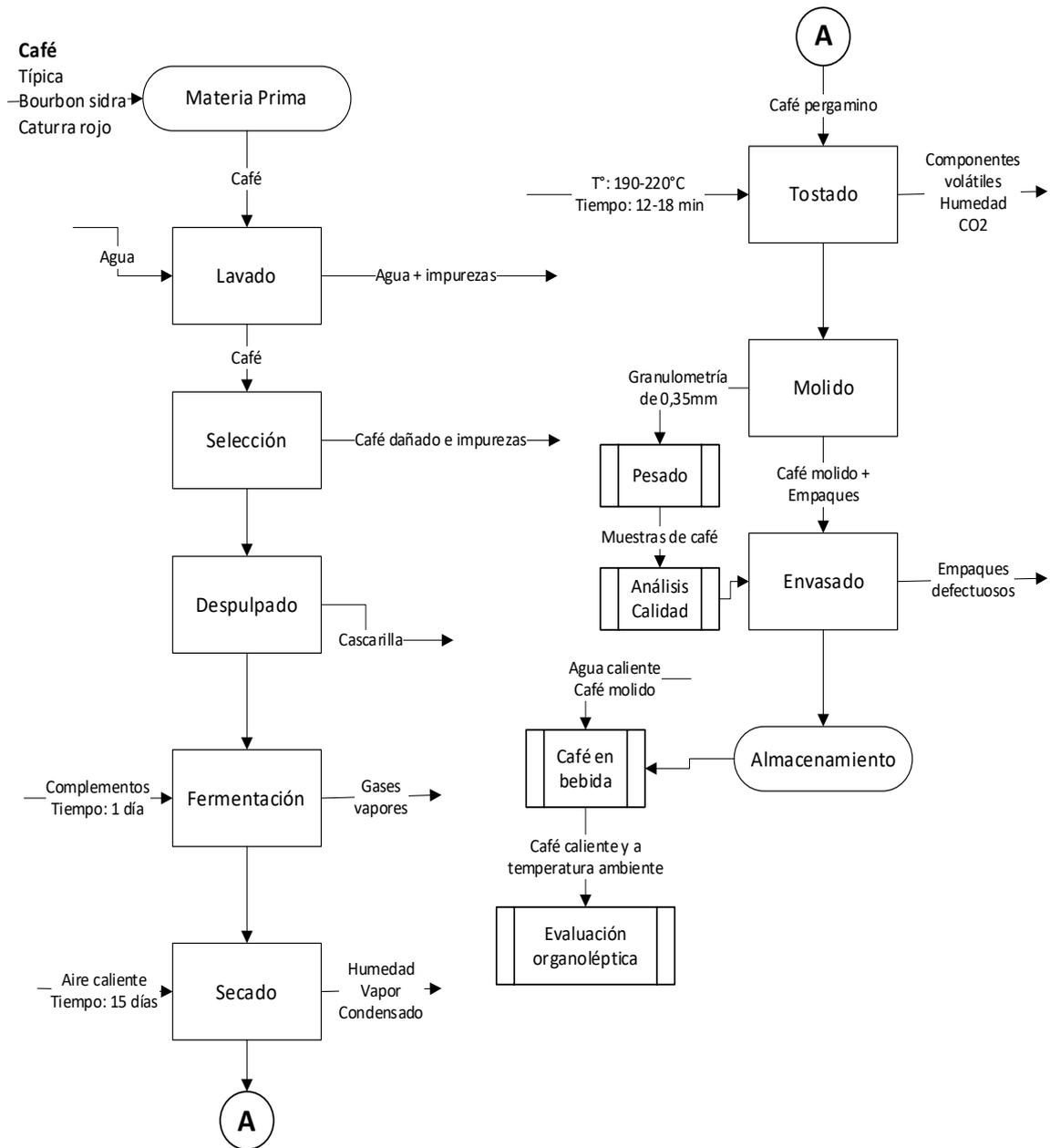


Figura 23. Diagrama del proceso del café tostado molido

### 3.4.1 Descripción del proceso

#### 3.4.1.1 Recepción de la materia prima

Se empleó café verde de la variedad *C. arábica* (típica, bourbon sidra y caturra rojo) procedente de la Asociación “Bosque Nublado Golondrinas” como se muestra en la figura 24, el proceso de benéfico utilizado fue el mismo de la organización antes mencionada por fines investigativos.



**Figura 24.** Variedades de café: A) Típica, B) Bourbon Sidra y C) Caturra rojo

Como se ilustra en la Figura 25 una vez identificadas las variedades de café a emplear, se procedió a cosecharlo en canastos y almacenarlo en sacos de yute o costalillos por sus beneficios (bajo impacto ambiental, aporta buena oxigenación a los granos del café, posee propiedades aislantes por su baja conductividad térmica, protegiendo al cafeto de temperaturas extremas, otros.), para posteriormente ser trasladados al área de experimentación antes mencionada.



**Figura 25.** Cosecha del café A) Selección, B) y C) almacenamiento

#### 3.4.1.2 Lavado

Este proceso se llevó a cabo empleando abundante agua, esto con el fin de eliminar sustancias extrañas impurezas (Figura 26).



**Figura 26.** Lavado de los granos de café

#### **3.4.1.3 Selección.**

Una vez lavadas las bayas del café se procedió a retirar todo tipo de material extraño ajeno al cerezo, posteriormente, se clasificó visualmente al mismo con la finalidad de separar los frutos del cafeto buenos (o de calidad) de los malos, por sus características físicas.

#### **3.4.1.4 Despulpado.**

Esta operación consta de la eliminación o separación de la cáscara o cascarilla del cerezo, se realizó con una despulpadora mecánica por fricción como se muestra en la Figura 27, la cual por su mecanismo logra este desprendimiento.



**Figura 27.** Despulpado del cerezo del café por acción mecánica

### 3.4.1.5 Fermentación.

Consiste en la eliminación del mucílago que cubre al pergamino por acción enzimática; la fermentación se ejecuta en un tanque de madera, plástico o de concreto como se ilustra en la Figura 28, pero no en tanques de hierro debido a que manchan el pergamino, su mecanismo yace en la acción generada por los microorganismos propios del café, los mismos que aportan con las características finales de aroma e intensidad.



**Figura 28.** Proceso de fermentación del café

### 3.4.1.6 Secado

Al terminar la fermentación se secó al sol (Figura 29), que consiste en extender el café, en secadores con el fin de reducir la humedad hasta un 12 – 14 %, el objetivo de ejecutar esta acción es detener o eliminar el crecimiento microbiológico para conservar el grano de café. Posteriormente, en esta etapa se efectúa el pesado del café en pergamino, el cual tuvo un peso de 5.20 kilogramos.



**Figura 29.** Secadores solares empleados en el secado del café

### 3.4.1.7 Tostado

Como se muestra en la Figura 30 el proceso consiste en someter al café crudo a temperaturas altas (190°C x 12 min., y 220°C x 18 min) y tiempos fijos de manera uniforme, se emplea movimientos constantes (por acción mecánica) hasta alcanzar el termino adecuado; una vez el grano haya alcanza el color fijado por criterio técnico del tostador, se da por terminado el proceso de tostado, para luego proceder a enfriarlo con el fin de dar otras cualidades al producto final.



**Figura 30.** Tostado del café: A) Ingreso de café y B) Proceso terminado

### 3.4.1.8 Molido.

Como se muestra en la figura 31 se muele el café con el fin de obtener granulometrías muy finas, gruesas o medias, dependiendo el propósito del producto a la taza de café y sus características, este proceso se realizó en un molino apto para el café, el cual pueda ajustar sus diámetros a conveniencia.



**Figura 31.** Molienda de los granos tostados del café

### **3.4.1.9 Pesado**

Se lo realiza con la finalidad de conocer la pérdida de peso o merma (como productividad) generada por todos los procesos y subprocesos que intervienen en el mismo. Se pesó en una balanza analítica con la finalidad de obtener el peso correspondiente para el respectivo análisis. No obstante, en este punto se muestrea cada uno de los lotes con el objetivo de realizar los respectivos análisis (físicoquímicos, funcionales u organolépticos) de calidad como el fin de evaluar los atributos finales del mismo (Figura 32).



**Figura 32.** Resultados analitos del espectro muestral del café

### **3.4.1.10 Envasado**

El producto terminado se empaco en fundas ziploc como se muestra en la figura 33 por sus características (evita la transpiración, mantiene la frescura, otros), aptas para el contacto con el café.

### **3.4.1.11 Almacenado.**

El producto terminado se almaceno en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente



**Figura 33.** Almacenamiento y etiquetado del producto fina

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos dentro de los análisis planteados y pertinentes en la metodología de investigación del estudio titulado “Evaluación de los parámetros del proceso de tostado sobre la actividad antioxidante de tres variedades de café arábica *Coffea arábica L.* (típica, caturra rojo y bourbon sidra)” con la finalidad de responder, evaluar y analizar la objetividad de la misma sobre la influencia de los factores de estudio y su incidencia en las características del café (verde y tostado).

#### 4.1 Polifenoles totales

Los resultados obtenidos para polifenoles totales presentaron fluctuaciones en todos sus tratamientos por efecto del tostado (tiempo y temperatura). Se identificó que el café Bourbon sidra contiene una mayor concentración de ácido gálico que el de Típica y Caturra rojo, este efecto no solo fue evidente en el café verde, sino en todos los niveles de tratamientos evaluados (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Contenido de polifenoles totales en muestras de café verde y tostado*

Tiempo de tueste (min)	Temperatura de la etapa de tostado (°C)	Típica	Caturra rojo	Bourbon sidra
		Media mg GAE/g	Media mg GAE/g	Media mg GAE/g
0	C. verde sin tostar	36.07±3.36	47.40±3.36	50.15±0.52
12	190	26.88±0.34	38.21±1.25	40.00±5.69
18		24.52±0.34	36.58±0.30	39.51±4.09
12	220	23.28±0.58	35.50±1.30	38.43±2.67
18		21.45±0.58	33.97±0.53	36.34±5.00

Sin embargo, al realizar el análisis de varianza se pudo comprobar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los factores A y B, pero no en sus interacciones (Anexo 6). Esto se contrastó mediante la prueba de Tukey al 5% (Tabla 26), permitiendo establecer tres grupos, donde el rango “a” resultó ser el menos afectado por los factores de estudio, pues presentaban un contenido de GAE elevado en comparación con los otros tratamientos. Varias serían las

causas que justifiquen estas diferencias entre tratamientos, por ejemplo: la degradación de los componentes del café o por la aparición de una reacción química inducida en el procedimiento de tostado o por la relación de la variedad, el origen del café, las condiciones del cultivo u otros factores que están inherentes en el proceso y la cuantificación (Lupano, 2013; Kamiyama et al. 2015; Vega et al. 2018), lo que, sugiere que el contenido de GAE se vea afectado significativamente por los factores de estudio.

Estos resultados permiten contrastar la idea que los granos de café contienen un alto contenido de polifenoles en comparación a otros productos, siendo los ácidos clorogénicos los más notorios en este caso (Díaz et al. 2018). No obstante, se pudo comprobar que la variedad A3 (C. Bourbon sidra) era muchos más resistente a las condiciones del tostado (Temperatura: B2) que sus congéneres.

## 4.2 Flavonoides totales

Como se puede ver en la Tabla 17, entre las variedades de café analizadas, el café Típica generalmente exhibió el mayor contenido de flavonoides totales, seguido de Caturra rojo y Bourbon sidra. Estos resultados son semejantes a los reportados por Vega et al., (2017) con un promedio de catequina/g equivalente a 22.16 – 38.29 mg y superiores a los obtenidos por Hečimović et al., (2011) con un valor de 15.41 y 17.29 mg/g; sin embargo, estas diferencias de acuerdo con los investigadores se deben al grado y efecto del proceso de tostado.

**Tabla 17**

*Contenido de flavonoides totales (mg/g) en muestras de café verde y tostado*

Tiempo de tueste (min)	Temperatura de la etapa de tostado (°C)	Típica	Caturra rojo	Bourbon sidra
		Media mg/g	Media mg/g	Media mg/g
0	C. verde sin tostar	46.30±1.38	45.78±1.34	43.70±1.75
12	190	39.28±1.37	38.24±1.09	35.44±0.75
18		33.49±0.23	31.08±1.43	30.13±0.77
12	220	30.30±0.32	27.77±0.98	23.23±1.59
18		25.28±0.36	24.10±1.31	20.55±0.26

Por otro lado, el contenido de flavonoides totales se relacionó con el contenido de polifenoles, lo que fue confirmado por una correlación positiva de  $r = 0.7735$ , misma que dentro la revisión bibliográfica ( $r=0.8296$ ) y relación máxima es aceptable (Górecki et al., 2020). Los resultados obtenidos indican que los factores de estudio (A, B y C) e interacciones (AxB y BxC) afectan significativamente ( $p<0.05$ ) a los flavonoides y a los compuestos bioactivos del café en general (Anexo 7). Sin embargo, el tratamiento térmico a  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 12 min conservo en mayor cantidad el contenido de catequina en comparación con el resto de los factores en estudio (Tabla 27).

Al comparar los resultados de los flavonoides totales dentro de la misma variedad (Tabla 17), se pudo observar diferencias entre los grupos identificados (Tabla 28) por efecto de la temperatura y tiempo de tueste, a excepción de la variedad C. Típica la cual muestra un aumento en el contenido de catequina. Esto de acuerdo con Katsube et al., (2009) se debe a que dichos compuestos se ven afectados directamente por factores intrínsecos al proceso de tostado y a las características propias de cada variedad.

Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, es probable que un proceso de tostado ligero ayude a liberar más polifenoles y flavonoides, ya sea, por disrupción física o por catálisis de la formación de estos compuestos. Ahora bien, algo que destacar es que, durante el proceso de tostado, los granos mostraron la mayor degradación térmica de polifenoles y flavonoides. Para las variedades C. Típica y Caturra rojo el contenido de catequina no se vio tan afectado por el tostado en comparación al de C. Bourbon sidra (Tabla 28).

Por otro lado, como se puede contrastar en la tabla 15 y 16, los flavonoides constituyen un valor considerable del total de polifenoles, lo que indica que una mayor parte del total de polifenoles se atribuye a compuestos no flavonoides, representados por ácidos fenólicos, como lo informó un estudio anterior Hečimović et al. (2011). Sin embargo, tras efectuar el proceso de tostado el contenido de catequina se degrada significativamente.

### **4.3 Contenido de ácidos clorogénicos**

El contenido promedio de los compuestos individuales 5-CQA (Ác. Clorogénico), CA (Ác. Cafeico), FA (Ác. Ferúlico) y SyA (Ác. Siríngico), en los cultivares de *C. arábica* investigados se presentan en la Tabla 18.

Por primera vez, la distribución y el contenido de cuatro CGA se compararon en cultivares de café arábica ecuatoriano. Los contenidos de CGA observados en el presente estudio son

consistentes con los datos anteriores para el café en general (Marín et al., 2008; Monteiro et al., 2012; Jeszka-Skowron et al., 2015). Se pudo identificar diferencias entre el contenido de ácidos clorogénicos y las variedades de café en todos los casos, esto se contrastó al comparar el contenido de ácidos al inicio y después del tratamiento térmico (Anexo 8).

