



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO, TEMPERATURA Y VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA *Coffea* *Arábica* CASTILLO Y TÍPICA EN EL PROCESO DE TOSTADO

Tesis planteada para la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial

Autor: JEFFERSON IVÁN CHUGÁ CHAMORRO

Director: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, Msc.

IBARRA, 2018

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO, TEMPERATURA Y
VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA *Coffea Arábica* CASTILLO Y TÍPICA EN EL
PROCESO DE TOSTADO

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

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Luis Armando Manosalvas MSc



FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Juan Carlos De la Vega MEng



FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nicolás Pinto Mosquera MSc



FIRMA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Lic. Harold Ceballos MSc



FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

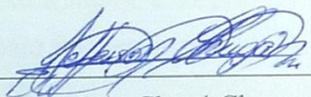
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040134624-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chugá Chamorro Jefferson Iván		
DIRECCIÓN:	Cdla. La Victoria		
EMAIL:	jeffernavi_ch18@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	065 002 007	TELÉFONO MÓVIL:	0994412159

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO, TEMPERATURA Y VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA <i>Coffea Arábica</i> CASTILLO Y TÍPICA EN EL PROCESO DE TOSTADO
AUTOR:	Chugá Chamorro Jefferson Iván
FECHA:	23 de febrero del 2018
PROGRAMA:	X PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Luis Armando Manosalvas MSc

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

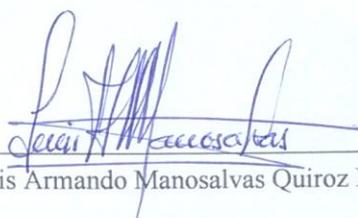
Ibarra, a los 23.días del mes de febrero del 2018



Jefferson Ivan Chugá Chamorro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jefferson Iván Chugá Chamorro, bajo mi supervisión.



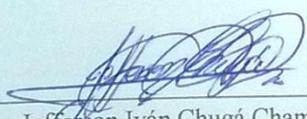
Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz MSc.

DIRECTOR DE TESIS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE**

Yo, Jefferson Iván Chugá Chamorro, con cédula de identidad Nro. 040134624-2 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO, TEMPERATURA Y VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA *Coffea Arábica* CASTILLO Y TÍPICA EN EL PROCESO DE TOSTADO**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero del 2018



Sr. Jefferson Iván Chugá Chamorro

C.I. 040134624-2

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 CAFÉ	4
2.1.1 ORIGEN DEL CAFÉ.....	5
2.1.2 TAXONOMÍA DEL CAFÉ	5
2.1.3 BOTÁNICA DEL CAFÉ	5
2.1.4 CULTIVO DE CAFÉ.....	9
2.1.5 PRODUCCIÓN DEL CAFÉ EN EL ECUADOR	11
2.2 VARIEDADES DE CAFÉ.....	12
2.2.1 CAFÉ ROBUSTA.....	12
2.2.2 CAFÉ ARÁBICA	13
2.3 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL GRANO VERDE DE CAFÉ ARÁBICA.....	15

2.3.1 HUMEDAD	16
2.3.2 DENSIDAD	19
2.3.3 ALCALOIDES.....	19
2.3.5 ACIDEZ Y PH	20
2.3.6 CARBOHIDRATOS.....	22
2.3.7 PROTEÍNA	23
2.3.8 LÍPIDOS	24
2.3.9 CENIZAS Y MINERALES	24
2.4 BENEFICIADO DEL GRANO DE CAFÉ	25
2.4.1 RECOLECCIÓN.....	27
2.4.2 BOYADO.....	27
2.4.3 DESPULPADO.....	27
2.4.4 FERMENTACIÓN	27
2.4.5 LAVADO.....	28
2.4.6 SECADO.....	28
2.5 INDUSTRIALIZACIÓN DEL CAFÉ	29
2.5.1 PILADO O TRILLADO	30
2.5.2 CLASIFICACIÓN	30
2.5.3 TOSTADO	30
2.5.4 MOLIDO.....	36
2.5.5 ALMACENAMIENTO	37
2.5.6 ENVASADO.....	37
2.6 CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL CAFÉ DURANTE EL PROCESO DE TOSTADO	38
2.6.1 CAMBIOS FÍSICOS.....	38

2.6.2 CAMBIOS QUÍMICOS.....	42
2.7 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL CAFÉ TOSTADO.....	48
2.7.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO DE CAFÉ.....	48
2.7.2 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS.....	49
2.8 CATACIÓN DEL CAFÉ.....	50
CAPÍTULO III.....	52
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....	52
3.1.1 MATERIALES.....	52
3.1.2 EQUIPOS DE LABORATORIO.....	53
3.2 METODOLOGÍA.....	53
3.2.1 FACTORES DE ESTUDIO.....	53
3.2.2 TRATAMIENTOS.....	54
3.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	54
3.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	54
3.2.5 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	54
3.2.6 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	55
3.2.7 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	55
3.3 VARIABLES EVALUADAS.....	55
3.4 MÉTODO DE ANÁLISIS.....	57
CAPÍTULO IV.....	67
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	67
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LOS GRANOS VERDES DE CAFÉ.....	67
4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	67

4.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	69
4.1.3 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES.....	72
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO	73
4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	73
<4.2.2 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES	81
4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO MOLIDO	83
4.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	83
4.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	90
4.3.3 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES.....	129
CAPÍTULO V	133
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
5.1 CONCLUSIONES	133
5.2 RECOMENDACIONES	134
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	135
6. BIBLIOGRAFÍA	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del café.....	5
Tabla 2. Clasificación del grano de café según el tamaño	9
Tabla 3. Producción de café en el Ecuador	11
Tabla 4. Composición físico-química del grano de café arábica	16
Tabla 5. Relación de temperatura y humedad en el proceso de tostado	17
Tabla 6. Relación del color de los granos de café con el contenido de humedad .	18
Tabla 7. Grupos de compuestos de algunos aromas en el café verde	18
Tabla 8. Relación del aumento de volumen del grano con el tiempo de tueste	19
Tabla 9. Sabores de algunos de los ácidos del café.....	21
Tabla 10. Contenido mineral de los granos de café verde	25
Tabla 11. Pérdida del producto en el proceso postcosecha del café	29
Tabla 12. Clasificación del grano en distintas mallas	30
Tabla 13. Composición físico-química del café tostado	31
Tabla 14. Características del café según el grado de tueste	32
Tabla 15. Cambios durante el tostado de café.....	33
Tabla 16. Condiciones del tostado del grano de café y pérdida de peso.....	36
Tabla 17. Requisitos de tamaño de partícula en el tostado molido del café	37
Tabla 18. Pérdidas del producto en el proceso de industrialización del café.....	38
Tabla 19. Cambios macroscópicos durante el tostado de café.....	38
Tabla 20. Relación de grado de tueste con pérdida de peso del grano tostado	39
Tabla 21. Características físicas del café a diferentes grados de tueste	40
Tabla 22. Relación N° Agron y características de sabor en el café	41
Tabla 23. Ácidos contenidos en el café tostado	46

Tabla 24. Aromas que diversos grupos químicos producen en el café tostado.....	47
Tabla 25. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café	49
Tabla 26. Factores de estudio.....	53
Tabla 27. Factores en estudio del tostado de Café Arábica	54
Tabla 28. Esquema del ADEVA	55
Tabla 29. Variables físico-químicas y sensoriales evaluadas	56
Tabla 30. Colores estándar SCCA/AGTRON.....	65
Tabla 31. Análisis de tamaño del grano verde de café.....	68
Tabla 32. Características físicas del grano de café verde.....	68
Tabla 33. Características químicas del grano de café verde en base húmeda.....	69
Tabla 34. Análisis de tamaño del grano de café tostado	74
Tabla 35. Densidad del grano de café tostado.....	76
Tabla 36. Análisis de varianza. Densidad del grano de café tostado	76
Tabla 37. Diferencia Mínima Significativa en la densidad del grano de café tostado. Factor A	77
Tabla 38. Humedad del grano de café tostado	78
Tabla 39. Análisis de varianza. Humedad del grano de café tostado.....	78
Tabla 40. Tukey para humedad del grano de café tostado.....	79
Tabla 41. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor A.....	79
Tabla 42. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor B	79
Tabla 43. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor C	79

Tabla 44. Análisis de la pérdida de peso generado por la evaporación del agua..	80
Tabla 45. Análisis de olor en el grano de café tostado.....	81
Tabla 46. Análisis de color en el grano de café tostado.....	82
Tabla 47. Densidad del café tostado molido	84
Tabla 48. Análisis de varianza. Densidad del café tostado molido.....	85
Tabla 49. Tukey para densidad del café tostado molido.....	85
Tabla 50. Diferencia Mínima Significativa de la densidad en el café tostado molido. Factor A	86
Tabla 51. Humedad del café tostado molido.....	87
Tabla 52. Análisis de varianza. Humedad del café tostado molido	87
Tabla 53. Tukey para humedad en el café tostado molido.....	88
Tabla 54. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido. Factor A	89
Tabla 55. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido. Factor B	89
Tabla 56. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido. Factor C	89
Tabla 57. Características químicas del café tostado molido en base húmeda.....	90
Tabla 58. Contenido de elementos químicos presentes en el café tostado molido	91
Tabla 59. Cenizas del café tostado molido	92
Tabla 60. Análisis de varianza. Cenizas del café tostado molido	92
Tabla 61. pH del café tostado molido	93
Tabla 62. Análisis de varianza. pH del café tostado molido.....	93
Tabla 63. Tukey para pH del café tostado molido	94

Tabla 64. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido.	
Factor A.....	95
Tabla 65. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido.	
Factor B.....	95
Tabla 66. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido.	
Factor C.....	95
Tabla 67. Proteína del café tostado molido.....	96
Tabla 68. Análisis de varianza. Proteína del café tostado molido	97
Tabla 69. Tukey para proteína del café tostado molido	97
Tabla 70. Diferencia Mínima Significativa en la proteína del café tostado molido.	
Factor B.....	98
Tabla 71. Diferencia Mínima Significativa en la proteína del café tostado molido.	
Factor C.....	98
Tabla 72. Lípidos del café tostado molido.....	99
Tabla 73. Análisis de varianza. Lípidos del café tostado molido.....	100
Tabla 74. Tukey para lípidos del café tostado molido	100
Tabla 75. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido.	
Factor A.....	101
Tabla 76. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido.	
Factor B.....	101
Tabla 77. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido.	
Factor C.....	101
Tabla 78. Sólidos totales del café tostado molido.....	103
Tabla 79. Análisis de varianza Sólidos totales del café tostado molido	103
Tabla 80. Tukey para sólidos totales del café tostado molido	104

Tabla 81. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido. Factor A	104
Tabla 82. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido. Factor B	105
Tabla 83. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido. Factor C	105
Tabla 84. Azúcares totales del café tostado molido.....	106
Tabla 85. Análisis de varianza. Azúcares totales del café tostado molido	107
Tabla 86. Tukey para azúcares totales en el café tostado molido	107
Tabla 87. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido. Factor A	108
Tabla 88. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido. Factor B	108
Tabla 89. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido. Factor C	108
Tabla 90. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido. Interacción AxBxC	110
Tabla 91. Azúcares reductores del café tostado molido.....	111
Tabla 92. Análisis de varianza Azúcares reductores del café tostado molido ...	112
Tabla 93. Tukey para azúcares reductores en café tostado molido.....	112
Tabla 94. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor A	113
Tabla 95. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor B	113
Tabla 96. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor C	113

Tabla 97. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Interacción AxBxC	115
Tabla 98. Polisacáridos del café tostado molido.....	116
Tabla 99. Análisis de varianza. Polisacáridos del café tostado molido	117
Tabla 100. Diferencia Mínima Significativa en polisacáridos del café tostado molido. Factor B	117
Tabla 101. Sacarosa del café tostado molido	118
Tabla 102. Análisis de varianza. Sacarosa del café tostado molido.....	118
Tabla 103. Tukey para sacarosa en el café tostado molido.....	119
Tabla 104. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor A.....	120
Tabla 105. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor B.....	120
Tabla 106. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor C.....	120
Tabla 107. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Interacción AxBxC.....	122
Tabla 108. Cafeína del café tostado molido.....	123
Tabla 109. Análisis de varianza. Cafeína del café tostado molido	123
Tabla 110. Tukey para cafeína del café tostado molido.....	124
Tabla 111. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Factor B.....	124
Tabla 112. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Factor C.....	124
Tabla 113. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Interacción AxBxC.....	126

Tabla 114. Acidez del café tostado molido	127
Tabla 115. Análisis de varianza. Acidez del café tostado molido	127
Tabla 116. Tukey para acidez en el café tostado molido	128
Tabla 117. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor A.....	128
Tabla 118. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor B.....	128
Tabla 119. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor C.....	128
Tabla 120. Análisis de color del grano de café tostado molido	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Café.....	4
Figura 2. Flor del cafeto	6
Figura 3. Desarrollo del fruto.....	7
Figura 4. Etapas de maduración del fruto de café.....	7
Figura 5. Componentes del fruto de café	8
Figura 6. Variedad de café Castillo.....	14
Figura 7. Variedad de café Típica	15
Figura 8. Escala de coloración del café verde.....	17
Figura 9. Esquema molecular de la cafeína	20
Figura 10. Esquema molecular de la trigonelina.....	20
Figura 11. Beneficiado húmedo del grano de café.....	26
Figura 12. Industrialización del grano de café.....	29
Figura 13. Tipos de tostado de café	33
Figura 14. Colores estándar de niveles de tueste desde “muy ligero” a “muy oscuro”	41
Figura 15. Esquema molecular de la sacarosa	44
Figura 16. Cambios de sacarosa durante el tostado de café. HMF, 5 - hidroximetil - 2 - furfural; HMFA, ácido 5 - hidroximetil - 2 - furoico.	44
Figura 17. Escala de coloración del café verde.....	64
Figura 18. Discos Agtron/SCCA	64
Figura 19. Tamaño del grano verde de café.....	67
Figura 20. Análisis de color del grano de café verde.....	72
Figura 21. Granulometría del grano de café tostado de la variedad Castillo	73
Figura 22. Granulometría del grano de café tostado de la variedad Típica	74