**Tabla 18**

*Promedio de los contenidos de ácidos clorogénicos en café verde y tostado de la especie C. arábica, según la variedad y las condiciones de operatividad (Tiempo y temperatura de tostado)*

Tiempo tueste (min)	Temperatura de la etapa de tostado (°C)	Ác. Cafeicos	Típica	Caturra rojo	Bourbon sidra
			(%)	(%)	(%)
0	C. verde sin tostar		4.082 ±0.016	3.989±0.007	4.556±0.037
12	190	Ác. Clorogénico	0.325±0.023	1.011 ±0.015	1.404±0.054
18			0.265±0.006	0.100±0.001	0.321±0.029
12	220		0.275±0.007	0.828±0.026	1.439±0.058
18			0.026±0.001	0.039±0.002	0.025±0.001
0	C. verde sin tostar		0.878±0.033	0.881±0.027	0.853±0.035
12	190	Ác. Cafeico	1.150±0.035	1.070±0.038	0.601±0.024
18			1.124±0.031	1.324±0.020	0.809±0.012
12	220		1.142±0.022	0.981±0.007	0.630±0.014
18			1.269±0.014	1.329±0.012	0.823±0.033
0	C. verde sin tostar		0.362±0.010	0.383±0.009	0.355±0.007
12	190	Ác. Siríngico	0.161±0.018	0.362±0.005	0.453±0.018
18			0.176±0.002	0.077±0.001	0.146±0.006
12	220		0.145±0.002	0.436±0.101	0.516±0.003
18			0.024±0.001	0.038±0.002	0.026±0.001
0	C. verde sin tostar		0.007±0.003	0.008±0.001	0.007±0.002
12	190	Ác. Ferúlico	0.086±0.001	0.113±0.003	0.037±0.002
18			0.093±0.001	0.061±0.002	0.075±0.004
12	220		0.078±0.001	0.123±0.029	0.084±0.002
18			0.018±0.001	0.033±0.001	0.017±0.001

Se demostró que los granos de café verde poseen un mayor contenido de ácidos clorogénicos que los cerezos tostados; sin embargo, en cuanto al contenido individual de CGA se apreció una disminución significativa ( $p<0.05$ ) en sus componentes de 5-CQA y SyA, a diferencia de CA y FA que presentaron un aumento en su contenido (Anexo 8). Varias serían las causas que sustentan estas diferencias entre los compuestos y, que estarían relacionados con las

variedades del café y el proceso de tueste explícitamente. Al respecto, Jeszka-Skowron et al., (2016) señalan que la degradación de los ácidos clorogénicos durante el tostado de café verde se produce por efecto del aumento de la absorción de agua y la formación de materiales poliméricos (como el caso de las melanoidinas) por condensación (Díaz et al., 2018), confirmando de esta manera la disminución de componentes bioactivos y el aumento de fuentes antioxidantes (Pérez et al., 2012; Iriando-DeHond et al., 2018).

En cuanto a la incidencia de las variedades es evidente que el contenido se ve afectado por las condiciones de crecimiento de la planta, la ubicación, la luz, el drenaje, la temperatura y el clima, las cuales condicionarían el proceso y la cuantificación (Farah et al., 2006).

Por otro lado, si bien los compuestos fenólicos del café apoyaron principalmente a las propiedades antioxidantes del café, existen todavía otros contribuyentes a considerar, como el kahweol y el cafeitol, los cuales se encuentran ampliamente en los granos de café, y son resistentes a las altas temperaturas (Gotteland et al., 2007; Puerta, 2011).

Otra posible explicación es que los compuestos fenólicos de distinta reactividad se ven afectados de manera diferente por el proceso de calentamiento (Jeszka-Skowron et al., 2015). Los ácidos fenólicos más predominantes en las muestras de granos de café fueron el ácido clorogénico y cafeico. Sin embargo, el grado de tostado afectó significativamente la acumulación de todos los ácidos (Anexo 8), pese a ello, en general se encontró mayores cantidades de todos los ácidos en los granos de café Bourbon sidra y Caturra rojo.

En cuanto al contenido individual de 5-CQA (Tabla 18), se pudo apreciar un mayor contenido de compuestos en los granos de café verde que en los tostados. Asimismo, se pudo comprobar que el efecto de los factores de estudio incide significativamente en el contenido final de 5-CQA. Sin embargo, los resultados resultaron ser más significativos en temperaturas de tueste altas que en ligeras. Esto como ya se explicó en parte por el resultado termosensible de los compuestos bioactivos hacia el calor y tiempo de tostado.

Por otro lado, los valores de ácido sirínico, ferúlico, gálico y cafeico expuestos en el Anexo 8 parecieron incrementarse bajo tostado ligero, mientras que el ácido cafeico, sirínico y ferúlico tendieron a aumentar en grados de tueste más altos en comparación con los granos de café verdes, con la excepción de los ácidos clorogénicos. En general, las variedades Bourbon Sidra y Caturra rojo presentaron mayor cantidad de CGA en comparación a C Típica.

Sin embargo, en el tueste se producirán la mayor cantidad de compuestos químicos que, en conjunto serán los precursores de impartir el aroma, sabor y presencia característico de un café. Al respecto, Chaves-Ulate et al., (2019) argumentan que, durante el tostado, los CGA se degradan formando por esterificación ácido quínico con CA, FA o p-cumárico, los cuales se han reportado como los responsables de impartir el sabor amargo y la astringencia, aunque dependiendo el nivel del tueste este puede variar.

No obstante, la cantidad de ácidos fenólicos que se investigó en los diferentes grados de tostado estarían relacionado con la formación y degradación de los CGA dentro del proceso de tostado. Hubo dos niveles de grado de tostado medio y oscuro. La composición de los CA se informó anteriormente de que los valores del contenido total (CGA) estaban relacionados con el grado de tostado (Ceballos y López, 2019). Las cantidades de ácidos totales y fenólicos individuales varían según el grado de tostado.

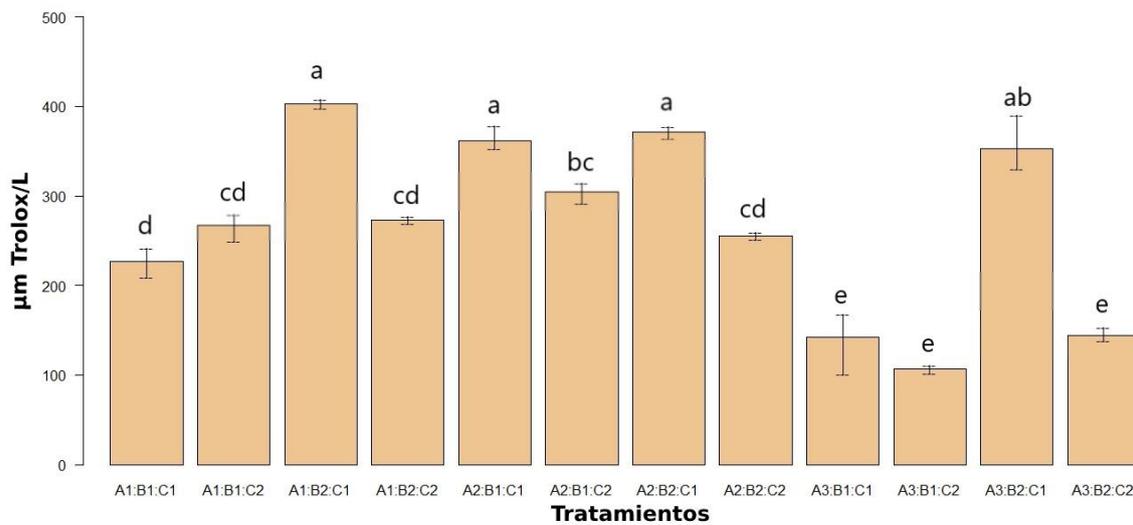
Finalmente, desde la perspectiva de los factores de estudio, claramente se puede observar una influencia significativa de la temperatura, tiempo y variedad de café en la cuantificación de CGA (Anexo 8), lo que quiere decir que, dependiendo de la especie de café y el tratamiento térmico empleado, los resultados de CGA pueden fluctuar considerablemente; sin embargo, esta degradación en algunos casos puede ser beneficiada por la aparición de otros compuestos.

#### **4.4 Efecto de los parámetros del tostado sobre la actividad antioxidante del café**

Se evaluó la capacidad antioxidante por el método FRAP y ABTS<sup>+</sup> en las muestras de café *arábica* y el efecto de los factores de estudio sobre este parámetro. A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada uno.

##### **4.4.1 Poder antioxidante férrico reductor (FRAP)**

En la Figura 34, se muestran los resultados obtenidos para la capacidad antioxidante empleando el método FRAP para cada muestra de café, expresado en términos de equivalentes de Trólox respectivamente.



**Figura 34.** Poder antioxidante férrico reductor (FRAP) en granos de café tostado

En promedio la actividad antioxidante (AA) oscilo entre 106.76 – 402.72  $\mu\text{m Trolox/L}$  para las diferentes variedades de café, donde el tratamiento T3 (A1B2C1) mostró la mayor capacidad de reducción férrica entre las muestras, mientras que T10, T12 y T9 mostraron un descenso significativo en la AA. Las diferencias entre los valores obtenidos fueron contrastadas en un análisis de varianza (Tabla 19).

**Tabla 19**

*Análisis de varianza para la actividad antioxidante FRAP del café tostado*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Bloques	2	314	157	0.53	0.60
Factor A (Variedad de café)	2	123038	61519	206.23	5.61e-15 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	38241	38241	128.20	1.20e-10 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	63746	63746	213.70	8.24e-13 ***
Interacción A x B	2	33979	16989	56.95	2.00e-09 ***
Interacción A x C	2	9065	4532	15.19	7.16e-05 ***
Interacción B x C	1	40439	40439	135.56	7.08e-11 ***
Interacción A x B x C	2	6273	3136	10.51	6.24e-04 ***
Residuos	22	6563	298		

\*\*\*: Altamente significativo

Los resultados de la Tabla 19 demuestran que independientemente del factor en estudio o relación de estos, hay una afectación del contenido final de la AA, en cierto nivel por las condiciones del cultivo y en otro por el proceso de tostado que se emplea. No obstante, los valores fueron consistentes con los obtenidos por Guevara (2012) y Londoño et al., (2013). Sin embargo, al existir diferencias significativas entre los tratamientos se contrastó estos bajo la prueba de Tukey al 5% (Anexo 5).

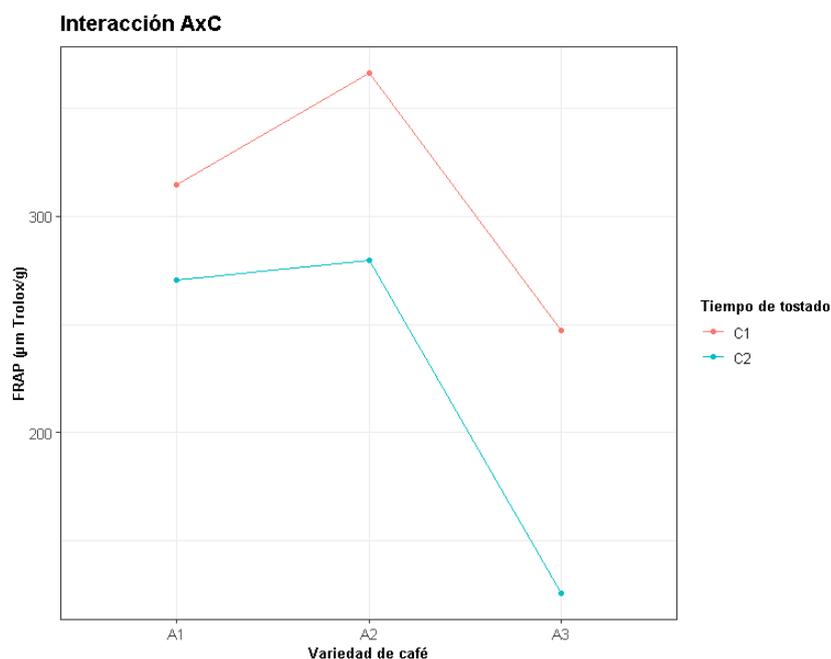
La prueba Tukey al 5% obtuvo cinco categorías, donde el grupo “A” presentó la mayor conservación de antioxidantes, esto fue más alto para el café Típica y más bajo para el café Bourbon sidra; con la única diferencia del tratamiento T11 que presentaba características similares del grupo “A”. Además, de observar un aumento en la actividad antioxidante entre los grados de tostado más altos (220 °C). Para Paucar (2010) esto estaría relacionado directamente con la pérdida de componentes fenólicos de bajo peso molecular, puesto que, es inversamente proporcional a los parámetros que controlan el proceso del tostado.

Al respecto, Priftis et al., (2015) argumentan que estas diferencias también se deberían a que algunos compuestos sintetizados durante el tostado, como las melanoidinas, generan un aumento considerable en la actividad antioxidante del café. Dentro del mismo análisis, Guevara (2012) recalca que estas diferencias están estrechamente relacionadas con la composición química de cada variedad, aunque no niega que estos contrastes guardan una relación directa con la descomposición de los compuestos fenólicos por reacción de Maillard, lo cual aumenta el potencial antioxidante del café (Hečimović et al., 2011), estos hallazgos han sido confirmados y corroborados por Liu y Kitts (2011), Vignoli et al., (2011) y Sánchez-González et al., (2005).

Por otro lado, el origen de los granos de café analizados es otro factor vital que afecta la actividad antioxidante, ya que, dependiendo de la variedad, el crecimiento de la planta, cosecha, composición (Lazcano et al., 2016), el tipo de preparación del café, u otro factor inmerso al cultivo (Nunes et al., 2007), se producen diferentes concentraciones de esos compuestos que constituyen reactivos para la reacción de Maillard o pirólisis lo que confiere diferentes AA por reacciones químicas (Rodríguez et al., 2017).

De la misma forma, los aumentos en la actividad antioxidante, producto de la temperatura B2 y tiempo C1, junto con los aumentos en el grado de tostado, no solo se deben a la aparición de melanoidina u otros compuestos, sino también a la liberación de polifenoles de bajo peso molecular altamente activos (Sacchetti et al., 2009). Esto en parte a la cantidad de

antioxidantes que pudiera reducirse mediante enzimas oxidativas e hidrolíticas activadas por procesamiento térmico (Cho et al., 2014).

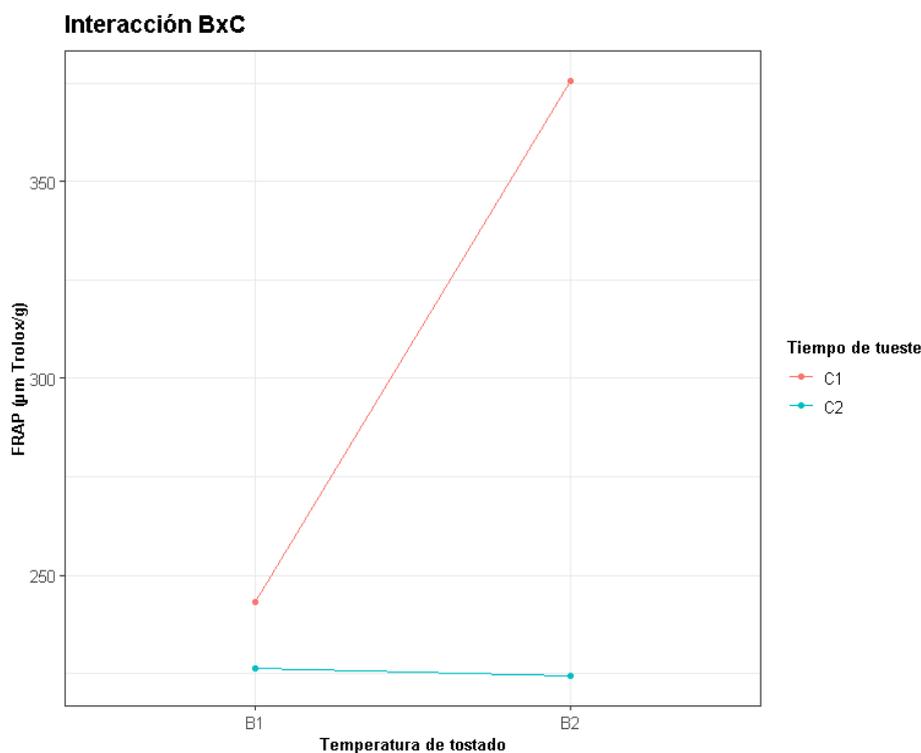


**Figura 35.** Interacción del factor A y C sobre la actividad antioxidante *FRAP*

De acuerdo con da Conceição et al., (2018) varias son las causas que justifiquen estas diferencias, una de ellas es el tostado del café que está condicionado por los factores intrínsecos que operan en el proceso, entre ellos el tiempo de tostado que interactúa de forma positiva con la ventilación que aumenta el agrietamiento cuando la apertura de la ventilación es más pronunciada. Sin embargo, el flujo de transición térmica es la única variable que ejerce una influencia negativa en la temperatura de craqueo, pues este está relacionado con la rotación del tambor, por lo que el uso de mayores revoluciones reduce el tiempo de transición térmica y por ende la calidad del producto final. Ahora bien, no hay que olvidar las características productivas del cultivo, pues, condicionan las características fisicoquímicas del café (Ormaza et al., 2018). De ahí que, la temperatura y el grado de tostado funciona de manera similar para las 3 variedades.

Respecto al tiempo de tueste y las variedades de café, en la Figura 36 se puede observar el efecto del proceso en el tostado del café, donde claramente se aprecia que todas las variedades tienen la misma respuesta al tiempo de tueste. Sin embargo, se puede apreciar que Caturra roja y café típica presentan un ligero aumento de la capacidad, lo cual se debe a los cambios en las propiedades antioxidantes que son influenciadas bajo condiciones variables de tostado, lo que implican que un tostado prolongado a altas temperaturas causaría

un cambio en la capacidad antioxidante del café, aludiendo que el aumento de la temperatura puede provocar la degradación de los compuestos fenólicos que están vinculados a las propiedades antioxidantes del café (Song et al., 2018).

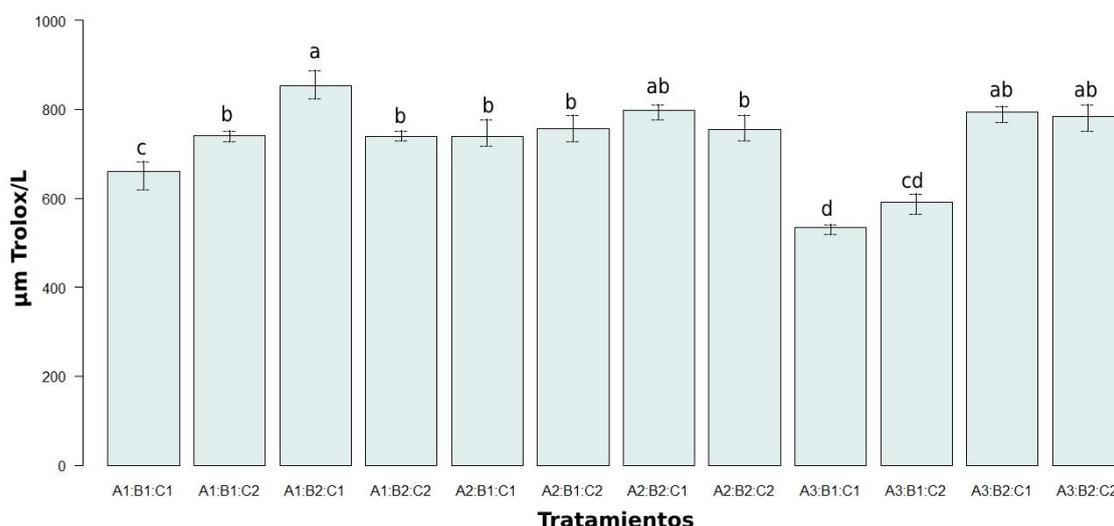


**Figura 36.** Interacción del Factor B (temperatura de tueste) y C (tiempo de tueste) sobre la actividad antioxidante FRAP

En cuanto a la interacción tiempo y temperatura de tueste en las muestras de café (Figura 36), se pudo observar que el tiempo C1 (12 min) experimentó un aumento considerable en la tasa de antioxidantes, obteniendo una mayor cantidad en altas temperaturas (220°C), al respecto Díaz et al., (2018) señalan que esto se debe a que durante la torrefacción se producen diferentes características fisicoquímicas que son causadas principalmente por las condiciones del proceso y las reacciones fisicoquímicas inducidas.

#### 4.4.2 Actividad antioxidante por el radical catión ABTS<sup>+</sup>

Los resultados del ensayo ABTS para las muestras preparadas a partir de los granos tostados de acuerdo con las diversas condiciones se presentan en la Figura 37. Se encontró diferencias apreciables asociadas con la especie de café y el grado de tostado (temperatura – tiempo de tueste).



**Figura 37.** Actividad antioxidante por el radical catión (ABTS) en granos de café tostado

De la Figura 37, el promedio del radical catión ABTS osciló entre 534.60 – 851.95 µm Trolox/L, el tratamiento T3 perteneciente a la variedad Típica presentó la mayor cantidad de antioxidantes, lo cual fue notorio en los dos casos (FRAP y ABTS) y el menor contenido se encontró en el T9 de la variedad Bourbon sidra. Las diferencias entre los valores obtenidos fueron analizadas estadísticamente mediante el análisis de varianza (Tabla 20).

**Tabla 20**

*Análisis de varianza para la actividad antioxidante ABTS del café tostado*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Bloques	2	1314	657	1.01	0.38
Factor A (Variedad de café)	2	50950	25475	39.30	5.47e-08 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	122196	122196	188.51	2.87e-12 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	26	26	0.04	0.84 ns
Interacción A x B	2	60948	30474	47.01	1.14e-08 ***
Interacción A x C	2	2882	1441	2.22	0.132 ns
Interacción B x C	1	25569	25569	39.44	2.55e-06 ***
Interacción A x B x C	2	8557	4279	6.60	5.68e-03 **
Residuos	22	14261	648		

ns: No significativo;

\*\*, \*\*\*: Altamente significativo

Sin embargo, hay que destacar que los valores FRAP fueron menores en comparación a los de ABTS. Esto de acuerdo con Londoño et al., (2013) se debe a que los compuestos

antioxidantes presentes en la fracción evaluada son altamente sensibles a los cambios, es decir, responden de diferente manera a la presencia de factores instintivos, convergiendo en diferentes respuestas y por lo tanto en la cuantificación.

Por su parte, la actividad antioxidante (Tabla 20), revelo diferencias significativas entre los factores principales (A, B y C) y las interacciones ( $\alpha < 0.05$ ). Los valores fueron consistentes con los obtenidos por Sunarharum (2019).

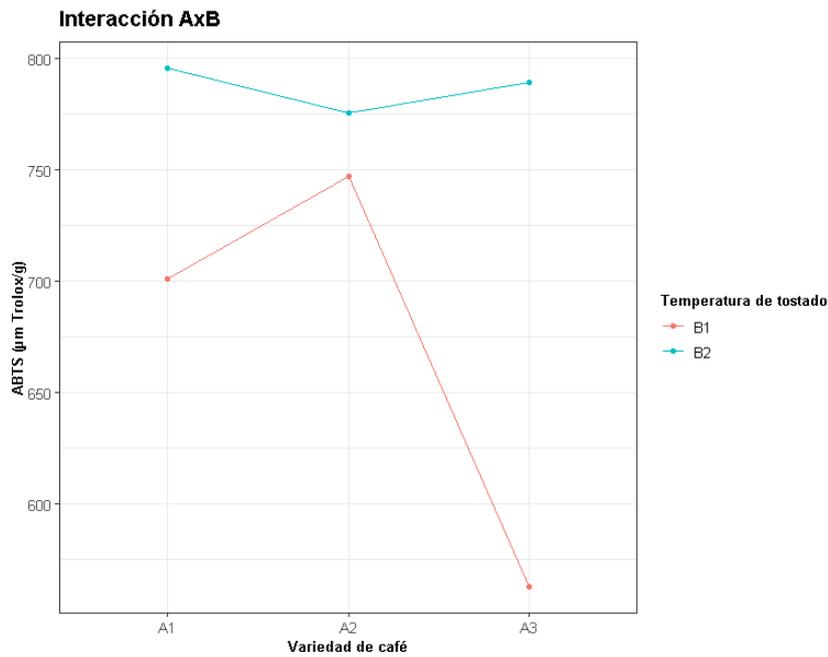
Se observó cuatro grupos, donde el grupo “a” mostró el valor más alto de antioxidantes, mientras el grupo “d” el valor más bajo (Anexo 5). La capacidad antioxidante mostró una disminución general hacia el café tostado más lento y oscuro para las muestras de café, lo que indica la degradación por calor de los compuestos activos y la susceptibilidad de las variedades a las condiciones definidas (temperatura-tiempo).

Por lo tanto, los compuestos de bajo peso molecular como los ácidos clorogénicos disminuyeron progresivamente desde las condiciones de tostado relativamente suaves a intensos, generando compuestos de alto peso molecular (por ejemplo, melanoidinas) y aumentando las propiedades antioxidantes con una magnitud decreciente hacia perfiles de tostado más lentos (Vignoli et al., 2011; Opitz et al., 2017).

Otros estudios han demostrado que el efecto significativo del tostado sobre la actividad antioxidante se debe al aumento del contenido fenólico total (TPC) de los granos de café (Naidu, Sulochanamma, Sampathu, & Srinivas, 2008). Sin embargo, la respuesta de las variedades de café varía según el tiempo y la temperatura de tostado, afectando significativamente la capacidad antioxidante (Haile et al., 2020).

Por otro lado, las diferencias en los resultados podrían surgir por los diferentes métodos analíticos utilizados para medir la actividad antioxidante, las diferentes formas de preparar café u obtener extractos y al efecto de los diferentes grados de tostado, los cuales carecen de una definición estándar (Dybkowska et al., 2017).

Por su parte, la Figura 38 muestra el efecto de la diferencia entre factores de estudio sobre la AA de las muestras de café. Se identificó que la temperatura B2 (220°C) presentó mayor concentración de antioxidantes en comparación con la temperatura B1 (190°C), la razón probablemente de estas diferencias se debía a la degradación de los componentes del o la ocurrencia de una reacción química inducida por el calentamiento que aumenta la disponibilidad o libera los compuestos antioxidantes (Sunarharum et al., 2019).



**Figura 38.** Interacción del Factor A (variedades de café) y B (temperatura de tuestión) sobre la actividad antioxidante ABTS

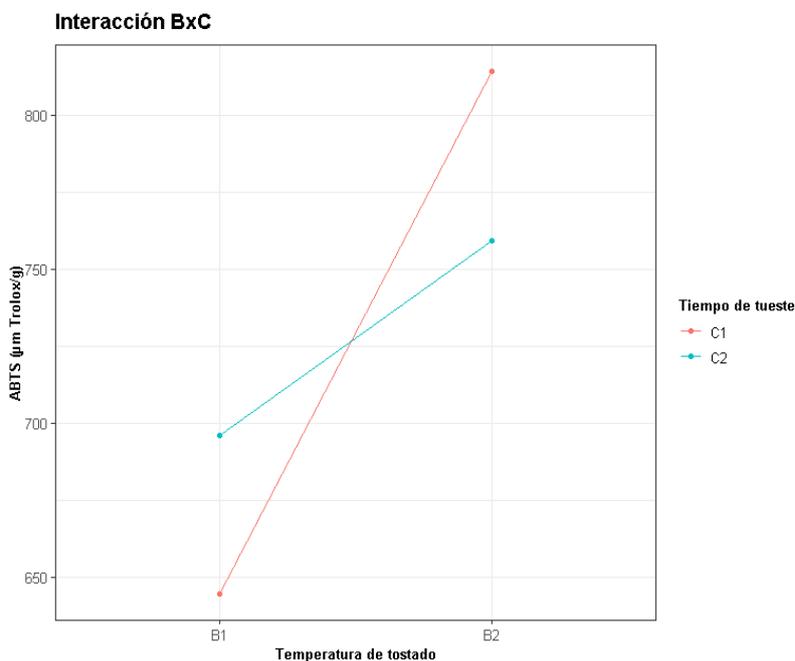
Priftis et al., (2015) también había declarado que algunos compuestos sintetizados durante el tostado, como las melanoidinas, podrían contribuir al aumento de la AA del café. Sin embargo, un aumento considerable de la temperatura habría disminuido la AA debido a la degradación de los compuestos del café y a la ruptura de enlaces con el de las proteínas que inhiben la capacidad de reaccionar con los radicales libres (Kamiyama et al., 2015).

Respecto a la interacción de la temperatura y el tiempo de tueste (Figura 39), se observó claramente que el aumento del tiempo de tostado disminuye la concentración de antioxidantes, mientras que perfiles de tostado ligeros (12 min) desarrolla otros compuestos activos que aumentan la capacidad antioxidante en temperaturas altas (220°C) (Pino, 2011).

Sin embargo, la interacción AxC indica que el contenido de antioxidantes aproximadamente de 725 µm Trolox/g es el punto donde la temperatura y tiempo presentan un mismo efecto sobre la actividad antioxidante en los granos de café, es decir, donde se produce la degradación de compuestos bioactivos del café para formar otras sustancias de valor agregado que benefician al producto final.

Por otro lado, las diferencias entre los ensayos FRAP y ABTS, de acuerdo con Priftis *et al*, (2015) pueden atribuirse a la reactividad variable de estos 2 radicales a los componentes de cada muestra de café. El hecho de que el tostado aumentara la actividad antioxidante en algunas muestras y la redujera en otras puede explicarse por la diferente composición

fenólica de estas variedades o por la alteración física de los componentes celulares por el procesamiento térmico (mejorando la liberación de antioxidantes).



**Figura 39.** Interacción del Factor B (temperatura de tóstico) y C (tiempo de tueste) sobre la actividad antioxidante ABTS

Sin embargo, de acuerdo con Opitz et al., (2014) estas diferencias también podrían estar relacionado con la naturaleza de la prueba, dado que FRAP cuantifica radicales libres que solo transfieren un electrón, mientras que ABTS el electrón más un átomo de hidrogeno, de modo que al medir cada ensayo tendrá una desviación de medida, pero que dependerá netamente del ensayo y del radical que se desee evaluar.

#### 4.5 Composición proximal del café verde y tostado

Como se explicó anteriormente, previo y después de realizar el tostado, se caracterizó las muestras del café verde y tostado de los mejores tratamientos con respecto a los parámetros de humedad, fibra, extracto etéreo y otros, descritos como análisis proximal con la finalidad de evaluar el comportamiento de los compuestos antes mencionados durante el proceso de tueste. En este sentido, los resultados del análisis proximal se pueden ver en la Tabla 21.

Los resultados arrojados del análisis proximal en las muestras de café mostraron que los tratamientos de café Arábica (Típica, Caturra rojo y Bourbon sidra) verde y tostado difieren significativamente en su composición (algunos componentes). Se identificó que el café Caturra rojo tenía menos cenizas, fibra, humedad y más proteínas que sus congéneres, a

diferencia de C. Típica que mostró mayores contenidos de lípidos y cenizas que las otras variedades.