Figura 23. Densidad del grano de café tostado	75
Figura 24. Humedad del grano de café tostado.....	77
Figura 25. Interacción Tiempo – Temperatura. Humedad del grano tostado	80
Figura 26. Granulometría del café tostado molido.....	83
Figura 27. Densidad del café tostado molido.....	84
Figura 28. Humedad del café tostado molido	87
Figura 29. Interacción Tiempo – Temperatura. Humedad del café tostado molido	89
Figura 30. Cenizas del café tostado molido	91
Figura 31. pH del café tostado molido	93
Figura 32. Interacción Tiempo – Temperatura. pH del café tostado molido	95
Figura 33. Proteína del café tostado molido.....	96
Figura 34. Lípidos del café tostado molido.....	99
Figura 35. Interacción Temperatura – Variedad. Lípidos del café tostado molido	102
Figura 36. Sólidos totales en café tostado molido.....	102
Figura 37. Interacción Tiempo - Temperatura. Sólidos totales del café tostado molido	105
Figura 38. Azúcares totales del café tostado molido.....	106
Figura 39. Interacción Tiempo - Temperatura. Azúcares totales del café tostado molido	109
Figura 40. Interacción Tiempo - Variedad. Azúcares totales del café tostado molido	109
Figura 41. Interacción Temperatura - Variedad. Azúcares totales del café tostado molido	110

Figura 42. Azúcares reductores del café tostado molido	111
Figura 43. Interacción tiempo-temperatura. Azúcares reductores en café tostado molido	114
Figura 44. Interacción Tiempo - Variedad. Azúcares reductores del café tostado molido	114
Figura 45. Interacción Temperatura - Variedad. Azúcares reductores del café tostado molido.....	115
Figura 46. Polisacáridos del café tostado molido.....	116
Figura 47. Sacarosa del café tostado molido.....	118
Figura 48. Interacción Tiempo - Temperatura. Sacarosa del café tostado molido	120
Figura 49. Interacción Tiempo - Variedad. Sacarosa del café tostado molido ...	121
Figura 50. Interacción Temperatura - Variedad. Sacarosa del café tostado molido	121
Figura 51. Cafeína del café	122
Figura 52. Interacción Tiempo - Temperatura. Cafeína del café tostado molido	125
Figura 53. Interacción Tiempo - Variedad. Cafeína del café tostado molido	125
Figura 54. Acidez del café	126
Figura 55. Interacción Tiempo - Temperatura. Acidez del café tostado molido	129
Figura 56. Puntajes de la variedad de café Castillo	131
Figura 57. Puntajes de la variedad de café Típica.....	131
Figura 58. Resultados del proceso de catación del café.....	132

RESUMEN

El café ha sido durante décadas, el producto alimentario más comercializado y consumido en el mundo, por su sabor y aroma característico que lo convierten en una bebida única, con casi mil compuestos volátiles generados luego de que los granos de café arábica en las variedades Castillo y Típica fueron sometidos a un proceso de tostado con tiempos y temperaturas diferentes.

A estas variedades de café se les aplicó un beneficiado húmedo tradicional, el cual consiste en los procesos de recolección, boyado, despulpado, fermentado, lavado y secado, obteniendo un café pergamino seco de entre el 10 al 12% de humedad. Posteriormente, los procesos de trillado, selección, tostado y molienda, se los realizó utilizando 1 kg de café, con el fin de obtener un café tostado que corresponda a un perfil de taza.

El propósito principal de esta investigación fue determinar en las dos variedades de café, las transformaciones fisico-químicas y sensoriales que se produjeron durante el proceso de tostado, entre ellas, la disminución de la actividad de agua, cambios en la densidad, una variación de color en el grano, una pérdida de peso, cambios en el volumen y transformaciones generadas producto de la reacción de Maillard; utilizando temperaturas de 190 y 210°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) y tiempos de 12 y 18 minutos, los cuales sirvieron para estandarizar un producto de calidad que cubra con las necesidades del cliente y logre una mejor comercialización y posicionamiento en el mercado.

ABSTRACT

Coffee has been for decades the most commercialized and consumed food product in the world, due to its characteristic flavor and aroma, which makes it a unique drink, with almost a thousand volatile compounds generated after the Arabica coffee beans in the varieties Castillo and Typical were subjected to a roasting process with different times and temperatures.

These varieties of coffee were subjected to a traditional moist beneficiation, which consists of the harvesting, buoyancy, pulping, fermented, washing and drying processes, obtaining a dry parchment coffee of between 10 and 12% moisture. Subsequently, the threshing, selection, roasting and milling processes were performed using 1 kg of coffee, in order to obtain a roasted coffee corresponding to a cup profile.

The main purpose of this research is to determine the physical-chemical and sensorial transformations that occur in the roasting process, including the reduction of water activity, changes in density, a variation of color in the grain, a loss of weight, changes in volume and transformations generated by the Maillard reaction; using temperatures of 190 and 210 ° C (± 2 ° C) and times of 12 and 18 minutes, which will serve to standardize a quality product that meets the needs of the customer and achieve a better marketing and positioning in the market.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo y su consumo en el Ecuador no es la excepción. En el país se cultivan las especies de café arábica y robusta, donde se estima que el 55% de la producción es arábica concentrándose en las provincias de Manabí, Loja y las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, como lo son Azuay, Cañar, Pichincha, Imbabura y Carchi, y el 45% es de la variedad de café robusta, cuyo cultivo está orientado más hacia la Amazonía, en las provincias de Orellana y Sucumbíos (PROECUADOR, 2014).

El cultivo de café en la provincia del Carchi se fomentó a partir del año 2008 debido a que es un cultivo exigente. Actualmente la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” poseen un escaso conocimiento de los parámetros que se debe tener en cuenta en el proceso de tostado de café como son tiempo y temperatura; con el control de éstos obtendrán un café con menor cantidad de pérdidas y mejores características de color, olor y sabor.

Dentro del proceso de elaboración del café, la operación del tueste es la parte más importante debido a que de él dependerá la futura calidad del café. Es así, como el tema de investigación a desarrollarse se centrará en encontrar los parámetros óptimos para el proceso de tueste de los granos de café arábica, de esta manera la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” ofrecerá un producto de calidad ayudando así a mejorar su economía y sobre todo a comercializar un excelente café.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El cultivo de café al ser una de las bebidas de mayor aceptación en diversos países del mundo por su aroma y sabor característico, genera un modelo de vida óptimo para muchos productores del sector rural. A través del estudio de los parámetros adecuados para el tueste del grano de café arábica y dadas las expectativas que hay con respecto a la forma de cultivar de manera sostenible en dichas regiones, estaría evaluado como una de las mejores opciones a seguir.

Hoy en día la situación que atraviesa el Ecuador ha dado lugar a fortalecerse en muchas áreas, una de ellas es la caficultura. En la actualidad si se quiere ser competitivo hay que tener buenas estrategias, es decir, producir y ofrecer productos de buena calidad. Por esta razón la elaboración del presente proyecto es una alternativa que la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” se ha propuesto para mejorar su calidad de café.

El estudio de este proyecto será de gran ayuda para la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” ya que, con el establecimiento de los parámetros de tiempo y temperatura en el proceso de tostado del grano de café arábica, estandarizarán un producto de calidad que cubra con las necesidades del cliente permitiendo una mejor comercialización y posicionamiento del producto en el mercado.

Además, en la Agenda de Desarrollo Productivo territorial de la región de planificación #1, el café es una de las cadenas priorizadas y uno de los emprendimientos emblemáticos de la provincia del Carchi, constituyéndose un aporte para el desarrollo de la zona y la transformación de la matriz productiva.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros tiempo, temperatura y variedad de café arábica *Coffea Arábica* Castillo y Típica en el proceso de tostado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas y sensoriales (color y olor) en los granos de café verde en las variedades Castillo y Típica.
- Evaluar los efectos de tiempo, temperatura y variedad en los granos de café tostado sobre las características físicas (densidad y humedad) y sensoriales (color y olor).
- Determinar las características fisicoquímicas y sensoriales en el café tostado molido en las variedades Castillo y Típica.

1.4 HIPÓTESIS

- **Hipótesis alternativa:**

Hi: El tiempo y temperatura del proceso de tostado influye en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Castillo y Típica.

- **Hipótesis nula:**

Ho: El tiempo y temperatura del proceso de tostado no influye en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Castillo y Típica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CAFÉ

El café es considerado como uno de los cultivos más importantes a escala mundial ocupando el segundo lugar en comercialización solamente detrás del petróleo, por lo tanto asume un importante papel en la estructura económica, social, estándar de vida y desarrollo de países (Infocafés, 2015). Este producto es una bebida preparada a partir de las semillas procesadas del fruto de los cafetos, con un agradable aroma y sabor (Figura 1); sus semillas tostadas, molidas y en bebida, constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente y a pesar de no tener ningún valor alimenticio, se consume por sus propiedades refrescantes y estimulantes (Meenakshi Arya, 2013).

Este producto constituye uno de los cultivos más relevantes en las exportaciones agrícolas del país, que conjuntamente con el cacao y el banano han constituido una fuente de empleo y de divisas por décadas para la economía ecuatoriana (PRO ECUADOR, 2012).



Figura 1. Café

2.1.1 ORIGEN DEL CAFÉ

En sus inicios el café fue considerado como un alimento donde las bayas maduras eran estrujadas y moldeadas junto con manteca para su consumo, luego como un vino aromático que lo obtuvieron del jugo fermentado de las cortezas y pulpa del grano maduro, más tarde lo usaron como medicina hirviendo los granos secos en agua y finalmente, una bebida como la conocemos ahora. Hoy se puede decir que el café, tiene cualidades tonificantes y medicinales, ya que, la cafeína ejerce una acción estimulante, aumenta la actividad cerebral, facilita la asociación de ideas, la expresión, el esfuerzo intelectual e impide la somnolencia (Saba, 2015).

2.1.2 TAXONOMÍA DEL CAFÉ

El café es uno de los productos agrícolas más importantes en el mundo porque es una bebida elaborada a partir de granos tostados en la industria de procesamiento de alimentos (Tsai & Liu, 2013). Su clasificación taxonómica se le puede apreciar en la tabla 1, detallada a continuación.

Tabla 1. Taxonomía del café

Taxonomía	Nombre
Reino	Plantae
División	Anthophyta o Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea L
Especie	Arábica, Canephora, Liberica

Fuente: (Inglés, 2013)

2.1.3 BOTÁNICA DEL CAFÉ

Las plantas del café denominadas cafetos, son arbustos considerados como árboles leñosos de tronco recto y liso, con ramas flexibles y finas que pueden llegar a medir más de 12 metros de altura. Sin embargo, al ser una labor imposible el recolectar sus frutos a semejante altura, las plantaciones de cultivo de café, podan las plantas dejándolas entre los 2 y los 4 metros de altura con el fin de facilitar la recolección (Botanical, 2017).

La vida del cafeto comprende tres grandes períodos. El primero de crecimiento, que inicia con la germinación de la semilla y termina en la edad adulta aproximadamente de 4 a 7 años. El segundo período es el de producción, que se establece en 15 a 25 años, y a veces más; y el tercer y último período es el de decadencia fisiológica, que termina con la muerte de la planta (Heredia, 2013).

Sus hojas son perennes, duras y lanceoladas, y según la variedad su tono de color varía de un verde amarillento hasta un verde oscuro, manteniendo un color brillante todo el año. Su permanencia en la planta se reduce a causa de la sequía, altas temperaturas y mala nutrición (MAPAMA, 2014).

La flor es de color blanco aunque de una vida muy corta ya que a los tres días de florecer deja paso al fruto (Figura 2), su formación puede durar de 4 a 5 meses, donde se presentan las siguientes etapas: iniciación floral y diferenciación, un corto período de latencia, renovación rápida del crecimiento del botón floral y apertura de las yemas (Heredia, 2013).



Figura 2. Flor del cafeto

El fruto del café es de color verde y durante los 8 u 11 meses siguientes al proceso de floración, según la variedad y la zona de cultivo, a lo largo de su maduración van pasando por distintas tonalidades de color (Figura 3), que van del amarillo pálido al rojo brillante, estando listo para su recolección. Por lo general entre los 3 y los 5 años de vida dan su primer fruto, entre los 6 y 8 años de edad alcanza su máxima productividad ofreciendo un rendimiento de entre 400 gramos y 2,2 kilos al año, durante un período de vida entre 30 a 50 años y a medida que los años avanzan el nivel de productividad de la planta disminuye (Pulgarín, 2013).



Figura 3. Desarrollo del fruto

El grano de café cereza tiene una variación de color que va desde el verde claro hasta el rojo oscuro o amarillo, según la variedad, color en el cual ya se puede considerar como maduro y apto para la recolección (Figura 4).