**Tabla 21**

*Análisis proximal del café verde y tostado*

Componentes	C. Típica T3 (12 min a 220°C)		C. Caturra rojo T7 (12 min a 220°C)		C. Bourbon sidra T11 (12 min a 220°C)	
	Grano Verde	Grano Tostado	Grano Verde	Grano Tostado	Grano Verde	Grano Tostado
Humedad (%)	11.010	2.070	10.830	1.930	11.250	2.380
Fibra (%)	32.573	22.824	31.230	21.107	34.320	24.215
Grasa (%)	10.222	12.045	9.669	11.478	9.341	10.514
Proteína (%)	13.250	10.355	14.625	11.065	13.395	10.690
Cenizas (%)	4.220	3.540	3.865	3.160	4.040	3.310
Macroelementos						
Cu (mg/g)	0.014	0.006	0.009	0.007	0.012	0.010
Fe (mg/g)	0.069	0.024	0.042	0.015	0.030	0.017
Mn (mg/g)	0.022	0.014	0.022	0.020	0.022	0.021
Zn (mg/g)	0.013	0.009	0.008	0.011	0.009	0.010
Microelementos						
Ca (mg/g)	1.150	0.950	1.000	1.100	1.200	1.000
Mg (mg/g)	1.350	1.150	1.400	1.300	1.450	1.250
Na (mg/g)	0.070	0.040	0.040	0.035	0.030	0.025
K (mg/g)	16.500	9.300	12.250	8.900	12.950	11.300
P (mg/g)	1.600	1.050	1.550	1.002	1.700	1.100

Esta situación ha sugerido que, si bien las variedades pertenecen a ramificaciones diferentes de la especie *arábica* que, comúnmente son diferentes en las características químicas, lo mínimo que, se esperarí para este caso, es que el café muestre propiedades químicas básicas casi similares (Sunarharum et al., 2019), ya que todas se cultivaron en el mismo lugar, con la misma influencia ambiental incluyendo clima, suelo, etc. Sin embargo, en la práctica se aprecia otro escenario que, pudiere atribuirse a otros factores.

Al respecto, Sunarharum et al., (2019) argumentan que estas diferencias podrían observarse sobre las propiedades no próximas y físicas, que son influencias directamente por las funciones fisiológicas de cada especie (origen, variedad, otras), es decir, explícitamente a la capacidad orgánica (absorción de nutrientes, fotosíntesis, condiciones climáticas, etc.) de cada cultivo. Pese a ello, varios serían los estudios que se deberían hacer para ratificar dichas aseveraciones.

En cuanto al análisis individual de cada componente, se pudo apreciar que la humedad de las muestras de café verde presentó un mayor contenido en comparación con los granos tostado. La muestra de café Bourbon sidra presentó el mayor contenido de humedad en comparación al resto. Sin embargo, los resultados se encontraron dentro del rango reportado (9.2 – 13%) por Marcone (2004) y Sunarharum et al., (2019) aunque ligeramente superiores a los reportados por Oliveira et al., (2006) con 1.3 – 1.6%.

Después del tostado, los niveles de humedad disminuyeron considerablemente, con diferencias aparentes entre las muestras, lo cual permitió identificar el efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de humedad.

Los niveles de proteína para muestras de café variaron considerablemente; sin embargo, estos valores están dentro del rango reportado con un valor de 11.4 - 17% (Liu et al., 2011; Kamiyama et al., 2015); aunque inferiores a los reportados por Oliveira et al., (2006) con porcentaje de 14 - 16%. Por su parte, los granos tostados de Caturra rojo presentaron el mayor nivel de proteína entre las muestras, de acuerdo con la literatura revisada, no hay evidencias que indiquen que el contenido de proteínas de los cafés de diferentes calidades, o incluso de diferentes especies, deba ser significativamente diferente.

Por otro lado, estudios anteriores han demostrado una relación directamente proporcional entre el tueste y los niveles de cafeína (Lazcano et al., 2016), esto ya que en su estructura química posee nitrógeno, el cual se metaboliza a partir de bases nitrogenadas, lo que podría explicar sus distintos niveles de proteínas (en la cuantificación por el método).

Sin embargo, en contraste a los niveles de proteína (dentro del proceso), las diferencias encontradas de acuerdo con Schenker et al., (2017) se deben a las altas temperaturas alcanzadas durante el tostado, lo cual produce un incremento de cafeína y proteína, lo cual genera una disminución o aumentó en los niveles de proteína (Oliveira et al., 2006).

Por su parte, el contenido de lípidos se encontró dentro del rango reportado: 9.2 - 13.39 % (Marcone, 2004; Oliveira et al., 2006; Sunarharum et al., 2019). Sin embargo, las bayas del C. Típica mostraron mayores contenidos de aceite que las otras variedades, de acuerdo con Schenker et al., (2017) estas diferencias se deben a que, una vez finalizado el proceso del tueste, los granos de café entran a una etapa de enfriamiento donde exhiben una exudación del grano producto de la presión del gas que se genera dentro del cerezo.

En otras palabras, dentro de esta etapa se producen cambios estructurales en el tejido del grano de café, lo cual induce a una desnaturalización de las células biológicas, generando una ruptura de los cuerpos oleosos y por ende una movilización de aceite por los microcanales del grano de café, lo que produce un aspecto oleoso a este (Rodríguez, 2010).

Sobre la base de lo expuesto, Mariano (2019) agrega que la mayoría de los elementos minerales son estables durante el tostado de café. Sin embargo, dado que el contenido de agua de los granos de café se reduce durante el tostado, las concentraciones de minerales suelen ser más altas en el café tostado en comparación con el café verde, por lo que, las diferencias en la composición mineral de los granos de café se deberían a la variedad del café, factores ambientales y agronómicos, los cuales, siguen siendo evidentes en el tostado.

En general, se podría aludir que, las pequeñas variaciones observadas en el presente estudio con respecto al análisis proximal podrían atribuirse a la formación de componentes nitrogenados volátiles, el aumento de la temperatura de sublimación, la baja difusión del vapor a través del grano, la pérdida de peso que se origina durante el tostado, y otros factores inmersos que condicionan su composición y que de una u otra manera interfieren en cada componente (Hernandez, 2010).

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Los compuestos bioactivos como son polifenoles y flavonoides totales son los responsables de la actividad antioxidante del café. Sin embargo, estos varían dependiendo de la especie de café, región, condiciones de crecimiento de la planta e intensidad del proceso de tostado.
- El contenido de componentes bioactivos se encuentra en mayor concentración en los granos verdes con relación al café tostado. Donde el contenido de polifenoles, flavonoides totales fueron afectados por los parámetros del tostado, con mayor efecto el tiempo y la temperatura (18 minutos y 220 °C – tostado intenso), con relación a un tostado medio ligero (190 °C – 12 min).
- Los resultados indican que el tostado intenso provoca la disminución de la actividad antioxidante. Sin embargo, durante el proceso de tueste se forman compuestos aromáticos que mejoran la actividad antioxidante y las características sensoriales del producto final.
- Se determinó que la intensidad de tostado relacionado con la temperatura y tiempo, así como las variedades de café influyeron significativamente en la actividad antioxidante, donde el tiempo tuvo mayor efecto en relación con los otros dos factores.
- Las condiciones del proceso de tostado de 220°C y 12 minutos proporcionaron mejores características del producto final. Donde el contenido de antioxidantes disminuye a medida que aumenta el tiempo de tostado, evidenciándose una menor actividad antioxidante FRAP y ABTS en tiempos mayores (18 min).
- La actividad antioxidante media se encontró dentro de los rangos reportados según los métodos FRAP y ABTS entre  $267.37 \pm 6.46$  y  $728.56 \pm 3.50$   $\mu\text{m Trolox/L}$  respectivamente. Donde el rango Tukey “a” presentaron la mayor cantidad de antioxidantes.
- El contenido proximal fue mayor en el grano verde con relación al tostado, presentando una disminución significativa tras aplicar el tratamiento térmico.

## 5.2 Recomendaciones

- Se sugiere evaluar la influencia de las diferentes técnicas de beneficiado del café sobre la concentración de los compuestos bioactivo en el producto final.
- Identificar algún modelo de automatización del proceso que permita estandarizar el perfil de tostado de acuerdo con las características del producto final deseado.
- Las características fisicoquímicas y bioactivas del café deberían evaluarse bajo un análisis estadístico multivariado que permita contrastar las posibles causas o variaciones de las cualidades del café bajo sus componentes iniciales (café verde) y finales (café tostado).
- Se debería evaluar los efectos del manejo inadecuado de la fermentación, secado excesivo y almacenamiento del café pergamino sobre el proceso de tostado y calidad antioxidante.
- Valorar las características organolépticas con mezclas de diferentes cafés en torrefacción para medir una posible mejora en la calidad.

## Bibliografía

- Aguilar-Rivera, N., Houbron, E., Rustrian, E., & Reyes-Alvarado, L. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*)(Residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), 103-117.
- Alam, N., Bristi, N., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. En *Saudi Pharmaceutical Journal* (págs. 143-152). ScienceDirect.
- ANECAFÉ. (2019). *Exportaciones de Café del Ecuador según variedad - AÑOS 1992/2019*. Obtenido de Asociación nacional de exportadores de café (ANECAFÉ): <https://www.anecafe.org.ec/local/public/galeria/Resumen%20de%20Exp%20Seg%20C3%BA%20Variedad%20-%201992-2019.pdf>
- Arcila, P., Farfán, V., Moreno, B., Salazar, G., & Hincapié, G. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. *Cenicafé*, 49-51.
- Arcos, C., Gasca, J., Rengifo, S., Silva, L., Tovar, M., & Triviño, O. (2017). Estudio del comportamiento de la microestructura de café y ácidos clorogénicos durante el proceso de torrefacción estudio de caso Tecnoparque Agroecológico Yamboró. *Agroecología: Ciencia Y Tecnología*, (1), 52-59.
- Ávalos, D., & Mera, F. (2018). *Evaluación de los niveles de ácido clorogénico en granos de café verde cultivado en Ecuador (Coffea robusta)*. Obtenido de Repositorio de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28371/1/BCIEQ-T-0247%20Avalos%20Fern%20C3%A1ndez%20Daniel%20Stalyn%20B%20Mera%20Alc%20Dvar%20Jorge%20Fabrizzio.pdf>
- BAQUÉ. (s.f.). *El Blog de Cafés Baqué*. Obtenido de BAQUÉ: <https://www.baque.com/es/blog/los-secretos-de-nuestro-tueste/>
- Batista, L., & Chalfoun, S. (2015). Quality of Coffee Beans. *Cocoa and coffe fermentation*, 477-503.
- Belay, A., Ture, K., Redi, M., & Asfaw, A. (2008). Measurement of caffeine in coffee beans with UV/vis spectrometer. *Food chemistry*, 108(1), 310-315.

- Belitz , H., Grosch , W., & Schieberle , P. (2009). *Coffee, tea, cocoa* (4 ed.). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Breslin, P. (2019). *Chemical Senses in Feeding, Belonging, and Surviving: Or, Are You Going to Eat That?* Cambridge University Press.
- Calle, F. (2012). *Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza*. Turrialba, Costa Rica. Obtenido de <https://doi.org/58>
- Cardona, F., Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F., & Queipo, M. (2013). Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *The Journal of nutritional biochemistry*, 24(8), 1415-1422.
- Castillo, M., Muñoz, M., & Engler, F. (2016). *Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café*. Obtenido de MIPRO: [https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf)
- Ceballos, D., & López, C. (2019). Optimización de las condiciones de tiempo y temperatura en el proceso de tostado de café del Cauca, teniendo en cuenta la percepción del consumidor. *Retos de la formación de ingenieros en la era digital* (págs. 2-13). Cartagena de Indías: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- Chakraverty, A., Mujumdar, A., & Ramaswamy, H. (2002). *Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices*. Boca Ratón: CRC Press.
- Chaves-Ulate, E., & Esquivel-Rodríguez, P. (2019). cidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299-311.
- Cho, A., Park, K., Kim, K., Kim, S., & Han, J. (2014). Influence of roasting conditions on the antioxidant characteristics of colombian coffee (*Coffea Arabica* L.) beans. *Journal of Food Biochemistry*, 8(3), 271-280.
- Cobos, E. (2019). El café ecuatoriano no levanta cabeza. *Gestión*.
- Cuesta, D., & Correa, F. (2018). Obtención de fenoles a partir de granos verdes de café. *rev.ion*, 31(1):31-35.
- Cuya, E. (2013). Asistencia Técnica Dirigida en Cosecha y Postcosecha en el Cultivo de Café. *UNALM, OAEPS*, 4-22.

- Devia, Y., Barrios, Y., & Gutiérrez, N. (2018). Identificación de adulterantes en café mediante análisis del espectro infrarrojo FTIR -ATR .
- Díaz, F., Ormaza, A., & Rojano, B. (2018). Efecto de la Tostión del Café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el Perfil de Taza, Contenido de Compuestos Antioxidantes y la Actividad Antioxidante. *Información tecnológica*, 29(4), 31-42.
- Dos Santos, A., Marques, L., Gonçalves, C., & Marcucci, M. (2019). Aspectos botánicos, contenido de cafeína y actividad antioxidante de *Coffea arabica*. *American Journal of Plant Sciences*, 10, 1013-1021. doi:10.4236 / ajps.2019.106073
- Duicela, L., Guamán, J., & Farfán, D. (2015). *Poscosecha y Calidad del Café*. Guayaquil .
- Dybkowska, E., Sadowska, A., Rakowska, R., Debowska, M., Swiderski, F., & Swiader, K. (2017). Assessing polyphenols content and antioxidant activity in coffee beans according to origin and the degree of roasting. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 68(4).
- Eggers, R., & Pietsch, A. (2001). Technology I, roasting. En R. Clarke, & O. Vitzthum, *Coffee Recent Developments*. London: Blackwell Science Ltd.
- ESPAC. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de Unidad de Estadística Agropecuaria - ESAG: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Informe\\_Ejecutivo\\_ESPAC\\_2017.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf)
- Espinoza, J. (2016). Elaboración de vinos, otras bebidas alcohólicas, aguas, cafés e infusiones. *Ediciones Paraninfo S.A*, 236.
- Ezenza. (s.f.). *Tostado del Café*. Obtenido de Ezenza: <https://ezenza.com.ar/#!/-tostado-del-cafe>
- Farah, A. (2012). Coffee constituents. En Y. Chu, J. Wiley, & Sons (Edits.), *Coffee: emerging health effects and disease prevention* (págs. 27-43). Iowa, USA: Yi - Fang Chu.
- Farah, A., de Paulis, T., Moreira, D., Trugo, L., & Martin, P. (2006). Chlorogenic acids and lactones in regular and water-decaffeinated arabica coffees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(2), 374-381.