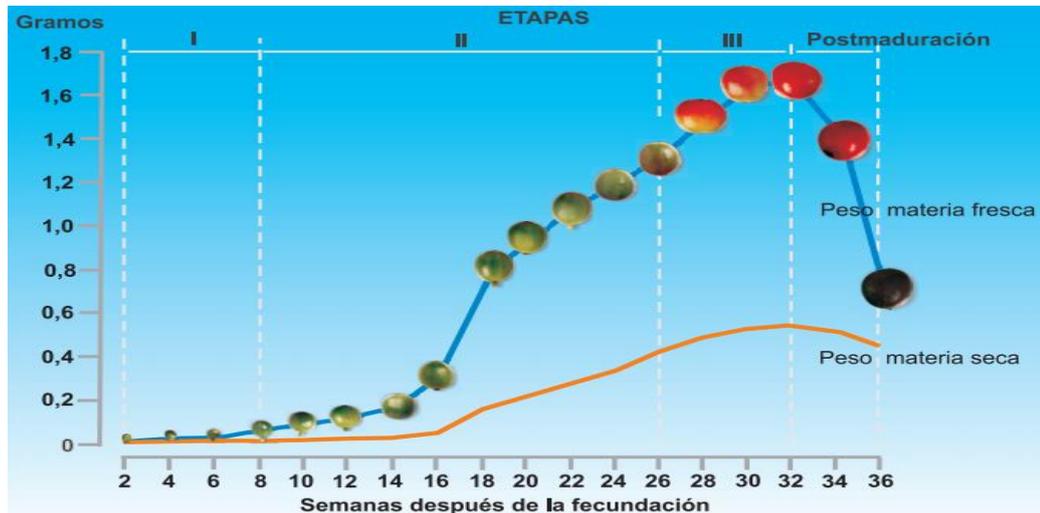


Figura 4. Etapas de maduración del fruto de café

Fuente: (Juan R. Sanz-Uribe, Yusianto, Sunalini N. Menon, cañuela Aida Pen-, Carlos Oliveros, Jwanro Husson, Carlos Brando, 2011)

El tiempo que transcurre entre la fecundación y la maduración del fruto, según las condiciones agroecológicas, varía de 210 a 230 días en los cuales se puede determinar las siguientes fases:

De la fecundación a la sexta semana, existe poco crecimiento en tamaño y peso del fruto. De la sexta a la décima sexta semana, hay un crecimiento rápido en peso y volumen, el grano se hace lechoso, se necesita suficiente agua para evitar la purga o caída de los frutos. De la décima sexta a la vigésima séptima semana, el

crecimiento exterior del fruto es reducido, pero hay una alta demanda de nutrientes; empieza a endurecerse la almendra. De la vigésima séptima a trigésima segunda semana, ocurre la maduración del fruto. Según las variedades, los frutos maduros son rojos (Heredia, 2013).

Según las Normas Técnicas Ecuatorianas (INEN 0283, 2001), los principales componentes del fruto de café vistos en la Figura 5 son:

- La pulpa, que es la parte del café cereza que se ha eliminado mediante el despulpamiento y está compuesta por el exocarpio y la mayor parte del mesocarpio.
- El pergamino, considerado como el endocarpio del fruto del café.
- El café cereza seco, que representa el fruto seco contenido en su envoltura externa.
- El grano pergamino, que consiste en el grano de café entero o parcialmente encerrado en su endocarpio.
- El grano con cáscara, que es el grano con envoltura externa (pericarpio) unido al fruto seco del café.
- El grano de corteza plateada, que representa el grano con envoltura seca, generalmente con un color plateado o cobrizo.
- La semilla de café, que se considera el óvulo de la flor fecundado y maduro.
- El mucílago, que es la parte del mesocarpio que, después del proceso de fermentación, se elimina mediante la operación de lavado.

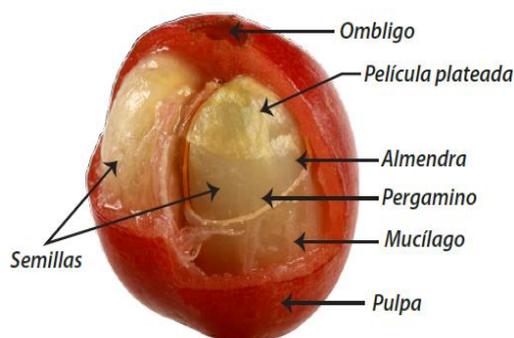


Figura 5. Componentes del fruto de café

Los restos del café pueden ser utilizados como un buen abono de las plantas, gracias a que contienen muchos minerales, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio que favorecen la composición del compost (Magem, 2016).

Referente al tamaño del grano de café, varía de 3 a 8 milímetros de longitud el cuál se lo mide en zarandas (Tabla 2), éste se da en términos de 1/64 de una pulgada, es decir, si el tamaño de la zaranda es 10, es 10/64 de una pulgada y así sucesivamente (Heredia, 2013). El tamaño del grano depende de la variedad, híbrido o clon, de la fertilidad del suelo y del grado de madurez al momento que se cosecha (Duicela, Guamán, & Farfán, 2015). El genotipo es un factor clave, ya que determina, en gran medida, características importantes como el tamaño y la forma de los granos de café (Batista & Chalfoun, 2015).

Tabla 2. Clasificación del grano de café según el tamaño

Forma del grano	No. de la zaranda	Diámetro del agujero (mm)	Tamaño del grano de café
Normal aplanado	20	8,00	Muy grande
	19	7,50	
	18	7,10	Grande
	17	6,70	
	16	6,30	Mediano
	15	6,00	
	14	5,60	Pequeño
	13	5,00	
	12	4,75	Muy pequeño
	11	4,36	
Ancho de las aberturas en mm			
Caracol	12	4,75	Mediano
	11	4,36	
	10	3,96	Pequeño

Fuente: (INEN 0290, 2003)

2.1.4 CULTIVO DE CAFÉ

El café es una planta tropical que crece entre 25° latitud norte y 25° latitud sur, donde necesita condiciones ambientales muy concretas para poder cultivarse a

nivel comercial. La temperatura, la lluvia, el sol, el viento y la composición del suelo son factores importantes para su desarrollo, aunque las exigencias varían en función de la variedad que se cultive (Rojo, 2014).

La planta de cafeto se considera de día corto, es decir, que su floración se produce cuando las noches empiezan a alargarse. Por lo general, necesita entre 11 y 13 horas luz al día, entre 200 y 280 horas luz por mes en la estación seca y entre 100 y 150 horas luz durante la estación lluviosa (Hinojosa, 2012). Por lo tanto, es importante cumplir con ciertas condiciones agroclimáticas para el cultivo del café, que permita un desarrollo adecuado.

La precipitación se refiere a la cantidad de agua que cae de la atmósfera en forma de granizo, nieve, o lluvia; cada milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado (Anchundia, José Luis; Armendáriz, 2014). El cafeto requiere de adecuadas cantidades de lluvias durante el año para su buen desarrollo, distribuidos de manera que exista un período seco de cuatro o cinco meses (Hinojosa, 2012).

Respecto a la altitud en el cultivo de café, es de fundamental importancia ya que a mayores altitudes la calidad del café es superior pero su producción es baja; mientras que a altitudes bajas la producción del café es mayor (Anchundia, José Luis; Armendáriz, 2014). El cafeto crece mejor y da más rendimiento en suelos planos, fértiles, aluviales, profundos (más de 50 centímetros), bien drenados, buena textura, con un pH de 5.5 a 6.5 y con buena retención de humedad y nutrientes (Hinojosa, 2012).

Los fuertes vientos van a afectar al tejido vegetal provocando la desecación y presencia de enfermedades, es por ello que es aconsejable seleccionar terrenos protegidos del viento o a su vez crear rompe vientos naturales para evitar la afectación al cafeto (Anchundia, José Luis; Armendáriz, 2014).

El cambio en las condiciones climáticas y el aumento global de las temperaturas supone una de las amenazas más grandes a la producción mundial de café. Esto supone un motivo importante de preocupación especialmente en el caso del C. arábica, pues no tolera temperaturas superiores a los 24°C. En general,

temperaturas superiores a los 28°C conducen a la aparición de anomalías que afectan a la flor y que reducen el rendimiento, mientras que las bajas temperaturas (inferiores a 7°C) afectan a la raíz, donde aparecen malformaciones, especialmente cuando se dan fuertes fluctuaciones a lo largo del día (Rojo, 2014).

2.1.5 PRODUCCIÓN DEL CAFÉ EN EL ECUADOR

La dinámica de la producción de café se caracteriza en general por una considerable inestabilidad y por el hecho de que a una cosecha grande en un año le sigue con frecuencia una cosecha más pequeña el siguiente. En los últimos 50 años ha habido un crecimiento constante en la producción nacional (Tabla 3), intercalada por descensos periódicos (Rojo, 2014).

Tabla 3. Producción de café en el Ecuador

Provincias	CAFÉ ARÁBICA (Hectáreas)	
	Superficie total	Área en producción
Manabí	70.050	52.538
Loja	29.345	22.009
El Oro	9.730	7.298
Guayas	6.355	4.766
Zamora Chinchipe	6.350	4.763
Los Ríos	3.520	2.640
Bolívar	3.410	2.580
Santa Elena	1.800	1.350
Galápagos	1.100	825
Cotopaxi	1.000	750
Esmeraldas	900	675
Pichincha	850	638
Imbabura	300	225
Morona Santiago	290	218
Cañar	270	203
Azuay	230	173
Carchi	195	146
Pastaza	40	30
TOTAL	136.385	102.89

Fuente: (COFENAC, 2013)

Ecuador es uno de los pocos países en el mundo que produce y exporta todas las variedades de café: arábigo lavado, arábigo natural y robusta. Su producción está activa en la mayor parte del año con precios competitivos a nivel mundial (PROECUADOR, 2014). Se estima que la caficultura se maneja de manera tecnificada solo un 15% y por ello se obtienen rendimientos altos (750 kg de café/ha), mientras que el 85% se lleva a cabo de manera tradicional, con bajo uso de insumos perjudicando al rendimiento a 250 kg café/ha (COFENAC, 2013).

2.2 VARIEDADES DE CAFÉ

El café es un cultivo netamente tropical, desarrollado entre ambos trópicos, el de Cáncer y el de Capricornio. Las características que definen básicamente sus cualidades, dependen mayoritariamente de sus variedades y de su procedencia. El café es una planta del género *Coffea*, compuesto por aproximadamente 100 especies, de las que tres de ellas son cultivadas con fines comerciales: *Coffea arábica* L. con un 56% de producción, *Coffea Canephora* Pierre exFroehner, conocida como robusta con un 43%, y *Coffea libérica* Bull exHiern con el 1% de producción mundial, destacándose principalmente las dos primeras (Patiño Velasco, Pencue Fierro, & Vargas Cañas, 2016).

2.2.1 CAFÉ ROBUSTA

Son cafés con un mayor contenido de cafeína, del 2 al 4%. Por lo general tienen frutos, flores y granos pequeños, de color marrón amarillento y con olor a paja seca. Se cultiva en altitudes por debajo de 1000 metros sobre el nivel del mar y presenta una resistencia a numerosas plagas y enfermedades (FENACA, 2012).

Es un árbol robusto con raíz poco profunda que puede alcanzar los 10 metros de altura. El fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar. Su semilla es alargada, mientras que las hojas suelen ser más grandes. Respecto a su bebida es fuerte, de gran cuerpo, de color oscuro y de fuerte sabor con un punto amargo que se pega al paladar. Esto y su mayor contenido en cafeína provocan que su consumo se realice mayoritariamente en forma de mezcla (Rojo, 2014).

2.2.2 CAFÉ ARÁBICA

Es una especie autógama, es decir, se autopoliniza o autofertiliza, considerado como un café de altura que se cultiva en temperaturas de 18 a 23°C y a una altitud de entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar en regiones ecuatoriales, y entre 400 y 1200 metros sobre el nivel del mar en regiones lejanas al Ecuador (Rosero, Sánchez, & Iván Enrique Paz Narváez, 2015).

Se trata de un arbusto grande, de unos 5 metros de altura, con hojas ovaladas y de color verde oscuro brillante. La floración se produce después del período de lluvias y sus flores son blancas y de aroma dulce. Los frutos son verdes y ovalados, se vuelven rojos cuando maduran, al cabo de 7-9 meses. Atendiendo 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).

2.2.2.1 Variedad de café Castillo

Es una especie autógama resistente a enfermedades como la roya del café y presenta buena productividad. Fue creada por la Federación Colombiana de Café, los cuales combinaron dos plantas resistentes a la roya que se complementan en sus características agronómicas. En esta variedad las hojas se disponen en el tallo casi verticalmente dando una sensación de adormecimiento (Figura 6). Esa característica que se conoce como hoja pendiente, es genética y no es consecuencia de algún problema de nutrición o patológico (Siboney, 2013).

Según Hernando Cortina, María Moncada, Juan Herrera (2012), esta variedad partió del cruzamiento entre Caturra y el Híbrido de timor. De este cruce se obtuvieron semillas y luego plantas de primera generación (F1 o hijos), las cuales dieron origen a la segunda generación (F2 o nietos), la cual expresó la mayor variabilidad respecto a las características de los padres, presentando una mayor resistencia a la roya, vigor, porte, morfología y tamaño de grano.

Una vez seleccionadas las mejores plantas F2 se tomó su semilla para obtener la tercera generación (F3), las cuales se sembraron y seleccionaron nuevamente. Este ciclo continuó hasta la quinta generación (F5), en la cual la mayoría de

características se fijaron por las mejores plantas. Finalmente se hizo una selección de campo, durante 5 años de evaluación agronómica, en diferentes localidades y se identificaron las líneas que actualmente componen la Variedad Castillo.



Figura 6. Variedad de café Castillo

La producción depende de la altitud, de la distancia de siembra y de la temperatura. Las primeras flores aparecen alrededor de los 11 meses después de la siembra en el campo, y por lo tanto, la primera producción puede presentarse a los 18-19 meses; respecto a su semilla, no puede almacenarse por períodos superiores a un año, aún en condiciones óptimas de temperatura y humedad bajas. Un almacenamiento a temperatura ambiente disminuye rápidamente su germinación (CENICAFÉ, 2012). Esta variedad se caracteriza por ser de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a la de la variedad Caturra y resistente a la roya del cafeto (Juan Pablo Cárdenas Díaz, 2014).

Otras de las ventajas en el uso de esta variedad es que permite una producción limpia del café, ya que no requiere de la aplicación de fungicidas para el manejo de la roya; el tamaño de sus granos es superior lo que permite acceder a mercados internacionales y beneficiar a los productores por este atributo y su calidad en taza es similar a la obtenida en las variedades tradicionales (Siboney, 2013).

2.2.2.2 Variedad de café Típica

Es un arbusto de forma cónica de textura fina y superficie lisa, generalmente formado de un solo tronco vertical que posee abundantes ramas laterales que forman ángulos entre 50 y 70 grados con el tallo central (Figura 7). Puede alcanzar una altura de 12-15 pies a libre crecimiento y es considerada como un

paternal para el desarrollo de muchas variedades de café, presentando una producción muy baja, pero de calidad excelente (Inglés, 2013).



Figura 7. Variedad de café Típica

El tamaño de su grano es relativamente grande y alargado, de superior calidad en la bebida y con gran resistencia de sus ramas al maltrato durante la cosecha. Son de porte alto, fáciles de podar, con buen rendimiento en beneficio por su tamaño del grano, tiene una producción no precoz, bianual, sus hojas son angostas y de poco brillo, no es resistente a la roya pero es de mayor adaptación por parte de pequeños y medianos cafetaleros por su reconocimiento y aprecio en mercados internacionales; por lo general, ocupan las tierras de más baja fertilidad para su siembra y utilizan mínimas cantidades de abonos y fertilizantes. Por lo general tiene un aroma pronunciado, entre floral y frutal, de acidez media alta y de mucho cuerpo (Juan Pablo Cárdenas Díaz, 2014).

Según Armando García (2013), la variedad Típica resulta de suma importancia para la comunidad que la cultiva, además los productores conocen perfectamente bien su fenotipo y sus características más sobresalientes, entre ellas: su poca ramificación secundaria, de gran elasticidad lo que facilita la cosecha, resulta más sana en su aspecto físico y presenta una mayor longevidad y periodo productivo.

2.3 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL GRANO VERDE DE CAFÉ ARÁBICA

El conocimiento sobre la composición físico-química del café (Tabla 4) es importante, ya que desempeña un papel clave durante la optimización de las condiciones de procesamiento para obtener una bebida de calidad.

Tabla 4. Composición físico-química del grano de café arábica

COMPONENTES	CONTENIDO DE CAFÉ VERDE (%)
Cafeína	1.3
Trigonelina	0.6 – 1.2
Proteína	11 – 15.8
Polisacáridos	50 – 55
Sacarosa	6.0 – 9.0
Azúcares reductores	0.1 – 1.3
Ácidos	
Alifáticos	1.0 – 1.8
Clorogénicos	4.1 – 7.9
Orgánicos	2.3
Lípidos	12-0 – 18-0
Minerales	3.0 - 4.2
Humedad	10 – 12

Fuente: (Meenakshi Arya, 2013), (Riaño Luna, 2012), (Temis Pérez, López Malo Vigil, & Sosa Morales, 2011), (Farah, 2012), (Janzen, 2010)

Éste se compone de agua y materia seca, la cual está constituida por minerales y por sustancias orgánicas como los carbohidratos, lípidos, proteínas, aminoácidos, ácidos carboxílicos y fenólicos, alcaloides como la cafeína y la trigonelina, y por compuestos volátiles que dan aroma al café (Meenakshi Arya, 2013).

2.3.1 HUMEDAD

La humedad en los granos de café varía aproximadamente del 10% al 12%. Por encima de este nivel, la humedad es indeseable tanto para la calidad del aroma y sabor como para los efectos de la salud, ya que aumenta la actividad del agua y por tanto la probabilidad de crecimiento microbiano. Por otro lado, la baja humedad produce grietas en las semillas y disminuye su viabilidad para germinar (Farah, 2012).

El café con un contenido de humedad adecuado, presenta tonalidades de olor y color característicos en el café, así como también conserva mejor y por más tiempo las características de calidad en taza hasta por 6 meses después de su elaboración. Por lo contrario, un contenido de humedad inadecuado afectaría a la estabilidad de almacenamiento y, por lo tanto, a las cualidades de sabor de los granos tostados (Omozoje Ohiokpehai, 2012). El control de humedad debe ser exacto, siendo determinante para mantener la calidad del producto y para un buen

desarrollo del tueste (Tabla 5). A continuación se detalla una relación de cómo el calor y la humedad de los granos afectan el proceso de tueste:

Tabla 5. Relación de temperatura y humedad en el proceso de tostado

Temperatura y humedad	Características
Baja temperatura y alta humedad del grano	Tueste lento, sabor a pan horneado, baja acidez, cuerpo acuoso, sabor plano
Baja temperatura y baja humedad del grano	Tueste rápido, el grano se tuesta más por encima que por adentro, sabores inconsistentes, acidez y cuerpo bajos, textura rugosa de los granos, con sabores metálicos.
Alta temperatura y alta humedad del grano	Tueste rápido, el grano se tuesta más por encima que por adentro, sabores inconsistentes, acidez y cuerpo moderados, textura esponjosa de los granos, con sabores quemados o amargos
Alta temperatura y baja humedad del grano	Tueste agresivo, el grano tiende a quemarse rápidamente, sabores inconsistentes, acidez aguda y cuerpo arenoso, textura frágil de los granos, con sabores quemados o amargos.

Fuente: (SCAN, 2015)

El color en los granos de café verde (Figura 8) es indicativo de la altitud y buenas prácticas de procesamiento. A medida que la altitud se incrementa el color del grano se torna más oscuro; sin embargo, también el color se ve afectado por el contenido de humedad del grano, la temperatura de secado, el tiempo de fermentación durante su procesamiento y las condiciones de humedad y temperatura durante su almacenamiento, el cual puede dar lugar a tonalidades más claras (Instituto Hondureño del café, 2004).



Figura 8. Escala de coloración del café verde

Las tonalidades de color característicos del grano de café arábica dependerán de dos factores: la zona donde fue cultivado y la humedad (Tabla 6). Un café de

altura tendrá un color gris azulado, y un café de bajura color verde pálido; de igual manera el color del grano está relacionado al tipo de proceso (lavado, semi-lavado o natural), al método de secado y al tiempo de almacenamiento (SCAN, 2015).

Tabla 6. Relación del color de los granos de café con el contenido de humedad

COLOR	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Gris oscuro	16 – 20
Blanco	14 – 15
Verde gris azulado	12 – 13
Verde	10 – 11
Verde claro	9
Pálido	7 – 8
Pálido amarillento	Menor de 7

Fuente: (Infocafes, 2012)

Respecto al aroma del grano verde de café se han encontrado cerca de 300 compuestos volátiles (Tabla 7); de los cuales la mayoría corresponde a piridinas, furanos, aminas, pirazinas, aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos y varios compuestos azufrados (Quintero, 2011).

Tabla 7. Grupos de compuestos de algunos aromas en el café verde

Grupo de compuesto	Olor en el café verde
Piridinas	Verde desagradable, hierbas verdes, tabaco, astringente, nauseabundo, fuerte, a tierra
Furanos	Acetona, chocolate, dulce, quemado, tierra, aceite, mohoso, caramelo, herbal, madera
Aminas	Picante, desagradable
Pirazinas	Arveja, pimienta
Aldehídos	Madera, pepino, grasa frita, rosa, miel
Cetonas	Fruta cocinada, rosas
Alcoholes	Floral, ligeramente cítrico
Ácidos	Queso, acre
Otros azufrados	Papa cocinada

Fuente: (Quintero, 2011)

2.3.2 DENSIDAD

La densidad de los granos es un indicio importante para determinar el origen y la edad del café. El café fresco procedente de altura tiene como característica una estructura del grano más densa y de menor tamaño que la del café originario de lugares de producción más bajos o de café viejo (Infocafes, 2012). La densidad para el café verde es aproximadamente de 645 g/l a 750 g/l y está expresada como la relación de la masa por unidad de volumen (gr/l, kg/m³) (Duarte, 2012).

La densidad es un factor importante que determina el volumen ocupado por una masa de granos. Ésta puede variar de acuerdo al tamaño y forma de los granos individuales y, en menor medida, según el contenido de humedad. Los factores que pueden influir en la densidad de los granos de café verde son los de carácter botánico, de procesamiento, almacenamiento y manipulación, mientras que en el proceso de tostado, por la aplicación de calor y el tiempo en el tostador, la densidad de los granos varía como se mira en la Tabla 8, ya que existe una pérdida de peso y un significativo aumento del volumen (INEN ISO 6669, 2013).

Tabla 8. Relación del aumento de volumen del grano con el tiempo de tueste

Tiempo de tueste	Color SCCA/Agtron	Aumento de volumen	Merma de tueste
10 min	70	30%	11%
15 min	55	75%	14,5%
20 min	40	90%	17%

Fuente: (Rovira, 2014)

2.3.3 ALCALOIDES

El café contiene varios alcaloides que contribuyen al sabor amargo del café como son la cafeína, la trigonelina y otros en menor concentración como paraxantina, teobromina y teofilina (Quintero, 2011).

- La cafeína es el principal alcaloide del café, de estructura purínica con características amargas, que se encuentra naturalmente en los granos del café (Figura 9). Su fórmula química es C₈H₁₀N₄O₂ y pertenece al grupo de las xantinas, a la que también pertenecen la guaranina (llamada así por la guaraná),

la mateína (por el mate), la teobromina (por el chocolate) y la teofilina (por el té) (Gaete, 2013). Los granos de café de la variedad arábica contiene aproximadamente del 0,6% al 1.07% de cafeína, de la variedad robusta 2.0% y de la variedad libérica 1.5% (Omozoje Ohiokpehai, 2012).

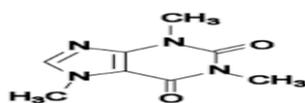


Figura 9. Esquema molecular de la cafeína

Es considerado como un estimulante en la bebida de café y es responsable de no más del 10% del amargor percibido en la bebida de café, su contenido reduce por sublimación durante el proceso de tostado (Omozoje Ohiokpehai, 2012). En estado puro, la cafeína es un sólido cristalino blanco inodoro, con una densidad de 1,23 g/ml, un punto de fusión de 237 °C y a presión atmosférica sublima a 176 °C, sin descomposición (Cortijo, 2003).

La cantidad diaria equivalente a dos o tres tazas de café tiene efectos como el alivio de la fatiga y el cansancio. La ingesta baja o moderada de cafeína se asocia con un mayor estado de alerta, capacidad de aprendizaje, desempeño en el ejercicio y mejor estado de ánimo, pero altas dosis pueden producir efectos negativos, por ejemplo, ansiedad, taquicardia e insomnio (Farah, 2012).

- La trigonelina es un alcaloide derivado del ácido nicotínico (Figura 10). Representa el 1% de la composición química del café verde contribuyendo a la amargura de la bebida y es un precursor para la formación de diferentes compuestos volátiles durante el tueste, algunos de los cuales pueden conferir un sabor objetable. El tostado rápido tiende a producir cafés con mayor contenido de trigonelina, en relación al tostado lento (Omozoje Ohiokpehai, 2012).

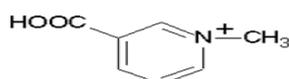


Figura 10. Esquema molecular de la trigonelina

2.3.5 ACIDEZ Y PH

La acidez del café se debe a la presencia de ácidos orgánicos (ácidos acético, fórmico, málico, cítrico y láctico) y ácidos clorogénicos y quínicos. Los ácidos

clorogénicos son uno de los polifenoles más abundantes contenidos en los granos de café verde, aportando propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antipiréticas y antineoplásicas de los extractos de café (Wei & Tanokura, 2015).

Los ácidos clorogénicos confieren astringencia, amargura y acidez a la bebida de café. Sin embargo, altas cantidades en el café verde, pueden producir sabor indeseable debido a los productos de oxidación y degradación formados antes del tostado. Debido a su inestabilidad térmica, experimentan muchos cambios durante el tostado como la isomerización, la epimerización, la lactonización (producen las lactonas, que contribuyen a la amargura de la bebida de café), la degradación a compuestos de bajo peso molecular y la incorporación a las melanoidinas contribuyendo al desarrollo del color y sabor (Farah, 2012). Después de los clorogénicos, los ácidos más abundantes del café almendra son los carboxílicos alifáticos como cítrico, acético y málico, seguidos del ácido fosfórico y otros 35 ácidos (Quintero, 2011).

La acidez percibida en la bebida de café ha sido reconocida como un atributo importante de la calidad del café, siendo los cafés lavados los de mayor acidez encontrada en relación a los cafés procesados naturalmente (en seco). El contenido de acidez también depende en mayor proporción del grado de tostado, tipo de tostado y método de infusión. La amargura, sin embargo, es un extremo de la acidez y puede ser considerada como un defecto. Se ha demostrado que el pH del café está relacionado con la acidez percibida del café. Un pH entre 4.9 y 5.2 es el rango preferido para una “buena taza de café” (Galindo Veliz, 2011).

Los cafés tostados a temperaturas más altas durante un tiempo más corto tienden a presentar una mayor acidez, más sólidos solubles y un perfil volátil diferente que los tostados durante periodos más largos a temperaturas más bajas (Farah, 2012). Los ácidos presentan diferentes sabores según la concentración (Tabla 9).

Tabla 9. Sabores de algunos de los ácidos del café

Ácidos	Sabores
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

Fuente: (Quintero, 2011)

2.3.6 CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son uno de los constituyentes más importantes en el grano de café y juegan un papel importante en el carácter final de la bebida, contribuyendo a su viscosidad, cuerpo y espesor. Los carbohidratos también imparten estabilidad a la espuma en la bebida de café Espresso (Meenakshi Arya, 2013).

Los poli-, oligo-, di- y monosacáridos representan más del 50% del peso seco y pueden dividirse en azúcares reductores y no reductores. La glucosa y la fructosa son los principales monosacáridos que se encuentran en los granos de café arábica y robusta y su contenido puede variar como consecuencia del procesamiento posterior a la cosecha. También se han detectado pequeñas cantidades de galactosa, manosa, arabinosa y ramnosa (Wei & Tanokura, 2015).