- Flores, H., León, C., Estarrón, M., & Orozco, I. (2016). Optimización del proceso de extracción de sustancias antioxidantes a partir de orégano mexicano ( *Lippia graveolens* HBK) utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 775.
- Flórez, R., Ibarra, R., Gómez, G., Carmona, G., Castaño, M., & Ortiz, A. (2013). *Estructura y funcionamiento de la planta de café. Manual del cafetero Colombiano Tomo I*. Chinchiná, Colombia: Cenicafé.
- FNCC. (Abril de 2017). *Descripción del proceso productivo y del beneficio del café*. Obtenido de Guía tecnológica del cultivo. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.: <https://www.federaciondefcafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>.
- Folmer, B. (2017). *The Craft and Science of Coffee*. London, United Kingdom: Elsevier.
- Franca, A., Oliveira, L., Mendonça, J., & Silva, X. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry*, 90(1-2), 89-94.
- Fukushima, Y., Takahashi, Y., Kishimoto, Y., Taguchi, C., Suzuki, N., Yokoyama, M., & Kondo, K. (2020). Consumption of Polyphenols in Coffee and Green Tea Alleviates Skin Photoaging in Healthy Japanese Women. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 13, 165.
- García, A. (2018). *Análisis multi-sensorial: integración de los sentidos y la percepción del gusto*. Obtenido de Repositorio del Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/7892/1/141095.pdf>
- Geiger, R. (2004). *Development of Coffee Bean Structure During Roasting*. Obtenido de Swiss Federal Institute of Technology (ETH).
- Giner, J. (2018). El Tueste de Café. *Fórum Café*, 6 - 15.
- Gómez, G. (2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, (45), 103-193.
- González, A. C. (2016). *Bioaccesibilidad, permeabilidad y efecto sobre la microbiota intestinal in vitro de compuestos nutraceuticos del café (Coffea arabica L.)*. Obtenido de <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/7781>.

- Górecki, M., & Hallmann, E. (2020). The Antioxidant Content of Coffee and Its In Vitro Activity as an Effect of Its Production Method and Roasting and Brewing Time. *Antioxidantes*, 9(4), 308. doi:<https://doi.org/10.3390/antiox9040308>
- Gotteland, M., & De Pablo, S. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115.
- Guevara, D. (2012). *Estudio de la actividad antioxidante de los extractos de melanoidinas-polifenoles del café (Coffea sp.) ecuatoriano a través de los métodos método ABTS (\*) y método FRAP*. Obtenido de Repositorio de la Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1518/1/104280.pdf>
- Haile, M., Bae, H., & Kang, W. (2020). Comparison of the Antioxidant Activities and Volatile Compounds of Coffee Beans Obtained Using Digestive Bio-Processing (Elephant Dung Coffee) and Commonly Known Processing Methods. *Antioxidants*, 9(5), 408.
- Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food chemistry*, 129(3), 991-1000.
- Hernandez, A. G. (2010). *Tratado de nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos* (Vol. 2). Madrid: Médica Panamericana.
- Herrera, J., & Lambot, C. (2017). The Coffee Tree-Genetic Diversity and Origin. En B. Folmer, *The Craft and Science of Coffee* (págs. 1-12). San Diego, United States: Elsevier Inc.
- Hofmann, T., Frank, O., Blumberg, S., Kunert, C., & Zehentbauer, G. (2008). Molecular insights into the chemistry producing harsh bitter taste compounds of strongly roasted coffee. En T. Hofmann, W. Meyerhof, & P. Schieberle, *Recent Highlights in Flavor Chemistry and Biology* (págs. 154 - 159). DFA. doi:ISBN 3-9807686-7-8
- INAMHI. (2020). *Servicio Meteorológico del Ecuador*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: <https://inamhi.wixsite.com/inamhi/novedades>
- Iriondo-DeHond, A., Ramírez, B., Velázquez-Escobar, F., & Castillo, M. (2018). Characterization and bioactivity of enriched fractions of melanoidins obtained from coffee by-products. *DIGITAL.CSIC*.

- Jeszka-Skowron, M., Sentkowska, A., Pyrżyńska, K., & De Peña, M. (2016). Chlorogenic acids, caffeine content and antioxidant properties of green coffee extracts: influence of green coffee bean preparation. *European Food Research and Technology*, 242(8), 1403-1409.
- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., & Grześkowiak, T. (2015). Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. *European Food Research and Technology*, 240(1), 19-31.
- Kamiyama, M., Moon, J., Jang, H., & Shibamoto, T. (2015). Role of degradation products of chlorogenic acid in the antioxidant activity of roasted coffee. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(7), 1996-2005.
- Katsube, T., Tsurunaga, Y., Sugiyama, M., Furuno, T., & Yamasaki, Y. (2009). Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*, 113(4), 964-969.
- Kim, E., Jeong, Y., Gu, S., Song, K., Kim, I., & Kim, K. (2019). Physicochemical characteristics of Brazilian coffee arabica cv. Catuai coffee extracts with different roasting conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*, 48, 748-756.
- Komes, D., & Bušić, A. (2014). Antioxidants in Coffee. En V. Preedy, *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (págs. 25-32). Oxford, UK: Elsevier.
- Kondo, H., Ayaori, M., & Ikewaki, K. (2012). Is Coffee the Next Red Wine? Coffee Polyphenol and Cholesterol Efflux. En Y. F. Chu, *Coffee: emerging health effects and disease prevention* (págs. 227 -231). Iowa, USA: John Wiley & Sons.
- Köster, E. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *Food quality and preference*, 20(2), 70-82.
- Lazcano, E., Trejo, M., Pascual, S., & Vargas, M. (2016). Efecto del grado de tostado en granos de café de diferentes regiones productoras de México sobre el contenido de compuestos fenólicos, cafeína y la actividad antioxidante. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1, 478-483.
- Lee, B., Nam, T., Kim, S., Chun, O., & Kim, D. (2019). Estimated daily per capita intakes of phenolics and antioxidants from coffee in the Korean diet. *Food science and biotechnology*, 28(1), 269-279.

- Lee, L., Tay, G., Cheong, M., Curran, P., & Liu, S. (2017). Modulation of the volatile and non-volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica*: II. Roasted coffee. *Elsevier*, 32 - 42.
- Liu, Y., & Kitts, D. (2011). Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews. *Food Research International*, 44(8), 2418-2424.
- Londoño, J., Naranjo, M., & Quintero, M. (2013). Estudio de los cambios de la actividad antioxidante en bebidas de café durante su periodo de vida útil usando métodos in-vitro y ex-vivo. *Vitae*, 20(2), 95-104.
- Lucon, T., Limonta, C., Borlina, N., Baggio, S., & Guerreiro, O. (2011). Sun protection factor, content and composition of lipid fraction of green coffee beans. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 469-473.
- Lupano, C. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento*. Buenos Aires: Edulp. doi:ISBN 978-950-34-1028-8
- Madrid, L., Alpízar, N., Zúñiga, C., & Elías, G. (2019). Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha*, 32(2), 20-27.
- Madrid, L., Alpízar, Y., Zúñiga, M., & Elías, G. (2019). Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha*, 32(2), 20-27. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>
- Marcone, M. (2004). Composition and properties of Indonesian palm civet coffee (Kopi Luwak) and Ethiopian civet coffee. *Food Research International*, 37(9), 901-912.
- Mariano, C. (2019). Minerals. En A. Farah, *Coffee: Production, quality and chemistry* (págs. 505 - 516). United Kingdom: Royal society of chemistry.
- Marín, C., & Puerta, G. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *coffea arabica lyc canephora* según el desarrollo del fruto. *Cenicafé*, 59(1), 7-28.
- Mastrocola, N., & Quiliguango, R. (2013). *Influencia de cuatro métodos de beneficio sobre la calidad física y organoléptica del café arábigo (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales del noroccidente de Pichincha*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1042>

- Méndez, R., Carmona, P., & Molina, O. (2019). Evaluación del efecto de tres niveles de tostión en la calidad en taza de algunas variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío*, 54 - 61.
- Merecz, A., Marusińska, A., & Karwowski, B. (2018). The content of biologically active substances and antioxidant activity in coffee depending on brewing method. *PUBLISHER UWM OLSZTYN*, 267.
- Miranda, A., Steluti, J., Fisberg, R., & Marchioni, D. (2017). Association between coffee consumption and its polyphenols with cardiovascular risk factors: A population-based study. *Nutrients*, 9(3), 276.
- Moniruzzaman, M., Khalil, M., Sulaiman, S., & Gan, S. (2012). Advances in the analytical methods for determining the antioxidant properties of honey: a review. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 9(1), 36-42.
- Monroig, M. (2016). *La torrefacción del café*. doi:<http://academic.uprm.edu/mmonroig/>
- Monteiro, M., & Farah, A. (2012). Chlorogenic acids in Brazilian *Coffea arabica* cultivars from various consecutive crops. *Food Chemistry*, 134(1), 611-614.
- Monteros, A. (2017). Rendimientos De Café Grano Seco En El Ecuador. *Sinagap*, 1 - 11.
- Moreira, A., Nunes, F., Simões, C., Maciel, E., Domingues, P., Domingues, M., & Coimbra, M. (2017). Transglycosylation reactions, a main mechanism of phenolics incorporation in coffee melanoidins: Inhibition by Maillard reaction. *Elsevier*, 422-431.
- Moreira, A., Simões, J., Passos, C., Nunes, F., Domingues, M., & Coimbra, M. (2019). Melanoidins. En A. Farah, *Coffee: Production, Quality and Chemistry* (págs. 662-678). United Kingdom, UK: Royal society of chemistry.
- Naidu, M., Sulochanamma, G., Sampathu, S., & Srinivas, P. (2008). Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee. *Food Chemistry*, 107(1), 377-384.
- Naranjo, M., Vélez, L., & Rojano, B. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(2), 164-173.
- Nunes, F., & Coimbra, M. (2007). Melanoidins from coffee infusions. Fractionation, chemical characterization, and effect of the degree of roast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 3967-3977.

- Oliveira, L., Franca, A., Mendonça, J., & Barros-Junior, M. (2006). Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 235-239.
- Opitz, S., Goodman, B., Keller, M., Smrke, S., Wellinger, M., Schenker, S., & Yeretizian, C. (2017). Understanding the Effects of Roasting on Antioxidant Components of Coffee Brews by Coupling On-line ABTS Assay to High Performance Size Exclusion Chromatography. *Phytochemical Analysis*, 28(2), 106-114.
- Opitz, S., Smrke, S., Goodman, B., & Yeretizian, C. (2014). Methodology for the measurement of antioxidant capacity of coffee: A validated platform composed of three complementary antioxidant assays. En V. Preedy, *Processing and impact on antioxidants in beverages* (págs. 253-264). Academic Press.
- Ormaza, A., Díaz, F., & Rojano, B. (2018). Efecto del añejamiento del café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre la composición de fenoles totales, flavonoides, ácido clorogénico y la actividad antioxidante. *Información tecnológica*, 29(3), 187-196.
- Pacheco, V. (2016). *Determinación de tiempo de vida útil del café tostado premium (coffea arábica) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas*. Obtenido de Repositorio UNALM: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1779>
- Panche, A., Diwan, A., & Chandra, S. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5.
- Parada, M., Caballero, L., & Rivera, M. (2017). Características fisicoquímicas de tres variedades de café tostado y molido cultivados en norte de santander. @LIMENTECH, 66 -76.
- Parra, R., Tabares, P., & Díaz, O. (2019). Evaluación del Efecto de Tres Niveles de Tostión en la Calidad en Taza de Algunas Variedades de Café de la Especie coffea arábica L. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 31(1), 54-61.
- Paucar, J. (2010). *Influencia del tostado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de granos de café (coffea arabica l.) de Satipo*. Obtenido de Repositorio Institucional UNCP: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1886>
- Peñalver, L., Bahamon, A., & Gutiérrez, N. (2019). *Evolución de los parámetros fisicoquímicos del café durante el proceso de tostión, en dos tipos de máquinas*

*tostadoras tambor y lecho fluido*. Obtenido de UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.

- Pérez, E., & Carril, U. (2014). Café I (G. Coffea). *Reduca (Biología)*, 113-132.
- Pérez, L., Chavez, K., Medina, L., & Gámez, N. (2012). *Phenolic characterization, melanoidins, and antioxidant activity of somen comercial coffees from Coffea arábica and Coffea canephora*. Sonora, México: México chemistry.
- Pérez-Hernández, L., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L., & Gámez Meza, N. (2012). Phenolic characterization, melanoidins, and antioxidant activity of some commercial coffees from Coffea arabica and Coffea canephora. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 56(4), 430-435.
- Pilipczuk, T., Kusznierevicz, B., Zielińska, D., & Bartoszek, A. (2015). The influence of roasting and additional processing on the content of bioactive components in special purpose coffees. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5736-5744.
- Pino, R. (2011). *Influencia del grado de tostado sobre la capacidad antioxidante y el efecto genoprotector del café soluble: contribución de la fracción de melanoidinas*. Obtenido de Repositorio de la Universidad de Burgos: [https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.1/128/Pino\\_Garc%C3%ADa.pdf?sequence=1](https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.1/128/Pino_Garc%C3%ADa.pdf?sequence=1)
- Pisoschi, A., & Negulescu, G. (2011). Methods for total antioxidant activity determination: a review. *Biochem Anal Biochem*, 1(1), 106.
- Pizarro, J., Barrezueta, S., & Prado, E. (2016). Análisis de Canales de comercialización y consumo de café (Coffea arábica) en la ciudad de Machala, Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
- Poisson, L., Blank, I., Dunkel, A., & Hofmann, T. (2017). The chemistry of roasting—Decoding flavor formation. En B. Folmer, *The craft and science of coffee* (págs. 273-309). London: Academic Press.
- Poisson, L., Kerler, J., Davidek, T., & Blank, I. (2014). *Recent developments in coffee flavour formation using biomimetic in-bean experiments*. Paris, France: ASIC.

- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J., & Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 307-325.
- Porras, M., Vargas, G., Araúz, L., & Abarca, Y. (2019). Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha*, 32, 20 - 27.
- Pozo, S. (2 de junio de 2015). *Estudio de factibilidad para la implementación de un Centro de poscosecha de café para la Asociación "Bosque Nublado Golondrinas" de las parroquias Jacinto Jijón y Caamaño y el Goaltal de la parroquia del Carchi*. Obtenido de Repositorio de la universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4484>
- Preedy, V. (2014). *Processing and impact on antioxidants in beverages*. London, Uk: Elsevier.
- Priftis, A., Stagos, D., Konstantinopoulos, K., Tsitsimpikou, C., Spandidos, D., Tsatsakis, A., . . . Kouretas, D. (2015). Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Molecular medicine reports*, 12(5), 7293-7302.
- Priftis, A., Stagos, D., Konstantinopoulos, K., Tsitsimpikou, C., Spandidos, D., Tsatsakis, A., . . . Kouretas, D. (2015). Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Molecular medicine reports*, 12(5), 7293-7302.
- Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Cenicafé*, 2 - 11.
- Puerta, G. (2013). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)*, 2 -12.
- Puerta, G., Bolívar, C., & Gallego, C. (2017). Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. *Cenicafé*, 68(2): 28 - 60.
- Pulgarín, J. (2013). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Sistemas de Producción de Café En Colombia*, 22 - 58.
- Pulgarín, J., Farfan, V., Moreno, B., & Hincapie, G. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. En *Crecimiento y desarrollo de la planta del café* (págs. 22-60).

Colombia: CENICAFE. Obtenido de  
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>

- Ramos. (2015). *Spent coffee as a new source of bioaccessible and bioactive compounds with antimutagenic and antimicrobial activity*. Obtenido de Universidad de Navarra: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=70340&info=resumen&idioma=EN> G)
- Ramos, G., Sanz, U., & Olveros, T. (2010). Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real, a través de la medición de color. *Cenicafé*, 61(4):315-326.
- Redgwell, R., Curti, D., Fischer, M., Nicolas, P., & Fay, L. (2002). Coffee bean arabinogalactans: acidic polymers covalently linked to protein. *Carbohydrate Research*, 337(3), 239-253.
- Revi, I. (2019). Coffee Cupping: Evaluation of Green Coffee Quality. En A. Farah, *Coffee: Production, Quality and Chemistry* (págs. 337-360). Royal society of chemistry.
- Riaño, C. (2017). *Tecnología del Café*. Obtenido de Curso De Tecnología Del Café (infocafes): [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/213956\\_2-9-1-13.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/213956_2-9-1-13.pdf)
- Rodriguez, M. (2010). La física y química en el tueste del café. Fórum Café. *FórumCafé*, 41, 38-45.
- Rodríguez, P., Gandía, F., Matencio, A., García, F., & López, J. (2017). Comparative study of the antioxidant capacity of four stilbenes using ORAC, ABTS+, and FRAP techniques. *Food Analytical Methods*, 10(9), 2994-3000.
- Rojo, E. (2014). *Café I (G. Coffea)*.
- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. (2009). Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 74-80.
- Sánchez-González, I., Jiménez-Escrig, A., & Saura-Calixto, F. (2005). In vitro antioxidant activity of coffees brewed using different procedures (Italian, espresso and filter). *Food Chemistry*, 90(1-2), 133-139.
- Sanz, J., Yusianto, Menon, S., Cañuela, A., Oliveros, C., Husson, J., & Brando, C. (2011). Procesamiento port cosecha revelando al grano verde de café.