Los polisacáridos son precursores de la reacción de Maillard (en el caso de la sacarosa, después de la inversión) y de la caramelización, que son importantes para el desarrollo del color y del aroma. También contribuyen a la acidez de la bebida después del tueste de café. Dicha acidez puede aumentar a medida que los niveles de ácidos alifáticos (fórmico, acético, glicólico y láctico) aumentan a través de la degradación de sacarosa, polisacáridos y otros compuestos. Sólo durante el tostado se forma el aroma complejo del café por pirólisis, degradación de Strecker y reacción de Maillard (Farah, 2012).

La mayoría de los ácidos generados durante el tostado del grano de café se forman durante las primeras etapas. Los ácidos fórmicos, acéticos, glicólicos y lácticos son los principales ácidos generados por los carbohidratos (Meenakshi Arya, 2013).

Los polisacáridos del café están implicados en la formación de melanoidinas durante el tueste del café, que contribuyen al color y al sabor de la bebida de café y resultan ser componentes fisiológicamente activos. Por último, se considera que los polisacáridos del café son responsables de varias facetas de la sensación en la boca de la bebida, por ejemplo, la viscosidad y la estabilidad de la espuma (Dirk Selmar, Maik Kleinwachter Bytof, 2011).

El principal carbohidrato de bajo peso molecular en el café verde es la sacarosa, la cual es importante para el sabor y calidad del café, brindando un aroma superior y el sabor general en la bebida; su contenido varía del 6.25 al 8.45% en la variedad arábica y del 0.9 – 4.85% en la variedad robusta, el cual aumenta con el grado de maduración del grano verde (Meenakshi Arya, 2013). Los granos de café maduros y sanos contienen más sacarosa que los inmaduros y defectuosos (Górriz, 2016).

La sacarosa es una de las principales fuentes de los azúcares reductores libres, que participan en las reacciones de Maillard, Strecker y la caramelización del azúcar, durante el tostado del grano de café (Wei & Tanokura, 2015). Ésta se degrada rápidamente y su contenido es mínimo en un café tostado normal. La glucosa y fructosa que son productos de la hidrólisis de la sacarosa, se forman al tostar pero se degradan incluso más rápido que la sacarosa (Omozoje Ohiokpehai, 2012).

2.3.7 PROTEÍNA

Los compuestos nitrogenados totales (excluyendo la cafeína y la trigonelina) representan del 9% al 16% de la composición química del café verde; de este porcentaje, una parte será eliminada durante el tostado. Son vitales para el sabor del café y sirven como precursores para la formación de compuestos volátiles tales como furanos, piridinas, pirazinas, aldehídos y melanoidinas, mismos que son responsables del color marrón del café tostado y, hasta cierto punto, de su actividad antioxidante (Farah, 2012).

Cuando las proteínas se degradan durante el tueste, se producen varias sustancias simultáneamente con la formación del aroma y color del café. Cuanto más severo es el tostado menor es el contenido de proteína (Omozoje Ohiokpehai, 2012).

El desarrollo del aroma del café y el pardeamiento del café se consideran esencialmente como las consecuencias de las reacciones de Maillard, que se inician por la interacción del grupo carbonilo de un azúcar reductor y el grupo amino libre de un aminoácido, un péptido o incluso una proteína (Wei & Tanokura, 2015).

2.3.8 LÍPIDOS

Son componentes principales del café e indispensables para la salud, su contenido total varía considerablemente entre las especies *Coffea arábica* que tiene del 12 al 18% y *Coffea canephora* con un 9 al 13% (Omozoje Ohiokpehai, 2012); su presencia es importante ya que mantiene el café fresco y evita el estancamiento causado por la hidrólisis y la oxidación de los triacilglicerolos (Farah, 2012).

Éstos se oxidan en condiciones de oxígeno, luz, altas temperaturas y presencia de metales catalizadores, produciendo aldehídos, cetonas y alcoholes que, en general, tienen olores desagradables. Para controlar esta oxidación en el café es necesario almacenar los granos en condiciones frescas y secas, sin luz directa y, en el caso del café tostado y molido, controlar la exposición al oxígeno (Quintero, 2011).

2.3.9 CENIZAS Y MINERALES

Las cenizas del café se determinan mediante la calcinación del grano seco y molido, conteniendo a los minerales y elementos químicos. Este contenido es mayor en granos obtenidos del beneficio seco que del beneficio húmedo (Cortijo, 2003). Los contenidos de cenizas en el café almendra varían de 3,36% a 5,73%, con un promedio de 4,13% y en el tostado entre 3,05% y 5,25%, con un promedio de 4,36%; es decir, no hay cambios significativos en el contenido de minerales durante el tostado y la mayoría de los elementos se conservan durante el tueste (Meenakshi Arya, 2013).

Aunque el contenido de elementos metálicos es sólo del 4%, se cree que la mayoría de los minerales están asociados químicamente con los principales constituyentes de los granos de café (Wei & Tanokura, 2015). Se ha informado de

que un complejo de magnesio en el ácido clorogénico es responsable del color de los granos de café verde de buena calidad (Omozoje Ohiokpehai, 2012).

El contenido mineral (Tabla 10) consiste en aproximadamente 30 elementos diferentes, incluyendo sodio, magnesio, calcio y azufre. De estos elementos, sólo el magnesio parece variar considerablemente entre las especies (Farah, 2012). Los minerales encontrados en el café son: el potasio que constituye el 40-45%, el azufre el 7,9%, el magnesio el 3,9%, el fósforo el 3,4% y el calcio el 2,1%; estos cinco elementos conforman el 63% del peso de cenizas del café (Quintero, 2011).

Tabla 10. Contenido mineral de los granos de café verde

Componentes mayores, en mg %	
Potasio	1350 -- 1712
Magnesio	142 -- 176
Calcio	76 -- 120
Sodio	2,3 -- 17
Cobre	0,5 -- 2,3
Componentes menores, en µg %	
Cromo	74 -- 1327
Cobalto	10 -- 93
Plomo	18 -- 77
Titanio	4 -- 20

Fuente: (Clifford, 2013)

2.4 BENEFICIADO DEL GRANO DE CAFÉ

Es un proceso físico que consiste en transformar los frutos frescos y maduros del cafeto a frutos secos cubiertos por una cascarilla amarilla llamada pergamino o mucílago. Un adecuado beneficiado es fundamental para asegurar la calidad del grano, ya que el 80% de los problemas se originan en este proceso (Patiño Velasco et al., 2016), e influye fuertemente y determina la calidad del café verde y, por lo tanto, establece los diferentes sabores característicos de los cafés procesados en húmedo o en seco (Maik Kleinwächter, Gerhard Bytof, 2015).

Entre los procesos de beneficiado más utilizados están:

- El beneficiado por vía seca, que consiste en el tratamiento del café cereza para obtener el café pilado natural, el cual parte de un proceso de deshidratación, llegando hasta un cierto nivel en el que esté listo para ser llevado a la piladora. El café secado con todas las envolturas se conoce como café bola seca, el mismo que al ser pilado, elimina las envolturas del fruto, pasando a denominarse café natural (Azuelo, 2012).
- El beneficiado por vía húmeda, que consiste en transformar los frutos en café pergamino seco. Este método a diferencia del beneficio seco requiere más actividades como es: despulpado, fermentado, lavado y secado (Figura 11). Cuando se hace bien, se consigue que el café verde sea homogéneo, se conserve mejor y tenga pocos granos defectuosos (Oliveros & Sanz, 2011).

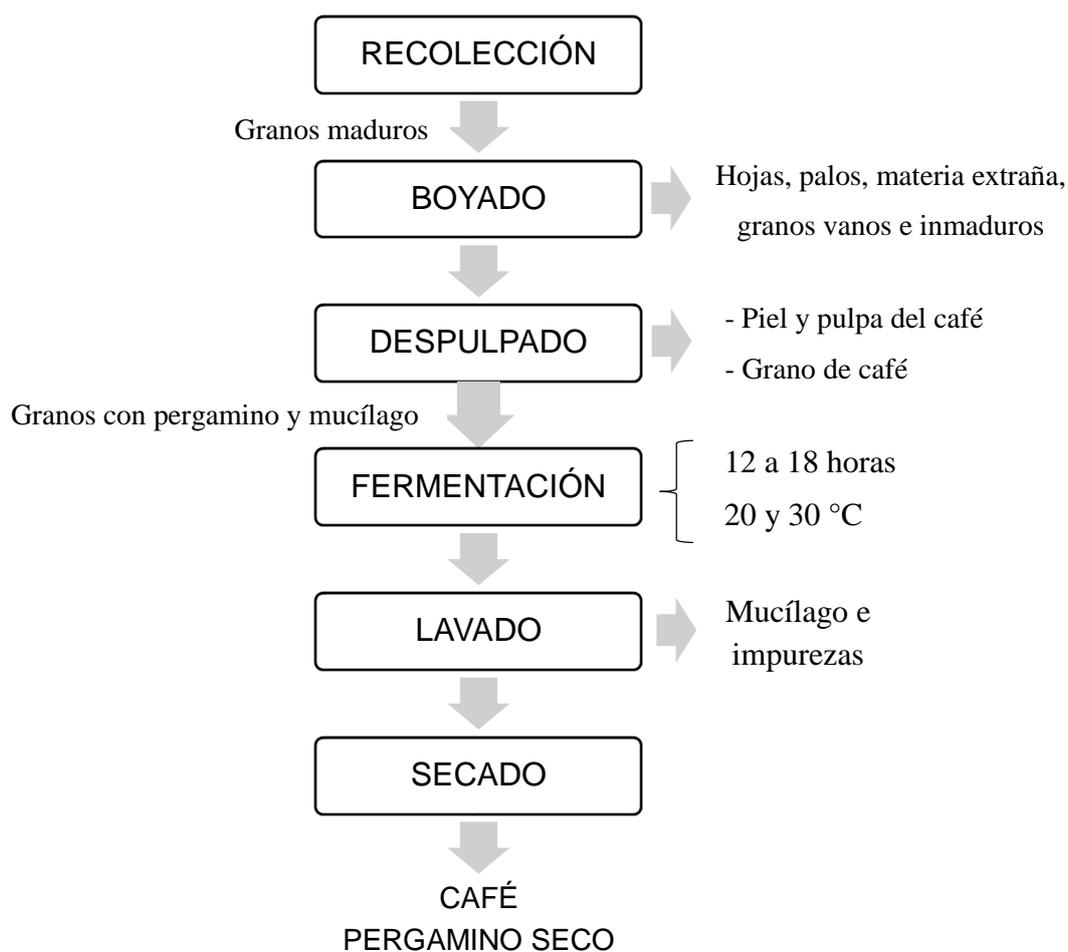


Figura 11. Beneficiado húmedo del grano de café

2.4.1 RECOLECCIÓN

Este proceso debe hacerse cuando los frutos están maduros, de color rojo y se puede realizar ya sea manualmente como mecánicamente, donde se seleccionan y recogen una a una las cerezas maduras o se recolectan todos a la vez. Si el índice de maduración no es el correcto puede generar granos la pulpa y mucílago secos adheridos al pergamino, por lo que el producto obtenido resultará de baja calidad (Rosero et al., 2015).

Tanto el grano verde como demasiado maduro se puede notar en el sabor de la bebida de café, ya que si aumenta el sabor amargo y presenta un aroma a fermento significa que el grano está verde o negro, y si hay presencia de un sabor fuerte y áspero, es cuando el fruto está demasiado maduro (Magem, 2016).

2.4.2 BOYADO

Este proceso se lo realiza con el fin de seleccionar a los frutos bien maduros por inmersión en agua (Jácome, 2012). Consiste en sumergir las cerezas de café en un recipiente con agua para eliminar todo tipo de hojas, pedazos de palos, materia extraña y frutos vanos o inmaduros, los cuales luego del procedimiento flotarán en el agua, mientras que, los frutos buenos y maduros se hundirán (Heredia, 2013).

2.4.3 DESPULPADO

Consiste en retirar la piel y la pulpa del café, quedando el grano con pergamino y mucílago, existiendo una merma del 40% luego del procedimiento; el tiempo entre el corte y despulpado no debe ser superior a 4 horas para que los frutos no pierdan humedad ni se descompongan (Sánchez, 2012). En la despulpadora se separan los granos de menos densidad por agua. La maquinaria debe ser exhaustivamente limpiada después de cada despulpe y debe contar con trampas para piedras, palos y/o cualquier otro material que no sea café (Jácome, 2012).

2.4.4 FERMENTACIÓN

La fermentación consiste en colocar los granos recién despulpados en tanques, para en ellos obtener la hidrólisis del mucílago mediante la acción de las enzimas propias del grano que descomponen las sustancias mucilaginosas, en donde se

fermentan de 12 a 18 horas a una temperatura entre 20 y 30°C; si se excede este lapso de tiempo, el café pierde peso y calidad, debido a que el producto toma un sabor a vinagre (Sánchez, 2012).

En esta etapa, ocurren varias reacciones bioquímicas; básicamente, las levaduras y las bacterias presentes en el mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares, produciendo energía y otras sustancias como alcoholes, ácidos, aldehídos, cetonas, ésteres y dióxido de carbono. Debido a esto, se generan cambios en el color, olor, densidad, acidez, actividad de agua, y en la composición química del grano, los cuales están directamente relacionados con el tiempo de duración de la etapa fermentativa (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016).

2.4.5 LAVADO

Este proceso se lo realiza inmediatamente luego de la fermentación, utilizando agua limpia y abundante para evitar cualquier tipo de contaminaciones que alteren la calidad del café (Jácome, 2012). El objetivo del lavado es desprender el mucílago obteniendo un 50% de pérdidas y al mismo tiempo limpiar impurezas que se desprenden en el despulpado y en la fermentación (Sánchez, 2012).

2.4.6 SECADO

Es una etapa delicada que se basa en secar el café después de haber sido escurrido, para cuyo efecto se utilizan tendales, patios limpios o marquesinas solares, que no estén muy calientes para que el pergamino que recubre los granos no se desprenda (Sánchez, 2012). Consiste básicamente en disminuir la humedad de valores alrededor del 55%, a valores próximos al 12% y un mínimo de 10%, en constante movimiento durante 8 a 15 días para lograr un secado uniforme (Magem, 2016).

Con esto se asegura que se conserven sus propiedades organolépticas, de lo contrario su calidad se deteriora, por lo que el control de esta variable es fundamental durante la comercialización y almacenamiento de este producto (Patiño Velasco et al., 2016). La realización de cada una de las operaciones postcosecha del café genera un cierto tipo de pérdidas registradas en cada proceso productivo (Tabla 11).

Tabla 11. Pérdida del producto en el proceso postcosecha del café

PROCESO	% DE PÉRDIDA	LIBRAS QUE SE PIERDEN	LIBRAS QUE QUEDAN
Cosecha (café cereza)	---		100
Despulpado	40	40	60
Fermentado y lavado	50	30	30
Secado (Café pergamino)	17	5	25

Fuente: (Cumbicus, 2016)

2.5 INDUSTRIALIZACIÓN DEL CAFÉ

El café, después de haberlo secado hasta obtener los niveles de humedad requeridos, es trasladado en su forma de pergamino, a los centros industriales para su procesamiento (Figura 12), siendo el campo más propicio para darle al consumidor un café de alta calidad que cumpla con las expectativas del mercado.

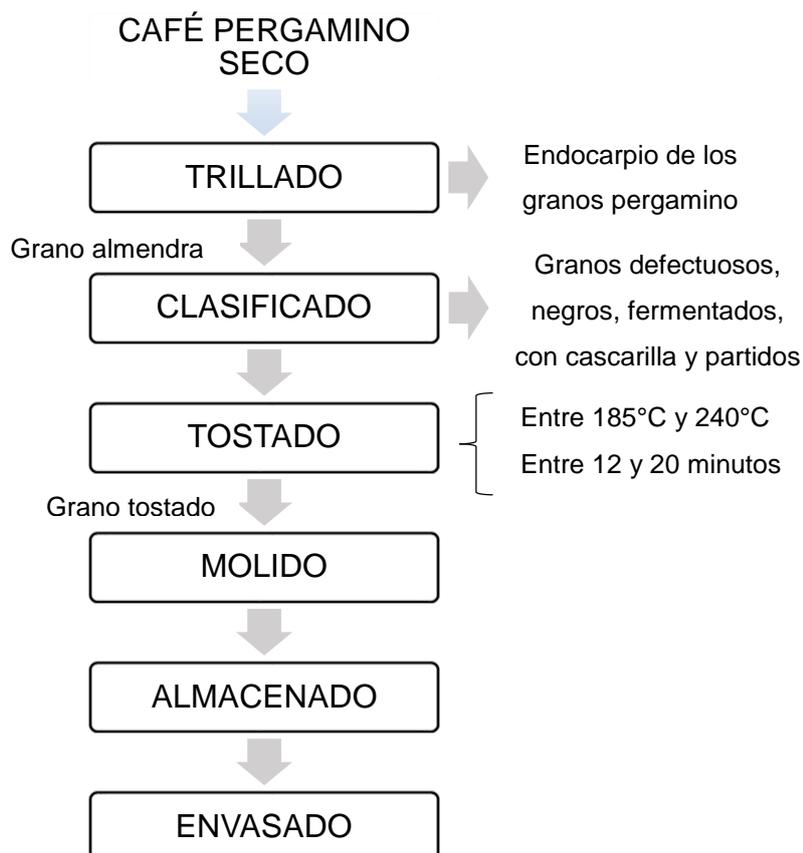


Figura 12. Industrialización del grano de café

2.5.1 PILADO O TRILLADO

Este proceso consiste en retirar el endocarpio de los granos pergamino para obtener los granos de café almendra obteniendo una disminución del 20% aproximadamente, mediante máquinas trilladoras dependiendo del tipo de grano y su humedad (Sánchez, 2012).

2.5.2 CLASIFICACIÓN

En esta fase, se retiran los granos con defectos, negros, fermentados, con cascarilla y los partidos. Los granos aceptados, se los debe clasificar de acuerdo a los tamaños, colores e imperfecciones, para un tostado más homogéneo (Sánchez, 2012). La clasificación de café se realiza por medio de la retención granulométrica o tamaño de grano en las distintas mallas (Tabla 12), ya que es ahí donde se especifica el café para exportación o para consumo nacional (Santacruz, 2014).

Tabla 12. Clasificación del grano en distintas mallas

Calidad del café	Sobre malla
Premium	18
Supremo	17
Extra especial	16
Europa	15
Consumo	14

Fuente: (Santacruz, 2014)

2.5.3 TOSTADO

Es la operación unitaria más importante en la tecnología del café, en la cual se fijan y forman químicamente sustancias orgánicas que originan el aroma, color, cuerpo, olor y sabor que se verán reflejados en la taza (Garay, 2014). En esta operación los granos de café son sometidos a un calentamiento, el cual provoca una liberación del agua ligada a los granos, seguido de una serie de reacciones químicas; manteniéndolo en continuo movimiento durante un determinado tiempo para asegurar un tostado completo del grano (Santacruz, 2014).

La tosti3n es una operaci3n en la cual, se promueve la transferencia de calor convectiva y conductiva; lo que se busca es una pirolisis controlada, en la cual la

acción del calor permite desnaturalizar las proteínas las cuales reaccionan con los carbohidratos y forman los compuestos volátiles (Arenas, 2016).

Durante el tostado, los granos de café pierden su fuerza y dureza, existe una disminución del contenido de humedad durante los primeros 5 a 10 minutos de tostado, lo que afecta las propiedades de textura, convirtiéndoles a los granos más frágiles y quebradizos (Ooi Ee Shan, 2016).

En este proceso se ocasionan además diversos cambios en su composición fisico-química (Tabla 13), siendo los más relevantes la disminución de la actividad de agua, una variación de color en el grano, cambios en la densidad, cambios en el volumen, una pérdida de materia en forma de CO₂ y vapor de agua, también genera la transformación o degradación de azúcares, aminoácidos y ácidos clorogénicos, lo que resulta en un incremento de lípidos y ácidos orgánicos (Rivera W, 2013), el almidón se convierte en azúcar, las proteínas se descomponen y se desprende el aceite esencial del café, conocido como cafeol el cual es el responsable del sabor y aroma del café en taza (Arenas, 2016).

Tabla 13. Composición físico-química del café tostado

COMPONENTES	CONTENIDO DE CAFÉ TOSTADO (%)
Cafeína	1.0 -- 1.2
Trigonelina	0.3
Proteína	7.5 --15
Polisacáridos	30 - 33
Sacarosa	0,50
Azúcares reductores	0.3
Ácidos	
Alifáticos	1.6
Clorogénicos	2.5
Lípidos	17
Minerales	3.5 - 4.5
Humedad	0.5

Fuente: (Riaño Luna, 2012), (Temis Pérez et al., 2011), (Janzen, 2010)

El proceso de tostado se lleva a cabo de muchas maneras: por conducción con superficies metálicas calientes utilizando tostadores de tambor convencionales, por métodos de radiación utilizando tostadores infrarrojos y por convección

utilizando aire como medio de calentamiento, el cual resulta un método ampliamente utilizado mismo que se basa en someter los granos a una temperatura de 200 a 230°C durante 12 a 20 minutos (Shan, Zzaman, & Yang, 2016).

A lo largo de un tostado tradicional, el rango de temperatura en el proceso de tostado está ubicado entre 185 y 240°C, siendo la temperatura óptima la comprendida entre 210 y 230°C otorgándole un tiempo de 12-15 minutos; si se sobrepasa estos rangos establecidos provoca una carbonización sobre el grano (Tabla 14) (Ardila, 2009).

Tabla 14. Características del café según el grado de tueste

Color	Notas	Superficie	Características organolépticas
Claro	Después de varios minutos se escucha un Crack, el grano se expande de tamaño. Esta etapa es llamada el primer Crack	Seca	Cuerpo bajo, alta acidez, no hay sabores evidentes a tostado
Medio	Después de unos pocos minutos el tueste alcanza este estado, el cual es preferido por los vendedores de café especial	Seca	Más dulzor que el tueste claro; más cuerpo, más balanceado en acidez, aroma y complejidad
Oscuro	Después de pocos minutos, el café empieza a sonar de nuevo, el aceite empieza a surgir. Este estado se llama el segundo Crack	Un poco brillante	Un poco picante; pierde complejidad, pero gana un cuerpo más pronunciado. Los aromas y sabores del tueste se vuelven evidentes.
Extra oscuro	Después de unos pocos minutos, el café empieza a humear. Los azúcares empiezan a carbonizarse	Muy aceitosa	Ahumado-dulce; no se reconocen ninguna de las características inherentes del grano.

Fuente: (Foy, 2017)

Según (Foy, 2017), los tipos de tostado de café (Figura 13), varían dependiendo del tiempo y temperatura que se utilice para dicho proceso y éstos son:

- Tostado claro, ligero o pálido, normalmente denominado el tostado canela; se caracteriza por tener un sabor menos intenso, en la que los granos se mantienen en la tostadora durante la menor cantidad de tiempo posible. Este procedimiento produce granos ideales para preparar café de tonalidad clara, sabor muy ácido, cuerpo nulo y con alto nivel de cafeína.

- Tostado medio o americano, que se utiliza para el café de filtro o para tostados genéricos. En este tostado se ha obtenido la expansión total del grano al doble de su tamaño, produciendo un café más fuerte que el anterior. Este procedimiento produce un taza de café "más oscura" y con mayor sabor.
- Tostado oscuro, produce granos ricos, fuertes y concentrados que se utiliza en las tiendas gourmet. El resultado es un café más amargo, más dulce, se desarrolla más el cuerpo del café y se utiliza para los expresos de calidad media. Esta variedad requiere un mayor tiempo de tueste, para lograr obtener mayor cantidad de los aceites naturales y azúcares de los granos. Asimismo, el color oscuro proviene de los azúcares de los granos al caramelizarse.
- Tostado muy oscuro, estos granos se tuestan al punto de quemado, cuando ciertamente comienzan a ahumarse. Este tipo de tostado produce el café más oscuro de todos, debido a que los granos se tuestan en el tiempo indicado para ser usados en ricas bebidas de café expreso.



Figura 13. Tipos de tostado de café

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 15).

Tabla 15. Cambios durante el tostado de café

Temperatura	Cambios del grano de café en el proceso de tostado
100°C	Presenta coloración verde a amarilla, olor a pan tostado y desprendimiento de vapor de agua. Hay desecación y pérdida de agua
120 - 130°C	Presenta coloración castaño que pasa de pardo claro a oscuro. Reducción de azúcares y aminoácidos
150° C	Despide olor a semillas tostadas sin apreciarse el aroma característico. Caramelización de azúcares

180° C	El aroma del café comienza a desarrollarse. Hay un desprendimiento de CO y CO ₂ por pirogenación de carbohidratos, proteínas grasas. Los granos adquieren una coloración marrón y su volumen aumenta.
180 - 270°C	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° C	El desprendimiento del humo aumenta, los granos se ennegrecen y pierden el brillo; el volumen deja de aumentar.
300° C	Granos negros y desmenuzables bajo ligera presión, desaparece el aroma por completo. El café se carboniza

Fuente: (Inglés, 2013)

Los primeros cambios inician a los 50°C en las capas superficiales del grano; el grano cambia de color verde a amarillo y presenta un olor a pan tostado, además se desprende vapor de agua (Duarte, 2012). A medida que se eleve la temperatura provoca la desnaturalización de las proteínas y continua la evaporación del agua (Cavaco, Antóanto , Cochicho, Bartolomeu, & Cebola , 2011).

A los 120-130°C, el grano cambia nuevamente de una coloración castaña a coloraciones pardas, surge un aumento en el volumen pero su olor todavía no es característico (Duarte, 2012). Se inicia la descomposición de compuestos orgánicos por medio de pirolisis (Cavaco, Antóanto , Cochicho, Bartolomeu, & Cebola , 2011).

Alrededor de los 150-180°C ocurre la pirólisis, en donde a causa de la descomposición de carbohidratos, proteínas y grasas se generan productos gaseosos como el vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono y compuestos volátiles; los que provocan el aumento del volumen del grano, el olor comienza a ser característico y el color se torna marrón a razón de las reacciones de Maillard y la caramelización de azúcares (Duarte, 2012).

La etapa de disgregación o descomposición en la cual se produce el rompimiento de la estructura celular de los granos debido a sobrepresiones internas, se evidencia la presencia de humo y aparece el aroma del café (Cavaco, Antóanto , Cochicho, Bartolomeu, & Cebola , 2011).

“A los 180-200° C, con la disrupción del endospermo, comienza la caramelización, el agrietamiento del grano, aparece un humo azulado y se

desarrolla el aroma”. Finalmente para evitar que el café continúe tostándose y perder el aroma, se enfrían con una corriente de aire frío. Durante esta etapa de tueste según Cárdenas (2014), existen tres fases claves las cuales son:

- Fase de secado: Durante esta fase se realizan diferentes procedimientos, el primero es la evaporación del agua existente en el café almendra el cual dura un 80% del proceso, y es la pérdida del 3% de la humedad inicial del fruto, luego el grano se torna amarillo o carmelita y cambia su aroma.
- Fase de tostión: Durante esta fase el café sufre cambios dentro de la célula que son una producción de membranas responsables del sabor y el aroma, por lo general eso ocurre entre 205 a 120 °C, en esta fase el café presenta una expansión donde se torna de color azulado, luego grisáceo y opaco.
- Fase de enfriamiento: Esta es la última fase donde una vez que la tosti3n terminó se disminuye la temperatura, esto puede ser por inyección de aire o de agua.

2.5.3.1 Variables básicas del tueste

Los parámetros de procesamiento tales como la cantidad de café en el tambor, tiempo, temperatura, velocidad y flujo del aire circulante usados para lograr un tipo de tostado, influyen notablemente en el comportamiento del café (AgroEnfoque, 2016). Una vez que el grano de café es apto para procesamiento, pasa al tostado, en el cual se involucran las variables tiempo y temperatura, para obtener un grado de tueste con características favorables (Julián Londoño, 2013).