- Schenker. (2000). *Investigations on the Hot Air Roasting of Coffee Beans (Ph.D. thesis number 13620)*. Zurich, Switzerland. Obtenido de Swiss Federal Institute of Technology (ETH).
- Schenker, S., & Rothgeb, T. (2017). The Roast-Creating the Beans' Signature. En B. Folmer, *The Craft and Science of Coffee* (págs. 245 -270). San Diego, United States: Elsevier Inc.
- Schenker, S., Heinemann, C., Huber, M., Pompizzi, R., Perren, R., & Escher, F. (2002). Impact of roasting conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans. *Journal of Food Science*, 67 (1).
- Sepúlveda, W., Ureta, I., & Sepúlveda, A. (2016). *Perfil y preferencia de los consumidores ecuatorianos por atributos de calidad en la producción de café*. Lavras: Coffe Science.
- Song, J., Asare, T., Kang, M., & Lee, S. (2018). Changes in Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Coffee under Different Roasting Conditions. *한국자원식물학회지*, 31(6), 704-713.
- Speer, K., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 201-216. doi: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>
- Stone, H., & Sidel, J. (2004). *Sensory Evaluation Practices*. Redwood City: Academic Press.
- Sunarharum, W., Williams, D., & Smyth, H. (2014). Complexity of coffee flavor: a compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315 - 325.
- Sunarharum, W., Yuwono, S., & Aziza, O. (2019). Study on the effect of roasting temperature on antioxidant activity of early-roasted Java coffee powder (Arabica and Robusta). *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy*. 230, pág. 012045. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. doi:doi:10.1088/1755-1315/230/1/012045
- Szymanowska, K., & Wołoskiak, R. (2014). Wpływ prażenia kawy na wybrane parametry jej jakości. *Aparatura badawcza i dydaktyczna*, 19(1), 77-83.

- Thomas, E., Puget, S., Valentin, D., & Songer, P. (2017). Sensory Evaluation-Profiling and Preferences. En B. Folmer, *The Craft and Science of Coffee* (págs. 419 - 456). London, United Kingdom: Academic Press.
- Tomaino, A., Cimino, F., Zimbalatti, V., Venuti, V., Sulfaro, V., De Pasquale, A., & Saija, A. (2005). Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. *Food chemistry*, 89(4), 549-554.
- Tripathi, S., Srivastava, R., Agarwal, S., Shrimali, S., & Mishra, N. (2019). Effect of roasting on antioxidants and related compounds in green coffee beans. En R. Sen, S. Mukherjee, R. Paul, & R. Narula, *Biotechnology and Biological Sciences: Proceedings of the 3rd International Conference of Biotechnology and Biological Sciences* (pág. 74). Kolkata, India : CRC Press.
- Vega, A., De León, J., & Reyes, S. (2017). Determinación del contenido de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de 34 cafés comerciales de Panamá. *Información tecnológica*, 28(4), 29-38.
- Vega, A., De León, J., Reyes, S., & Miranda, S. (2018). Componentes Bioactivos de Diferentes Marcas de Café Comerciales de Panamá. Relación entre Ácidos Clorogénicos y Cafeína. *Información tecnológica*, 29(4), 43-54. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400043>
- Velásquez, R. (2019). Guía de variedades de café. *Anacafé*, 1 - 48.
- Vignoli, J., Bassoli, D., & Benassi, M. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3), 863-868.
- Virgen, L., Herrera, E., Espinosa, H., Guatemala, G., Corona, R., & Arriola, E. (2016). Estimación del coeficiente de difusividad durante el tostado de café en un lecho fuente utilizando un modelo difuso. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 513-524.
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Organic compounds in green coffee beans. En V. Preedy, *Coffee in health and disease prevention* (págs. 149 - 162). London: Academic Press.
- Wieland, F., Gloess, A., Keller, M., Wetzel, A., Schenker, S., & Yeretizian, C. (2011). Online monitoring of coffee roasting by proton transfer reaction time-of-flight mass

spectrometry (PTR-ToF-MS): towards a real-time process control for a consistent roast profile. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* , 401, 1-13.

Yeretzian, C., Wieland, F., & Gloess, A. (2012). Progress on coffee roasting: a process control tool for a consistent roast degree e roast after roast. *Newfood* , 15 (3).

Zapata, A., & Sarache, W. (2014). Mejoramiento de la calidad del café soluble utilizando el método Taguchi. *Ingeniare*, 22(1), 116-124.

Zimmermann, R., Streibel, T., Hertz, R., Ehlert, S., Schepler, C., Yeretzian, C., & Howell, J. (2014). Application of photo-ionization time-of-flight mass spectrometry for the studying of flavor compound formation in coffee roasting of bulk quantities and single beans. En *Proceedings of the 25th International Conference on Coffee Science*. Paris, France: ASIC.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Análisis proximal para el café (verde y tostado): típica, bourbon sidra y caturra rojo

### **Humedad**

La humedad se determinó en un horno de convección de aire en base a la norma AOAC 925.10 e INEN 536, donde la muestra pierde peso por volatilización a causa del calor, la cantidad de material residual después de eliminar la humedad constituye la materia seca. La cantidad de agua presente se determina por gravimetría obteniendo como resultado el valor de la humedad en porcentaje.

#### **Procedimiento:**

- Pesar aproximadamente 5 g de muestra.
- Llevar a la estufa a 130 °C hasta llegar al peso constante.
- Sacar los recipientes con la muestra en un desecador, enfriar y pesar.

### **Ceniza**

Su determinación se la realizó según la norma AOAC 923:03 e INEN 1117, donde la muestra es incinerada en un horno o mufla, con el fin de eliminar todo el material orgánico. El material inorgánico que no se destruye se llama o considera ceniza.

#### **Procedimiento:**

- Dejar los crisoles en solución sulfocrómica por 2 horas y enjuagar con agua destilada.
- Pesar el crisol y agregar de 1.5 a 2 gramos de la muestra.
- Colocar en la mufla a 550 °C por 8 horas.
- Las cenizas obtenidas deben ser blancas y no debe presentar adherencias.
- Sacar en desecador, enfriar y pesar.

### **Grasa**

El análisis del contenido de grasa se fundamentó bajo la norma AOAC 920.39 e INEN 1116 haciendo uso del equipo de extracción soxhlet y hexano como solvente.

#### **Procedimiento:**

- Lavar los vasos de acero inoxidable de 50 ml y llevar a una estufa a 105° C por dos horas, retirar los vasos en un desecador, enfriar, pesar.

- Añadir 30 ml de hexano grado técnico en los vasos.
- Pesar de 1 a 2 g. de muestra en un dedal limpio tapar con algodón.
- Colocar los vasos y los dedales en el equipo, conectar el calentador y abrir el agua para el refrigerante.
- Cuando el calentador llegue a 130°C, sumergir los dedales por 10 minutos, tiempo en el cual comienza la ebullición.
- Levantar el dedal para que se inicie el reflujo que permite la extracción de la grasa, este proceso se demora 30 minutos.
- Terminado este tiempo se cierra la llave para impedir el reflujo, permitiendo así recuperar el hexano, este proceso demora 10 minutos.
- Una vez terminado el tiempo se deja 10 minutos más para evaporar totalmente el hexano.
- Finalmente, los vasos se retiran del equipo y se los coloca en la estufa a 105 °C por una hora, para volatilizar totalmente el hexano.
- Trasladar a un desecador, enfriar y pesar.

## **Proteína**

El contenido de proteína se efectuó en base a la norma AOAC 2001.11

### **Procedimiento**

#### a) Digestión

- Pesar 1 g de muestra en papel bond tarado y doblar el papel hasta hacer unos pequeños paquetes.
- Depositar el paquete en el tubo de digestión con 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y dos pastillas catalizadoras.
- Colocar los tubos en el digestor a 400 °C por una hora o hasta que la solución adquiera una coloración verde, esto es indicativo de haberse eliminado toda la materia orgánica.
- Retirar los tubos del digestor y enfriar.

#### b) Determinación

- Una vez enfriados los tubos, colocarlos en el equipo analizador de proteína.
- Automáticamente el equipo adiciona 40 ml de solución receptora (ácido bórico al 4%, en combinación del indicador mixto conformado de rojo de metilo y verde de

bromocresol), posteriormente adiciona la solución alcalina de hidróxido de sodio al 50 % y 40 ml de agua destilada.

- Finalmente, el equipo se encarga de titular con ácido clorhídrico al 0.3135 N.
- Los resultados son proporcionados por el equipo el mismo que reporta los reporta en porcentaje de proteína.

### **Fibra Cruda**

La determinación de fibra se realizó mediante la norma AOAC 962.09, donde la muestra libre de humedad (< 20 %) y grasa (< 12 %), se digiere primero con una solución acida y luego con una solución alcalina; los residuos orgánicos restantes, se recogen en un crisol filtro. La pérdida de peso después de incinerar la muestra, se denomina fibra cruda.

#### **Procedimiento**

- Pesar de 1 a 2 gramos de muestra en un vaso de 600 ml.
- Añadir 200 ml de ácido sulfúrico al 7 por mil y 1 ml de alcohol isoamílico.
- Digerir por 30 minutos y agregar 20 ml de hidróxido de sodio al 22%, 1 ml de alcohol isoamílico y digerir por 30 minutos, disminuyendo la temperatura.
- Recoger la fibra en crisoles filtrantes previamente lavados en cuya base se ha depositado una capa de lana de vidrio hasta la mitad del crisol aproximadamente.
- Se lava con agua destilada caliente.
- Secar en una estufa a 105° C, por 8 horas, retirar en un desecador, enfriar y pesar.
- Calcinar en una mufla por 4 horas a 600° C.
- Retirar en un desecador, enfriar y pesar.

### **Minerales**

Se evaluó el contenido de micro y macroelementos en café bajo las normas AOAC (965.30, 991.25, 970.39, 944.02), donde las cenizas de las muestras son sometidas a una digestión ácida para luego ser diluidas a un volumen determinado, su análisis se lo realizó por espectrofotometría de Absorción Atómica y en el caso del fosforo por Espectrofotometría UV/VIS.

**Anexo 2.** Procedimientos empleados en la determinación de los componentes bioactivos del café

### **Determinación de polifenoles totales**

Los Polifenoles totales se determinan mediante el método espectrofotométrico utilizando el reactivo Folin y Ciocalteu's, el cual produce una coloración azul por reacción con este tipo de compuestos, el mismo se absorbe a una longitud de onda 760nm. El contenido total de polifenoles se expresa en mg de ácido gálico /100g de muestra.

### **Equipos y materiales**

- Espectrofotómetro Shimadzu UVVIS
- Balanza analítica
- Placa de agitación
- Papel filtro cualitativo
- Balones aforados
- Pipetas volumétricas
- Erlenmeyer con tapa rosca
- Vasos de precipitación

### **Reactivos**

- Carbonato de sodio al 20
- Metanol al 70%
- Solución estándar de ácido gálico de 200ppm

### **Calibración**

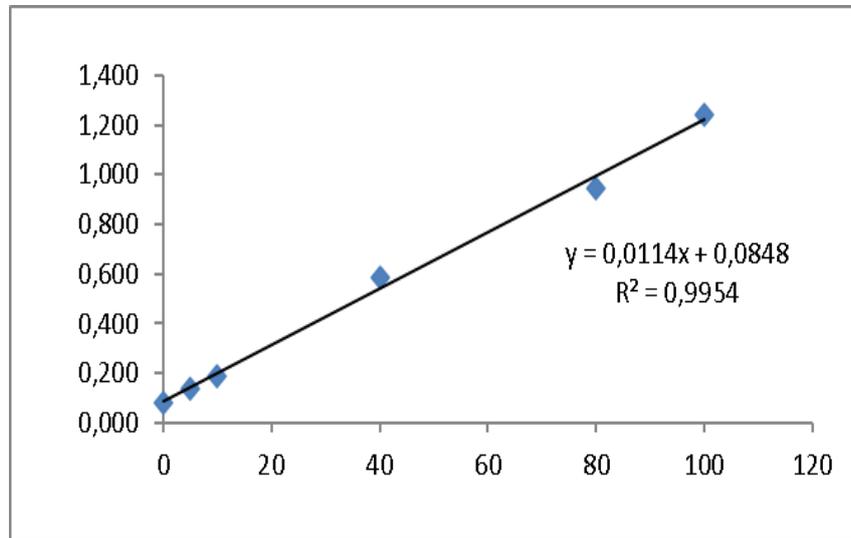
Se determina gráficamente la función de la concentración del analito, el modelo permite estimar los parámetros de linealidad de esa curva y, en consecuencia, medir proporcionalmente la concentración del compuesto en la muestra.

La figura 40 ilustra la curva de calibración con adición estándar empleada en la cuantificación de polifenoles totales en todas las muestras de café.

### **Procedimiento**

- Se pesó 0.3 g de café tostado más los 5 ml de solución extractora, de esta misma manera se agitó por 5 min, pasando seguidamente por el ultrasonido y la centrifuga por 10 min respectivamente.
- Se tomó 1 ml del extracto bruto (o 1 ml de la dilución), se añadió 6 ml de agua destilada y 1 ml de reactivo Folin y Ciocalteu's, pasado 3 minutos se adiciona 2 ml de una solución acuosa de carbonato de sodio al 20%.

- Se colocaron los tubos de ensayo a baño maría a una temperatura de 40 °C durante 2 min.
- Una vez obtenida la absorbancia, procedemos a medir a 760nm.



**Figura 40.** Curva de calibración en la cuantificación de polifenoles totales

## **Análisis de flavonoides totales**

### **Fundamento teórico**

Estos compuestos presentan al menos tres hidroxilos fenólicos, condición que facilita su clasificación y reactividad frente al tricloruro de aluminio. La reacción de los flavonoides con cloruro de aluminio forma un complejo de color rosa en medio básico.

### **Materiales:**

- Pipetas automáticas de 100uL y 50 uL.
- Espectrofotómetro Shimadzu.

### **Reactivos**

- Cloruro de aluminio hexahidratado.
- Nitrito de sodio.
- Hidróxido de sodio
- Catequina hidratante al 98%

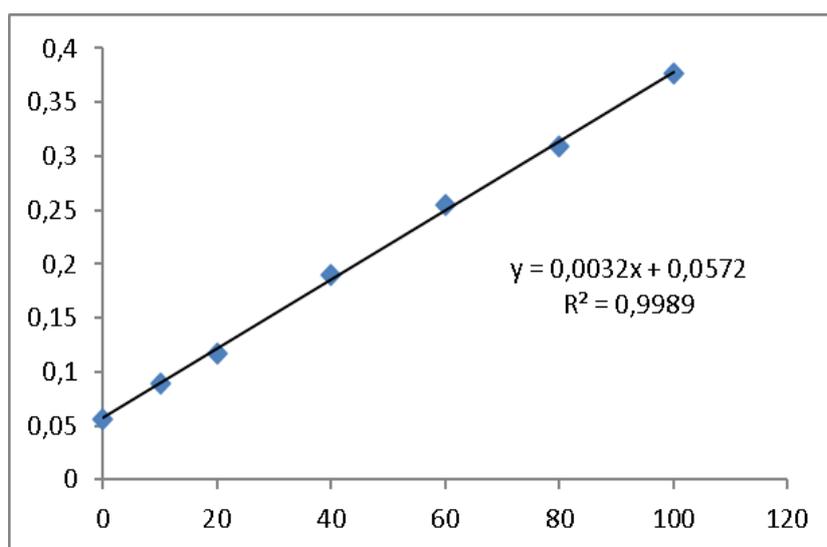
### **Soluciones**

- Cloruro de Aluminio (10%)

- Nitrito de sodio (5%)
- Hidróxido de Sodio (1N)

### Preparación de la curva de calibración

Se prepara las soluciones madre de (+)- Catequina (100mg Catequina /L) con el fin de determina gráficamente la función de la concentración del analito, la figura 41 muestra la curva de calibración con adición estándar empleada en la cuantificación de flavonoides totales en todas las muestras de café.



**Figura 41.** Curva de calibración en la cuantificación de flavonoides totales

### Procedimiento

- Se pesó 0.3 g de café tostado más 5 ml de solución extractora, asimismo se agitó por 5 min para pasar al ultrasonido y centrifuga por 10min respectivamente.
- Se tomó 1 ml del extracto añadiendo 6 ml de agua destilada más 1 ml de reactivo Folin y Ciocalteu´s. se deja reposar por 3 min para añadir 2 ml de una solución acuosa de carbonato de sodio al 20%.
- Se colocó a baño maría a una temperatura de 40°C durante 2 min.
- Una vez obtenida la absorbancia se mide a 760nm.

### Determinación

- Se diluye convenientemente el extracto obtenido.
- Se toma 1 ml del estándar añadido a 4 ml de agua destilada, previamente homogenizado.

- Se añade 0.3 ml de nitrito de sodio al 5% y se agita en un vórtex.
- Se espera 5 min para añadir 0,3 ml de cloruro de aluminio al 10% y se deja reposar por 5 min.
- Se adiciona 2 ml de NaOH al 1N, con el fin de verificar el cambio de color de amarillo a rosado.
- Se afora 2.4 ml con agua destilada y se homogeniza.
- Se mide a una longitud de onda de 490 nm, expresado como mg catequina, por interpolación de la absorbancia obtenida en la curva de calibración.

## **Análisis de ácidos cafeicos**

### **Teoría**

Los ácidos cafeicos son extraídos con una solución acuosa de metanol al 70%, mediante agitación continua, ultrasonido y centrifuga. El extracto obtenido se microfiltra y su lectura se lo realiza en un HPLC.

### **Reactivos**

- Solución de metanol/agua (relación 70:30 v/v) con adición de 0,1 de ácido fórmico.
- Fase Móvil agua/ ácido fórmico (relación 8:2 v/v)
- Solución estándar de Ácido Clorogénico, Siríngico y cafeico

### **Equipos Y Materiales**

- Membrana HV 0.45 um de poro.
- Jeringas plásticas de 10 ml.
- Balones volumétricos ámbar de 25 ml.
- Balanza analítica de precisión 0.1 mg.
- Tubos de centrifuga con capacidad de 10ml
- Pipetas volumétricas de 5 y 10 ml.
- Baño ultrasonido.
- Agitador de tubos.
- Centrifuga.
- Cromatógrafo Líquido de alta Resolución (HPLC).
- Viales ámbar capacidad 2 ml.

### **Procedimiento**

- Se pesó aproximadamente 0.3 g de muestra en un tubo centrifuga de capacidad de 10 ml.
- Se adicionó 5 ml de solución p.a/ agua (70:30 v/v) con 0.1 de ácido fórmico.
- Se agitó durante 3 min, 10 min en baño ultrasonido y 10 min en centrifugación a 5700 rpm.
- Se recolecto la solución sobrenadante en un balón volumétrico ámbar de 25 ml.
- Se filtró la solución, para luego tomar y colocar en viales ámbar 1.5 ml aproximadamente.
- Se inyectó en el HPLC y se cuantificó.

**Anexo 3.** Protocolos de laboratorio empleados para la evaluación de la capacidad antioxidante del café bajo los métodos ABTS y FRAP

### **Determinación de la capacidad antioxidantes por el método de decoloración del catión radical ABTS<sup>+</sup>**

#### **Principio del método**

Es un método indirecto que permite medir la habilidad del antioxidante para estabilizar el catión radical ABTS<sup>+</sup> <sup>transf.</sup>. Dicha estabilización provoca una disminución de la absorbancia del catión radical. El radical catión ABTS<sup>+</sup> una vez generado por medio de enzimas (peroxidasa, mioglobina) o químicamente (dióxido de manganeso, per-sulfato potásico), presenta características con máximos de absorción 414, 645, 734 y 815 nm, el que, frente a un agente antioxidante dador de electrones, se reduce provocando la decoloración de la disolución del radical y que es determinado espectrofotométricamente.

#### **Equipos y materiales**

- Balanza analítica
- Baño ultrasónico
- Espectrofotómetro
- Tubos de ensayo de 10 ml
- Micropipetas de 1000 ml y 50 ml
- Puntas para micropipetas
- Papel Parafilm, papel aluminio y papel toalla
- Balones de aforo de 25 ml
- Vasos de precipitación

- Papel Whatman 0.45
- Frascos ámbar
- Probetas

### Reactivos

- Trolox: 6-hidroxi -2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico.
- ABTS (3-etilbenzotiazolina-6 ácido sulfónico) sal de di amonio.
- Persulfato de Potasio  $K_2S_2O_8$ .
- Fosfato de sodio monobásico  $NaH_2PO_4$  grado reactivo.
- Fosfato de sodio monobásico  $Na_2H_2PO_4 \cdot H_2O$  grado reactivo.

### Preparación de reactivos

- Solución amortiguadora de fosfatos 75 ml mol/L (pH= 7.00).
- **Solución A (0,2mol/L):** se pesó 1.037 g de fosfato de sodio monobásico y llevar a 100 ml con agua destilada en un balón aforado.
- **Solución B (0,02mol/L):** se pesó 5.33 g de fosfato de sodio dibásico y llevar a 500 ml con agua destilada en un balón de aforo.
- Se mezcló 95 ml de la solución A con 405 ml de solución B, llevo a 900 ml con agua destilada y mido el pH.
- Se ajustó el pH con las soluciones A o B sobrantes de acuerdo con lo necesario hasta alcanzar un valor de pH = 7.0 y llevar a 1L en un balón aforado.
- Se envaso la dilución en una botella y almacenamos a 4°C.
- **Solución Stock de ABTS**
- **Solución de ABTS (7Mm):** se pesó 0.0960g de ABTS (548.68 g/mol), disuelto en agua ultra pura completamente y se afora a un volumen de 25 ml. Se almacena a temperatura de refrigeración de (4 °C).
- **Solución de Persulfato de Potasio  $K_2S_2O_8$ , (2,445Mm):** se pesó 0.01655g de  $K_2S_2O_8$ , disuelto en agua ultra pura y aforo a 25 ml. Se conservó la solución en refrigeración a 4 °C.
- **Solución Activada de ABTS.**
- Se mezcló en proporción 1:1 la solución de ABTS (7 nM) con la de  $K_2S_2O_8$  (2.445 mM) y se dejó reposando durante 16 horas antes del respectivo uso. Se filtra la solución por un papel

filtro Whatman 0.4 y se envasa en un frasco ámbar. La solución se mantiene estable 24 hrs, por lo que se recomienda realizar el día que se vaya a analizar.

- **Solución de Trabajo ABTS. +**

- En un frasco ámbar se diluyó la solución activada de ABTS. + con buffer fosfato hasta obtener la lectura de absorbancia de  $1.1 \pm 0.01$  a una longitud de onda de 734nm.

**Preparación de la curva de calibración**

- **Solución madre de Trolox**

-**Solución madre (200 $\mu$ mol/L):** se pesó 0.050g de Trolox (PM 250.32 g/mol), adicionando de 15 a 20 gotas de etanol al 95% para disolver todos los cristales y llevar a 1000 ml con la solución amortiguadora en un balón aforado de ámbar. La preparación y manipulación del Trolox se realiza en oscuridad o con la ayuda de la luz amarilla para evitar su degradación. Se envaso la dilución en una botella ámbar.

-**Curva de calibración (0-800 $\mu$ mol/L):** se preparó las soluciones patrón como se indica a continuación en la tabla 25, y se diluyó con la solución amortiguadora hasta un aforo de 10 ml.

**Tabla 22**

*Curva de calibración bajo la solución de trabajo Trolox*

<b>concentración (<math>\mu</math>MTrolox)</b>	<b>Alícuota de solución de trabajo de Trolox (ml)</b>
Blanco	0
200	2.5
300	3.75
400	5
500	6.25
600	7.5
700	8.75
800	10

- **Determinación de la Capacidad Antioxidante**

1.- se transfirió a un tubo de vidrio un volumen de 200  $\mu$ L de muestra debidamente diluida con buffer fosfato y adiciono 3800  $\mu$ L de la solución de trabajo de ABTS. + ( $A_{734} = 1.1 \pm 0.01$ ).

2.- del mismo modo se añadió 200 uL de buffer fosfato y 3800 uL de la solución diluida de ABTS.+.

3.- se Agita los tubos de ensayo y se deja reposar por un tiempo de 45 min.

4.- se mide la absorbancia final de cada muestra por duplicado a una longitud de onda de 734 nm.

5.- Para la curva de calibración se calculó la absorbancia neta

### **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR REDUCCIÓN ION FÉRRICO (FRAP)**

Este método se determina mediante la cuantificación de un complejo cloruro ferroso – ferrocianida de potasio, debido a la reacción entre el antioxidante y el ion férrico provocado su reducción a Fe<sup>2+</sup>.

#### **Reactivos**

- Fosfato de sodio monobásico NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> grado reactivo
- Fosfato de sodio dibásico NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O grado reactivo
- Ferrocianida de Potasio
- Ácido tricloroacético
- Cloruro férrico

#### **Materiales**

- Espectrofotómetro
- Tubos de vidrio de 10 ml
- Vasos de precipitación
- Pipetas graduadas
- Baño María

#### **Preparación de reactivos**

- **Preparación de buffer fosfato pH 6.6**

**-Solución A:** se pesó 2.3998 de fosfato de sodio dibásico NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> y se lo disuelve con agua destilada llevando a un aforo de 100 ml.

**-Solución B:** se pesó 2.8414g de fosfato de sodio mono dibásico NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, se lo disuelve en agua destilada llevándolo un volumen de 250 ml.

-Se adiciono a la solución A alrededor de 100 ml de la solución B, y llevo a 220 ml con agua destilada y ajusto el pH a 6.6. se afora hasta 250 ml.

- **Preparación de la solución de ferrocianida de Potasio 1%.**

- Se pesó 1 g de ferrocianida de potasio protegida debidamente de la luz, se disuelve con agua destilada y se lleva a un aforo de 100ml.

- **Preparación de  $FeCl_3$  al 1%**

- Se pesó 1 g de  $FeCl_3$  el mismo que se disuelve con agua destilada aforando hasta un volumen de 100 ml.

- **Preparación de Ácido tricloroacético al 10%.**

- se pesó 10 g de TCA disuelto con agua destilada en un vaso de precipitación a la vez se adiciono a un balón aforado de 50 a 300 ml el mismo que alcanza dicho volumen.

### **Determinación**

Para la determinación de la capacidad antioxidante por el método FRAP, se basa en la metodología de Oyaizu, para la que se describe lo siguiente.

- Se toma 1 ml de la muestra y/o estándar en un tubo de ensayo de 10 ml. Se añade un 1 ml de agua destilada la que se denomina el blanco de la muestra.
- Se adiciona 2.5 ml de solución tampón de pH 6.6 y 2.5 ml de la solución de Ferrocianida de Potasio al 1%.
- Se Incube a baño María a 50 °C por 20 min.
- Se adiciona 2.5ml de ácido Tricloroacetico al 10 % y 2.5 ml de agua destilada, junto a 0.5 ml de  $FeCl_3$  al 1%.
- Se homogeniza en un vortex las muestras y los estándares.
- Se deja reposar por 30 min bajo la oscuridad.
- La absorbancia se mide a 700nm.

Anexo 4. Resultados del análisis de laboratorio



**INIAP**

INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD  
 LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS  
 Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
 Casilla postal 17-01-340



**NOMBRE PETICIONARIO:** Srta. Aida Beatriz Quito Ichán  
**DIRECCION:** Ibarra  
**FECHA DE EMISION:** 4 de marzo de 2021  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 13 de marzo de 2020 al 2 de marzo de 2021

**INFORME DE ENSAYO No:** 20-120  
**INSTITUCION:** Particular  
**ATENCIÓN:** Srta. Aida Beatriz Quito Ichán  
**FECHA DE RECEPCION.:** 13 de marzo de 2020  
**HORA DE RECEPCION:** 12H00  
**ANALISIS SOLICITADO:** Acidos grasos, polifenoles, flavonoides



ANALISIS	POLIFENOLES	FLAVONOIDES	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE		AC. CLOROGÉNICO	AC. CAFEÍCO	AC. SÍRINGICO	AC. FERÚLICO
METODO	MO-LSAIA-31		MO-LSAIA-33					
METODO REF.	AOAC 920.157-1997		FRAB	ABTS				
UNIDAD	mg Ac. Gálico/g	mg catequina/g	µm Trolox/g	µm Trolox/g	%	%	%	%
A1B1C1 R1	313,30	30,51	238,33	611,92	0,26	1,19	0,14	0,09
A1B1C1 R2	317,86	29,94	212,23	672,23	0,27	1,14	0,17	0,09
A1B1C1 R3	309,10	30,47	230,92	683,93	0,26	1,12	0,17	0,08
A1B1C2 R1	316,43	31,62	277,87	761,75	0,31	1,09	0,18	0,09
A1B1C2 R2	309,90	31,22	249,15	745,44	0,31	1,13	0,18	0,09
A1B1C2 R3	312,83	31,63	280,77	732,17	0,35	1,15	0,17	0,09
A1B2C1 R1	195,68	31,75	409,86	874,44	0,27	1,12	0,14	0,08
A1B2C1 R2	201,64	33,69	413,63	837,49	0,28	1,16	0,15	0,08
A1B2C1 R3	203,25	34,39	402,62	852,86	0,28	1,14	0,14	0,08
A1B2C2 R1	196,01	25,16	276,80	731,75	0,03	1,28	0,02	0,02
A1B2C2 R2	199,62	25,00	275,35	754,85	0,03	1,26	0,02	0,02
A1B2C2 R3	206,69	25,69	269,50	735,83	0,03	1,27	0,03	0,02
A2B1C1 R1	251,51	36,40	381,27	724,77	1,01	1,08	0,36	0,11
A2B1C1 R2	251,56	36,11	358,67	728,90	1,01	1,10	0,36	0,11
A2B1C1 R3	259,65	38,72	351,98	777,81	1,01	1,03	0,37	0,12
A2B1C2 R1	259,09	26,66	310,24	776,28	0,12	1,35	0,08	0,06
A2B1C2 R2	257,37	28,52	303,23	743,75	0,09	1,31	0,08	0,06
A2B1C2 R3	254,80	28,14	294,11	733,84	0,09	1,32	0,08	0,06
A2B2C1 R1	207,13	37,18	381,96	787,71	0,85	0,97	0,38	0,10
A2B2C1 R2	202,90	38,21	376,98	811,77	0,80	0,98	0,55	0,16
A2B2C1 R3	213,22	39,35	359,98	802,36	0,84	0,98	0,38	0,11
A2B2C2 R1	196,55	24,00	260,25	744,96	0,04	1,34	0,04	0,03
A2B2C2 R2	202,84	22,84	251,50	722,45	0,04	1,32	0,04	0,03
A2B2C2 R3	200,32	25,46	254,55	798,17	0,04	1,33	0,04	0,03
A3B1C1 R1	190,29	31,02	100,47	516,86	1,44	0,62	0,47	0,04
A3B1C1 R2	178,73	30,43	158,84	543,92	1,34	0,57	0,43	0,04
A3B1C1 R3	189,45	31,95	169,34	547,09	1,42	0,61	0,46	0,04