La temperatura de tueste, depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad del color final requerido. En una primera fase se seca la humedad y es la fase que influye menos en el gusto final. En una segunda fase se origina la expansión de las celdillas del grano de café y empieza la creación de los gases. La tercera fase debe ser más lenta pues es la que confiere básicamente el gusto final al producto (Solá, 2013).

Con respecto al tiempo de tueste, de acuerdo a Solá (2013), oscila entre un minuto y un máximo de 25 o hasta 30 minutos, según los sistemas:

- Sistema lento de 15 y hasta 20 minutos, es muy apreciado por los tostadores artesanos. Se consigue así un grano con un color oscuro y uniforme, bonito, con una óptima presencia para ser vendido al detalle y en grano.
- Sistema rápido de 1 a 3 minutos, con él se obtiene menos merma al tostar, se gana alrededor de un 2% y se utiliza principalmente para tostar los cafés de calidades inferiores, normalmente vendidos molidos.

Hay que tener en cuenta que la temperatura no es constante, sino que varía a lo largo del proceso resultando inversamente proporcional al tiempo, es decir, a mayor temperatura menor tiempo o viceversa (Solá, 2013). Estos factores influyen en el tipo de tueste del café (Tabla 16), mismos que se detallan a continuación:

Tabla 16. Condiciones del tostado del grano de café y pérdida de peso

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: (AH REUM CHO, 2013)

2.5.4 MOLIDO

La molienda es fundamental en la calidad del café. La mayoría de los problemas de sabor y aroma corresponden a una mala selección del grano o un tostado incorrecto, esto ocasiona que la molienda no sea la adecuada. Al moler el café, incrementamos su área superficial, por lo que los procesos de oxidación se aceleran, logrando que el café molido solo pueda estar en condiciones de ambiente un máximo de 3 días (Jácome, 2012).

La temperatura durante este proceso debe ser hasta los 35°C o máximo 50°C, ya que a mayor temperatura el café se quema y pierde muchos aromas (Sánchez, 2012). De acuerdo a Jácome (2012), existen 2 clases de molido:

- La molienda fina que es utilizada para preparar un café de sabor fuerte y amargo. Cuando más fino sea el molido, más tiempo tardará el agua en filtrar el café.

- La molienda gruesa que se utiliza para el café de melita o filtro, dando como resultado un café flojo, poco concentrado y falta de sabor.

El tamaño de la partícula afecta al tiempo de preparación, al grado de turbidez en la taza y a otras propiedades de la bebida elaborada (Meenakshi Arya, 2013). Respecto a la granulometría del grano de café tostado molido (Tabla 17), según la norma (INEN 1123, 2014), se lo puede utilizar y clasificar en:

Tabla 17. Requisitos de tamaño de partícula en el tostado molido del café

Denominación	Tamaño de la partícula	Uso
Extrafino	Debajo del tamiz de 350 μm	Café expresso
Fino	Entre los tamices de 350 μm – 500 μm	Filtro de cafetera
Mediano	Entre los tamices de 500 μm – 700 μm	Café en percoladora
Gruoso	Entre los tamices de 700 μm – 900 μm	Café soluble

Fuente: (INEN 1123, 2014)

2.5.5 ALMACENAMIENTO

El lugar de almacenamiento debe estar completamente limpio y libre de sustancias como gasolina, jabón, insecticidas, abonos, tierras, animales e insectos, ya que el grano absorbe cualquier mal olor. La humedad promedio para almacenar café está entre 10.5 y 12°C para conservarle hasta por 6 meses (Jácome, 2012).

Se usa tarimas para que el producto no esté en contacto directo con el suelo, esto es importante para evitar la humedad y deben tener una separación de 50 cm entre paredes y sacos de café. Se utilizará de preferencia costales nuevos y si no es posible, el costal debe estar limpio y en buenas condiciones. (Jácome, 2012)

2.5.6 ENVASADO

Una vez obtenido el producto final, el café empieza a desprender gases (CO_2 en su mayoría) que pueden afectar su sabor. El contacto del café con el aire también puede alterarlo. El envase ideal de café debe ser lo suficientemente grueso para impedir que pierda su frescura (Jácome, 2012).

La realización de cada una de las operaciones para la elaboración de un café de calidad genera un cierto tipo de pérdidas registradas en cada proceso productivo.

La tabla 18 indica el porcentaje de mermas generadas en una industrialización del café partiendo de un quintal de pergamino seco hasta llegar a la fase de molienda.

Tabla 18. Pérdidas del producto en el proceso de industrialización del café

PROCESO	% DE PÉRDIDA	LIBRAS QUE SE PIERDEN	LIBRAS QUE QUEDAN
Café pergamino	---		100
Trillado	20	20	80
Clasificación	1	0,8	79,2
Tostado	20	15,8	63,4
Molido	0,6	0,4	63

Fuente: (Cumbicus, 2016)

2.6 CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL CAFÉ DURANTE EL PROCESO DE TOSTADO

El proceso de tostado es una operación en la cual ocurren varias reacciones físicas, químicas y sensoriales, mismas que se detallan a continuación.

2.6.1 CAMBIOS FÍSICOS

Durante el proceso de tostado, el café sufre una serie de cambios dramáticos asociados a los incrementos de la temperatura que actúan como indicadores, permitiendo controlar el proceso de tostado de una forma más precisa (Tabla 19). De las modificaciones más relevantes están los cambios de coloración de marrón a negro, resistencia baja que lo hace muy frágil, incremento del volumen por la generación de gases internos, disminución de la densidad, presencia de macro y micro poros, rompimiento de la estructura celular y la disminución del contenido de humedad al 1%, si no hay enfriamiento (Mora, 2017).

Tabla 19. Cambios macroscópicos durante el tostado de café

Temperatura	Efecto
20 – 130 °C	Transición líquido-vapor del agua (secado). Sucede decoloración
130 – 140 °C	Coloración amarilla e hinchazón del grano con comienzo del pardeamiento no enzimático. Formación de gases e inicio de evaporación

140 – 160 °C	Cambios de color a marrón claro. Aumento de volumen y micro poros. Grano muy frágil. Formación de pequeñas fisuras en la superficie del grano. Inicio de la liberación de aromas
160 – 190 °C	El efecto de tostado se mueve hacia la estructura interna del grano
190 – 220 °C	Liberación de humo. Los escapes de gran cantidad de volumen de dióxido de carbono hacen el grano poroso. Aparece un sabor a tostado

Fuente: (Mora, 2017)

- La pérdida de peso alrededor del 15 al 20%, se debe a la evaporación de agua que contiene inicialmente el grano (a un 2,6% aproximadamente), a la pérdida de materia seca y a la reducción de los carbohidratos. El porcentaje de pérdida de peso para la especie Arábica es entre el 12 y 21% y ésta ocurre a dos velocidades: la primera es lenta y debido a la evaporación de agua del grano; la segunda es rápida y corresponde al proceso de la pirólisis (Duarte, 2012).

Al elevarse la temperatura interna del grano (a cerca de 100 °C), el agua que contienen sus tejidos, se vaporiza. Por tal razón, la evaporación del agua y su salida generan una pérdida de peso (Tabla 20), la reducción de los carbohidratos y eliminación de la película plateada (Lina María Rincón Sotelo, 2010).

Tabla 20. Relación de grado de tueste con pérdida de peso del grano tostado

Grados de tueste	Pérdida de peso
Granos pálidos	3%
Granos claros	10 - 14%
Granos muy oscuros	23 - 25%

- El aumento del volumen se debe a la expansión de gases, principalmente del dióxido de carbono, producido durante la pirólisis ya que en el grano de café almendra no existe, éste provoca el desarrollo del albumen que puede incrementar hasta dos veces el volumen del grano verde (Duarte, 2012).

Esta expansión es ocasionado por la generación de gases como el CO y el CO₂ interno del grano, generando presiones internas de 5,5 a 8 atmósferas que cambia la forma del grano, aumentando su volumen en un 40-60% y reduciendo el grosor de las paredes celulares cuando se ha alcanzado una temperatura de tueste de 180 a 220°C (R, S, L, M, & Teodoro Santiago, 2015).

La generación de CO₂ se produce cuando las levaduras y bacterias presentes en el mucílago del grano almendra oxidan parcialmente los azúcares, produciendo energía y otras sustancias como alcoholes, ácidos, aldehídos, cetonas, ésteres y dióxido de carbono, los cuales están directamente relacionados con el tiempo de duración de la etapa fermentativa (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016).

La pérdida de CO₂ y compuestos volátiles es más rápida en el café molido que en granos enteros, ya que tienen mayor superficie expuesta para la absorción de humedad y menor distancia que recorrer para que el CO₂ se difunda al ambiente (Alfaro, 2016). Por otra parte los granos para una correcta expansión dependen de varios factores como la humedad del grano verde, la calidad de materia prima y la temperatura de tostado (Ardila, 2009).

- Cambios en la densidad: Durante la tosti3n del caf3, los granos son afectados por dos factores que est3n relacionados al final con la densidad. El primero es la p3rdida de peso (% merma) a causa de la p3rdida de humedad y de otros compuestos vol3tiles presentes en el caf3. El segundo factor es la formaci3n de gases de combusti3n dentro de la estructura interna del grano que son los causantes de la crepitaci3n y la expansi3n del mismo, casi dos veces su volumen inicial (Tabla 21). Por lo general, luego del proceso de tueste la densidad del grano de caf3 disminuye a la mitad de la del caf3 verde, es decir, se torna menos denso; esto se debe a la formaci3n de gases que ocurren dentro de la estructura interna del grano (Duarte, 2012).

Tabla 21. Características físicas del caf3 a diferentes grados de tueste

Parámetros		Contenido de humedad (%)	P3rdida de peso (%)	Incremento de volumen (%)
Temperatura	Tiempo			
220°C	5 min	2,60	15,66	55,92
220°C	5 min	2,56	15,91	58,48
220°C	10 min	1,94	19,39	74,37
220°C	10 min	2,08	19,15	66,69
240°C	5 min	2,08	20,93	88,23
240°C	5 min	1,92	21,20	90,54
240°C	10 min	1,68	27,10	97,05

240°C	10 min	1,73	26,94	95,15
230°C	7,5 min	1,79	20,95	81,82

Fuente: (J. Sánchez-Ramírez, I. Anaya-Sosa, Vizcarra-Mendoza, Gutiérrez-López, & Santiago-Pineda., 2007)

- Los cambios del color dependen de la intensidad y duración del proceso de tostado. En la etapa inicial se produce una decoloración visible en la superficie externa del grano. A medida que se incrementa la temperatura esta coloración varía del verde al amarillo, pasando por el castaño hasta el marrón y negro brillante (Duarte, 2012). Este factor es importante para la prueba de calidad en taza ya que a cada color le corresponde un aroma y sabor específicos. El color también se ve afectado por el tipo de café y la procedencia (Santacruz, 2014).

La Speciality Coffee Association, SCAA, plantea el uso de colores estándar para la ubicación de un determinado café dentro de un nivel de tueste con características distintas (Tabla 22). Para esto se ha establecido el uso de ocho colores que van desde el tueste muy ligero hasta el muy oscuro (Figura 14).



Figura 14. Colores estándar de niveles de tueste desde “muy ligero” a “muy oscuro”

Tabla 22. Relación N° Agtron y características de sabor en el café

Descripción de tueste	Características del café
Tueste ligero	Color 60 a 65 o superior, aroma poco intenso, gusto no desarrollado totalmente
Medio ligero	Color 55 a 60, aroma suave, ácido, gusto original del producto, cuerpo ligero. Poco apropiado para expresso
Medio	Color 50 a 55, aroma más intenso, empiezan gustos algo amargos pero mantiene un buen equilibrio
Medio alto	Color 45 a 50 aroma muy intenso, pero perdiendo matices, amargo, cuerpo alto.
Oscuro	Color 40 a 45 empiezan a notarse aromas algo quemados y gustos amargos pronunciados, pierde acidez, pero puede funcionar bien en lugares donde gusta el café fuerte.

Muy oscuro	Menor de 40 pierde aroma, desprende muchos aceites, el gusto es claramente a quemado.
------------	---

Fuente: (Jiménez Ariza, 2011)

- La aparición de grietas y fisuras, que se presentan cuando los granos de café sufren una expansión provocada por una expulsión de vapor de agua y gases internos del grano. En el café, la dureza depende del grado de tostación. El grano verde resiste grandes presiones, pero al tostarlo las presiones soportables son menores; en el enfriamiento se solidifican los aceites, haciendo que el café pase de elástico a quebradizo y fácil de moler. El café entre más se haya tostado, más quebradizo y fácil de moler será (Duarte, 2012).
- El incremento de solubles en el agua, que se debe a la hidrólisis o solubilización de carbohidratos insolubles. El café Robusta suministra un 3 - 4% más de sólidos solubles que la Arábica en un mismo grado de tueste (Santacruz, 2014). Éstos influyen sobre el sabor y calidad de la taza. El porcentaje de sólidos solubles es un parámetro muy utilizado, por esta razón, la concentración de la bebida de café depende de la cantidad de sólidos que hacen parte de ella después del proceso de extracción. La determinación de sólidos solubles para el café se puede ver afectado por algunos factores como la relación agua-café, la temperatura del agua, el sistema de preparación, el grado de molienda, la materia prima utilizada, la densidad y el punto de tueste (Duarte, 2012).