Página 1 de 2



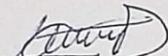
INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
 LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS  
 Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlts. 2690691-3007134. Fax 3007134  
 Casilla postal 17-01-340



## INFORME DE ENSAYO No: 20-120

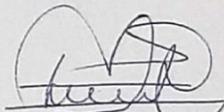
A3B1C2 R1	188,42	24,23	103,54	573,68	0,35	0,82	0,15	0,08
A3B1C2 R2	197,47	24,07	109,81	587,37	0,31	0,80	0,14	0,07
A3B1C2 R3	190,76	21,39	110,49	611,14	0,30	0,80	0,14	0,07
A3B2C1 R1	199,82	39,53	333,57	790,50	1,45	0,61	0,52	0,09
A3B2C1 R2	191,99	38,66	333,08	779,89	1,38	0,63	0,51	0,08
A3B2C1 R3	196,66	40,14	388,42	804,50	1,49	0,64	0,52	0,09
A3B2C2 R1	193,85	20,61	151,86	804,75	0,03	0,86	0,03	0,02
A3B2C2 R2	199,82	20,78	139,23	757,79	0,02	0,79	0,03	0,02
A3B2C2 R3	195,10	20,27	140,97	780,99	0,03	0,82	0,03	0,02
Café verde típica	195,61	46,30	275,52	728,13	4,08	0,88	0,36	0,01
Café verde bourbon	204,67	45,78	265,10	676,04	4,56	0,85	0,36	0,01
Café verde caturra	206,87	43,70	163,54	526,74	3,99	0,88	0,38	0,01

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.  
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

  
 Dr. Iván Samaniego, MSc.  
 RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME



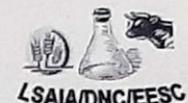
  
 Ing. Bladimir Ortiz  
 RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.



INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD  
 LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS  
 Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
 Casilla postal 17-01-340

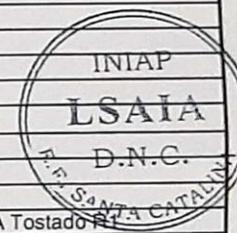


## INFORME DE ENSAYO No: 20-120

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Aida Beatriz Quito Ichán  
 DIRECCION: Ibarra  
 FECHA DE EMISION: 4 de marzo de 2021  
 FECHA DE ANALISIS: Del 13 de marzo del 2020 al 2 de marzo del 2021

INSTITUCION: Particular  
 ATENCION: Srta. Aida Beatriz Quito Ichán  
 FECHA DE RECEPCION.: 13 de Marzo de 2020  
 HORA DE RECEPCION: 12H00  
 ANALISIS SOLICITADO: Proximal, Minerales

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS <sup>U</sup>	E.E. <sup>U</sup>	PROTEÍNA <sup>U</sup>	FIBRA <sup>U</sup>	E.L.N. <sup>U</sup>	IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
20-0759	0,36	4,61	14,10	15,31	39,57	26,43	Café A1B1C1 TIPICA Tostado R1
20-0760	0,93	3,90	13,50	15,77	43,81	23,01	Café A2B1C1 Caturra Tostado R1
20-0761	3,38	4,18	10,68	13,86	44,73	26,55	Café A3B1C1 Boubon Tostado R1
20-0762	7,13	4,54	11,01	16,53	40,03	27,89	Café Típica Verde
20-0763	6,30	4,13	10,32	13,94	39,95	31,66	Café Caturra Verde
20-0764	6,25	4,06	9,96	14,60	39,81	31,56	Café Bourbon Verde
ANÁLISIS	Ca <sup>D</sup>		P <sup>D</sup>	Mg <sup>D</sup>	K <sup>D</sup>	Na <sup>D</sup>	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-03.01.02	MO-LSAIA-03.01.04	MO-LSAIA-03.01.02	MO-LSAIA-03.01.03	MO-LSAIA-03.01.03	MO-LSAIA-03.01.03	
METODO REF.	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD	%		%	%	%	%	
20-0759	0,12		0,16	0,14	1,66	0,007	Café A1B1C1 TIPICA Tostado R1
20-0760	0,10		0,11	0,13	0,90	0,004	Café A2B1C1 Caturra Tostado R1
20-0761	0,12		0,18	0,15	1,34	0,003	Café A3B1C1 Boubon Tostado R1
20-0762	0,10		0,11	0,12	1,00	0,004	Café Típica Verde
20-0763	0,12		0,13	0,15	1,31	0,004	Café Caturra Verde
20-0764	0,11		0,12	0,13	1,21	0,003	Café Bourbon Verde





INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
 LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS  
 Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
 Casilla postal 17-01-340

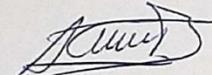


## INFORME DE ENSAYO No: 20-120

ANÁLISIS		Cu <sup>Ω</sup>	Fe <sup>Ω</sup>	Mn <sup>Ω</sup>	Zn <sup>Ω</sup>	
METODO		MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	
METODO REF.		U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD		ppm	ppm	ppm	ppm	
20-0759		14	69	22	13	Café A1B1C1 TIPICA Tostado R1
20-0760		7	42	22	8	Café A2B1C1 Caturra Tostado R1
20-0761		12	31	23	9	Café A3B1C1 Bourbon Tostado R1
20-0762		6	25	15	9	Café Típica Verde
20-0763		9	16	21	12	Café Caturra Verde
20-0764		11	18	22	11	Café Bourbon Verde

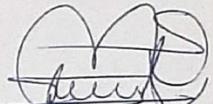
Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

  
 Dr. Iván Samaniego, MSc.  
 RESPONSABLE TÉCNICO

## RESPONSABLES DEL INFORME



  
 Ing. Bladimir Ortiz  
 RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

**Anexo 5.** Resultado estadístico por la prueba tukey para la capacidad antioxidante FRAP y ABTS

**Tabla 23**

*Prueba de Tukey al 95% para la actividad antioxidante de las muestras de café tostado por el método FRAP*

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Rangos</b>
A1:B2:C1	402.72	a
A2:B2:C1	371.35	a
A2:B1:C1	361.26	a
A3:B2:C1	352.59	ab
A2:B1:C2	304.39	bc
A1:B2:C2	273.35	cd
A1:B1:C2	267.47	cd
A2:B2:C2	255.09	cd
A1:B1:C1	226.39	d
A3:B2:C2	144.65	e
A3:B1:C1	142.37	e
A3:B1:C2	106.76	e

**Tabla 24**

*Prueba de Tukey al 95% para la actividad antioxidante ABTS*

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Rangos</b>
A1:B2:C1	851.95	a
A2:B2:C1	797.37	ab
A3:B2:C1	793.62	ab
A3:B2:C2	784.59	ab
A2:B1:C2	755.91	b
A2:B2:C2	753.95	b
A1:B1:C2	741.60	b
A1:B2:C2	739.36	b
A2:B1:C1	738.47	b
A1:B1:C1	660.41	c
A3:B1:C2	590.72	cd
A3:B1:C1	534.60	d

## Anexo 6. Resultado estadístico para el contenido de polifenoles totales

**Tabla 25**

*Análisis de varianza para el contenido de polifenoles totales*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	1449.6	724.8	101.30	1.99e-12 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	70.0	70.0	9.78	0.0045 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	24.7	24.7	3.45	0.0757 <sup>ns</sup>
Interacción A x B	2	1.4	0.7	0.10	0.9042 <sup>ns</sup>
Interacción A x C	2	1.0	0.5	0.07	0.9327 <sup>ns</sup>
Interacción B x C	1	0.2	0.2	0.03	0.8572 <sup>ns</sup>
Interacción A x B x C	2	1.9	0.9	0.13	0.8766 <sup>ns</sup>
Residuos	24	171.7	7.2		

ns: No significativo;

\*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 26**

*Prueba de Tukey al 95% para el contenido de polifenoles totales*

Tratamientos	Medias	Rangos
A3:B1:C1	40.00	a
A3:B1:C2	39.51	a
A3:B2:C1	38.43	a
A2:B1:C1	38.21	a
A2:B1:C2	36.59	a
A3:B2:C2	36.34	a
A2:B2:C1	35.50	a
A2:B2:C2	33.97	ab
A1:B1:C1	26.88	bc
A1:B1:C2	24.52	c
A1:B2:C1	23.28	c
A1:B2:C2	21.45	c

## Anexo 7. Resultado estadístico para el contenido de flavonoides totales

**Tabla 27**

*Análisis de varianza para el contenido de flavonoides totales*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	138.1	69.0	70.06	9.57e-11 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	795.8	795.8	807.62	< 2e-16 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	219.6	219.6	222.89	1.20e-13 <sup>ns</sup>
Interacción A x B	2	10.1	5.0	5.11	0.014 *
Interacción A x C	2	4.0	2.0	2.05	0.15 <sup>ns</sup>
Interacción B x C	1	11.9	11.9	12.06	0.002 ***
Interacción A x B x C	2	2.9	1.5	1.49	0.246 <sup>ns</sup>
Residuos	24	23.6	1.0		

ns: No significativo;

\*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 28**

*Prueba de Tukey al 95% para el contenido de flavonoides totales*

Tratamientos	Medias	Rangos
A1:B1:C1	39.28	a
A2:B1:C1	38.25	ab
A3:B1:C1	35.44	bc
A1:B1:C2	33.49	cd
A2:B1:C2	31.08	de
A1:B2:C1	30.31	ef
A3:B1:C2	30.13	ef
A2:B2:C1	27.77	fg
A1:B2:C2	25.28	gh
A2:B2:C2	24.10	h
A3:B2:C1	23.23	hi
A3:B2:C2	20.55	i

## Anexo 8. Resultado estadístico para el contenido de ácidos clorogénicos

**Tabla 29**

*Análisis de varianza para el ácido clorogénico*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	1.98	0.99	1369.91	< 2e-16 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	0.16	0.16	217.12	1.60e-13 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	4.81	4.81	6656.11	< 2e-16 ***
Interacción A x B	2	0.001	0.000	0.50	0.61
Interacción A x C	2	2.06	1.03	1425.76	< 2e-16 ***
Interacción B x C	1	0.07	0.07	92.44	< 2e-16 ***
Interacción A x B x C	2	0.1	0.5	67.84	1.33e-10 <sup>ns</sup>
Residuos	24	0.02	0.001		

ns: No significativo;

\*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 30**

*Prueba de Tukey al 95% para el ácido clorogénico*

Tratamientos	Medias	Rangos
A3:B2:C1	1.44	a
A3:B1:C1	1.40	a
A2:B1:C1	1.01	b
A2:B2:C1	0.83	c
A1:B1:C2	0.33	d
A3:B1:C2	0.32	d
A1:B2:C1	0.28	d
A1:B1:C1	0.27	d
A2:B1:C2	0.10	e
A2:B2:C2	0.04	e
A1:B2:C2	0.03	e
A3:B2:C2	0.03	e

**Tabla 31***Análisis de varianza para el ácido cafeico*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	1.68	0.84	1476.04	< 2e-16 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	0.002	0.002	4.17	0.052 <sup>ns</sup>
Factor C (Tiempo de tueste)	1	0.31	0.31	537.38	< 2e-16 ***
Interacción A x B	2	0.02	0.01	16.45	3.18e-05 ***
Interacción A x C	2	0.10	0.05	83.67	1.52e-11 ***
Interacción B x C	1	0.01	0.01	23.40	6.28e-05 ***
Interacción A x B x C	2	0.01	0.01	9.45	0.001 ***
Residuos	24	0.01	0.001		

ns: No significativo;

\*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 32***Prueba de Tukey al 95% para el ácido cafeico*

Tratamientos	Medias	Rangos
A2:B2:C2	1.33	a
A2:B1:C2	1.32	a
A1:B2:C2	1.27	a
A1:B1:C1	1.15	b
A1:B2:C1	1.14	b
A1:B1:C2	1.12	bc
A2:B1:C1	1.07	c
A2:B2:C1	0.98	d
A3:B2:C2	0.82	e
A3:B1:C2	0.81	e
A3:B2:C1	0.63	f
A3:B1:C1	0.60	f

**Tabla 33***Análisis de varianza para el ácido siríngico*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	0.16	0.08	89.87	7.14e-12 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	0.01	0.01	9.89	0.004 **
Factor C (Tiempo de tueste)	1	0.62	0.62	708.76	< 2e-16 ***
Interacción A x B	2	0.02	0.01	8.90	0.001 **
Interacción A x C	2	0.21	0.10	117.38	4.05e-13 ***
Interacción B x C	1	0.05	0.05	51.69	1.98e-07 ***
Interacción A x B x C	2	0.002	0.001	0.87	0.430 <sup>ns</sup>
Residuos	24	0.02	0.001		

ns: No significativo;

\*\*, \*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 34***Prueba de Tukey al 95% para el ácido siríngico*

Tratamientos	Medias	Rangos
A3:B2:C1	0.52	a
A3:B1:C1	0.45	a
A2:B2:C1	0.44	ab
A2:B1:C1	0.36	b
A1:B1:C2	0.18	c
A1:B1:C1	0.16	cd
A1:B2:C1	0.14	cd
A3:B1:C2	0.14	cd
A2:B1:C2	0.08	de
A2:B2:C2	0.04	e
A3:B2:C2	0.03	e
A1:B2:C2	0.02	e

**Tabla 35***Análisis de varianza para el ácido ferúlico*

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Factor A (Variedad de café)	2	0.004	0.002	21.97	3.77e-06 ***
Factor B (Temperaturas de Tostado)	1	0.003	0.003	27.46	2.27e-05 ***
Factor C (Tiempo de tueste)	1	0.01	0.01	144.03	1.25e-11 ***
Interacción A x B	2	0.002	0.001	10.66	0.0001 ***
Interacción A x C	2	0.01	0.003	27.63	5.94e-07 ***
Interacción B x C	1	0.01	0.01	106.31	2.69e-10 ***
Interacción A x B x C	2	0.001	0.001	7.06	0.004 **
Residuos	24	0.002	0.0001		

ns: No significativo;

\*\*, \*\*\*: Altamente significativo

**Tabla 36***Prueba de Tukey al 95% para el ácido ferúlico*

Tratamientos	Medias	Rangos
A2:B2:C1	0.12	a
A2:B1:C1	0.11	ab
A1:B1:C2	0.09	bc
A1:B1:C1	0.09	bcd
A3:B2:C1	0.09	bcd
A1:B2:C1	0.08	cd
A3:B1:C2	0.07	cd
A2:B1:C2	0.06	de
A3:B1:C1	0.04	ef
A2:B2:C2	0.03	f
A1:B2:C2	0.02	f
A3:B2:C2	0.02	f