2.6.2 CAMBIOS QUÍMICOS

Durante el proceso de tueste y a causa del efecto de la temperatura se producen cambios a nivel químico en el grano, los cuales conceden las propiedades organolépticas propias de la infusión. Según Santacruz, Quintero, Garay y López Tricas (2014), las reacciones químicas más relevantes son:

- Los carbohidratos sufren una deshidratación, hidrolizándose en azúcares simples hasta que la temperatura alcanza el punto de pirólisis, los cuales reaccionan con proteínas y otros productos de degradación, dando pie a la formación de compuestos que darán lugar al color caramelo y a propiedades de café tostado. Éstos se transforman totalmente por la influencia de la temperatura, donde los

azúcares presentes en el café verde desaparecen por completo, debido a la caramelización y a las reacciones de Maillard (Duarte, 2012).

La caramelización es una reacción de oscurecimiento de los azúcares calentados por encima de su punto de fusión en ausencia de proteínas o aminoácidos. En esta reacción se produce también una isomerización y deshidratación de carbohidratos, formando: furanos, lactonas, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y pirazinas de bajo peso molecular que absorben luz y dan color (Lina María Rincón Sotelo, 2010).

Los carbohidratos incluyen a los monosacáridos como glucosa, fructosa, ribosa, manosa, a los disacáridos como sacarosa, lactosa y maltosa, a los oligosacáridos como rafinosa y a los polisacáridos como el almidón, la celulosa, el glucógeno, las gomas y las sustancias pécticas. Los monosacáridos y algunos disacáridos como la lactosa y la maltosa son azúcares reductores, pueden oxidarse para formar alcoholes y ácidos en las fermentaciones o reaccionar con los aminoácidos en el tostado, para formar las melanoidinas (Górriz, 2016).

Las melanoidinas son polímeros pardos que constituyen hasta 25-30% de la materia seca de la bebida del café y se definen como productos marrones de alto peso molecular que contienen nitrógeno y son productos finales de la reacción de Maillard (Maik Kleinwächter, Gerhard Bytof, 2015).

La Reacción de Maillard es una reacción no enzimática de oscurecimiento (color “tostado”) resultado del calentamiento de los azúcares. En esta reacción los aminoácidos libres, derivados de péptidos y proteínas, reaccionan con azúcares reducidos para formar heterociclos nitrogenados y melanoidinas (Lina María Rincón Sotelo, 2010).

- Los polisacáridos se degradan durante el tostado, liberando mono- y oligosacáridos solubles y volátiles que pueden formar precursores de compuestos del aroma y sabor. Se ha estimado que el 20-40% de los carbohidratos de los granos de café se convierten en productos de degradación durante el tostado (Wei & Tanokura, 2015).

- La sacarosa, que es el principal carbohidrato simple de bajo peso molecular más abundante presente en los granos de café verde, actúa como precursor del aroma durante la torrefacción, generando varias clases de compuestos, como ácidos carboxílicos, furanos y aldehídos, que afectarán el sabor de los cafés (Figura 15). Se descubre que la sacarosa se destruye rápidamente (97%) en la primera etapa de tostado deshidratándose y luego hidrolizándose en azúcares reductores que posteriormente se polimerizan produciendo pigmentos que dan color caramelo y amargo a la bebida (Wei & Tanokura, 2015).

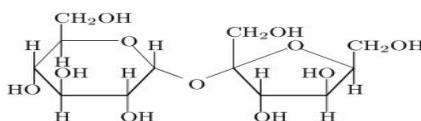


Figura 15. Esquema molecular de la sacarosa

Después del tostado, la sacarosa, su principal azúcar soluble, es parcialmente hidrolizada y el resto es caramelizado otorgándole el color marrón al café; de los mono y disacáridos presentes en el café verde sólo quedan trazas de azúcares simples y respecto a los azúcares reductores son deshidratados, polimerizados y parcialmente degradados a compuestos como aldehídos, además de agua, y dióxido de carbono (Alfaro, 2016).

Por medio de reacciones modelo, se ha confirmado que la sacarosa es la fuente principal de los ácidos alifáticos (fórmico, acético, glicólico y láctico) producidos durante la toción del café (Figura 16). En resumen, la sacarosa se transforma en ácidos alifáticos y compuestos aromáticos durante el tostado del grano de café (Wei & Tanokura, 2015).



Figura 16. Cambios de sacarosa durante el tostado de café. HMF, 5 - hidroximetil - 2 - furfural; HMFA, ácido 5 - hidroximetil - 2 - furoico.

- Las proteínas, péptidos y aminoácidos libres, son vitales para el sabor del café. Sin embargo, el café no es una buena fuente nutricional de proteínas, ya que carece de aminoácidos esenciales. Los aminoácidos reaccionan y generan compuestos del aroma del café tostado, así, en la reacción de Strecker se transforman en aldehídos, CO₂ y amoníaco, y en la reacción de Maillard reaccionan con los azúcares reductores y producen las melanoidinas y diversos compuestos volátiles nitrogenados y azufrados (Santacruz, 2014).

Durante el tostado, se produce una ligera pérdida del nitrógeno Kjeldahl reduciendo considerablemente el contenido de proteínas solubles en agua (Clifford, 2013), estas proteínas se desnaturalizan y se degradan para producir ácidos y carbohidratos de bajo peso molecular. Adicionalmente algunas de las proteínas reaccionan con carbohidratos (reacción de Millard) e incluso con compuestos fenólicos, para producir compuestos que contribuyen al aroma y coloración del café (Santacruz, 2014).

- Los lípidos de los granos de café verde están compuestos de un aceite presente principalmente en el endospermo y de una pequeña cantidad de cera localizada en las capas externas del grano. El aceite es considerado como un importante vehículo para el aroma del café tostado, pero es poco el que pasa al café soluble (1,5 – 1,6%) (Santacruz, 2014).

El tostado rompe la estructura celular del grano, permitiendo que los aceites se muevan con mayor libertad. Éstos se difunden a través del grano, y salen al exterior dándole una apariencia “aceitosa” a la superficie del grano. Aunque los lípidos no aporten directamente al sabor, la fracción del aceite y los ácidos grasos cumplen la función de transportar los compuestos aromáticos hacia la superficie, trayendo un efecto perjudicial al sabor del café (Alfaro, 2016).

La mayor parte de los lípidos no se degradan durante el tueste, aunque algunos ácidos grasos se incrementan, los lípidos insaponificables disminuyen y algunos lípidos se oxidan y forman aldehídos y otros compuestos volátiles (Garay, 2014).

Las sustancias grasas aumentan durante la tosti3n y proporcionan una pequeña cantidad de sustancias volátiles. Sn embargo, bajo la influencia del calor las

materias grasas son liberadas, evidenciándose en la exudación del grano. Esta materia grasa sirve como fijador de diversos principios aromáticos y cuando se solidifican hacen que el grano sea más quebradizo, facilitando la molienda. En general, cuanto más aceite hay, más sabor tiene el café (Duarte, 2012).

- Los ácidos subsisten parcialmente tras el tueste, éstos se forman principalmente a partir de los carbohidratos y desempeñan un papel importante en el aroma y en el sabor de la bebida (Santacruz, 2014). La acidez durante el tostado varía considerablemente dependiendo del grado de tostado. Al inicio del tostado (177 °C), se da la formación de ácidos volátiles, tales como el ácido acético y fórmico; conforme aumenta el tueste, parte de estos ácidos empiezan a volatilizarse y en tostados oscuros, prevalece la volatilización sobre la formación, disminuyendo su contenido (Alfaro, 2016).

Los ácidos no volátiles, en su mayor parte son degradados durante el tueste, por lo que el ácido clorogénico es hidrolizado a ácido cafeico y ácido quínico, y estos a su vez son degradados a compuestos fenólicos, por la reacción de pirólisis (Alfaro, 2016).

Al reducirse los ácidos clorogénico, acético, cítrico y málico en el tostado gracias al efecto de la temperatura, los ácidos clorogénicos se isomerizan, se unen a las melanoidinas, se hidrolizan y forman olores a humo y quemado con la relación de que a menor grado de tueste, mayor será el contenido de éstos ácidos y a mayor grado de tueste menor será su contenido en el café (Garay, 2014).

La acidez en el café tostado proviene principalmente de los ácidos volátiles provenientes de la hidrólisis de los carbohidratos durante la pirólisis y de los ácidos no volátiles (Tabla 23) presentes en el grano de café verde (Alfaro, 2016).

Tabla 23. Ácidos contenidos en el café tostado

Ácidos	Porcentaje (%)	Peso Molecular (g/mol)
No volátiles		
Clorogénico	4,6	354
Cafeico	0,3	180

Quínico	0,3	192
Cítrico	0,3	210
Málico	0,5	134
Tartárico	0,5	150
Volátiles		
Acético	0,36	60
Propiónico	0,02	74
Butírico	0,01	88
Valérico	0,02	102

Fuente: (Alfaro, 2016)

- La cafeína es un alcaloide con características amargas, que se encuentran en los granos de café verde y tostado y su contenido no varía significativamente; casi siempre se modifica, a pesar de ser una molécula volátil y soluble en agua. Ello se debe a que el calor aportado durante el proceso contribuye a liberar la cafeína con otras moléculas, siendo insuficiente para su volatilización. Solo con tostados muy oscuros se encuentra una significativa pérdida de cafeína.
- Las sensaciones olfatorias son efímeras y no son fáciles de describir, clasificar y calificar, ya que no existe una escala del olor. En general, los olores se describen con analogías tales como, huele a rosa, a pescado, o es un olor dulce, a cebolla o a menta. Una sustancia puede presentar varios olores dependiendo de su contenido en el café (Tabla 24).

Tabla 24. Aromas que diversos grupos químicos producen en el café tostado

Grupo químico	Aromas que producen en el café tostado
Furanos	Caramelo, azúcar quemado, almendra, ahumado, tostado, frutal
Ácidos	Vinagre, dulce, rancio, floral, mentolado, frutal, verde herbal, grasa, rancio, mohoso, terroso
Fenoles	Tabaco, ahumado, quemado, amargo, picante, terroso, madera
Aldehídos	Vinoso, miel, cocido, tostado, grasa, madera, verde, malta, ácido, fermentado, picante, dulce, picante, quemado, tostado, rancio
Alcoholes	Floral, dulce, frutal, mohoso, tierra, tostado, verde, herbal, rancio
Hidrocarburos	Petróleo, tabaco, manteca, terroso, madera
Cetonas	Mantequilla, caramelo, dulce, miel, frutal, manzana cocida, floral, grasa, rancio, madera

Piridinas	Amargo, caramelo, mantequilla
Pirazinas	Chocolate, tierra, mohoso, nuez, tostado, graso, maíz, pimentón, maní, rancio

Fuente: (Quintero, 2011)

- Los minerales existen en el grano en forma de sales orgánicas. Durante la tostación se separan de sus compuestos orgánicos y actúan como catalizadores de las reacciones que ocurren durante la pirólisis. Estos juegan un papel muy importante en el crecimiento estructural de la planta y semilla; hacen parte de las estructuras químicas de carbohidratos, proteínas y lípidos. El contenido de minerales es más alto en *Coffea Canephora* que en *Arábica* y mucho más alto en el café instantáneo, además se deduce que éstos no se pierden durante la tostación y en el procesamiento para obtener café instantáneo (Santacruz, 2014).

2.7 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL CAFÉ TOSTADO

La calidad del café se define como la aptitud para satisfacer la necesidad de los consumidores y se evalúa por sus atributos físicos y organolépticos que varían de acuerdo a las exigencias de la demanda (Sánchez, 2012). Un café de calidad reúne tres atributos básicos: buena calidad física, excelente calidad organoléptica e inocuidad del producto final (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016).

El preparar un café con el sabor correcto depende de varias variables. Estos incluyen la relación de café a agua, tamaño de partícula del café molido, temperatura del agua, acción de mezcla y tiempo (Meenakshi Arya, 2013).

2.7.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO DE CAFÉ

Las características físicas de los granos repercuten sobre la calidad y presentación de la bebida. Por lo tanto, es importante disponer de granos de muy buena apariencia, para tener la seguridad de elaborar una bebida de excelente calidad (Heredia, 2013).

Las principales apreciaciones que se toma en cuenta para distinguir una buena calidad del café son la forma del grano de café, el cual debe ser plano convexo o chato; el tamaño del grano, el cual se mide por medio de zarandas con medidas dadas en sesentaicuatroavos de pulgada, con perforaciones redondas o bien

alargadas y el color del grano, el cual puede ir desde un marrón claro hasta casi el negro, dependiendo de la caramelización de los azúcares del café durante la operación del tostado (Anchundia, José Luis; Armendáriz, 2014).

2.7.2 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

Son las propiedades o cualidades de la bebida que se pueden percibir por los sentidos del gusto y olfato. La calidad organoléptica se relaciona con el grado de satisfacción en las personas que consumen café y está asociada a los atributos de la bebida (Heredia, 2013). El café de buena calidad es sano, inocuo, tiene aromas y sabores agradables y una composición química natural (Tabla 25).

Tabla 25. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café

Compuestos químicos	Efecto en las características sensoriales de la bebida del café
Polisacáridos	Retienen los aromas, contribuyen al cuerpo de la bebida y a la espuma del Espresso
Sacarosa	Amargo, sabor, color, acidez, aroma
Azúcares reductores	Color, sabor, aroma
Lípidos	Contribuyen al transporte de los aromas y sabores y en el Espresso dan sabor y cuerpo
Proteínas	Contribuyen al amargo y sabor y en el Espresso, a la formación de la espuma, según el grado de tostación
Cafeína	Amargor
Ácidos clorogénicos	Dan cuerpo, sabor amargo y astringencia a la bebida
Ácidos alifáticos	Acidez, cuerpo, aroma

Fuente: (Quintero, 2011)

Las propiedades organolépticas que debe presentarse en el café va a representar la calidad de una buena taza de café, para ello se toma en cuenta ciertas características intrínsecas como su aroma, sabor, acidez y cuerpo.

- El aroma es una cualidad importante que se relaciona con la fragancia de la bebida; una calidad de café superior se deriva de un aroma delicadamente fino, fragante y penetrante, siendo el olor uno de los condicionantes del gusto. Una persona experta puede llegar a diferenciar hasta 4.000 olores distintos.

- El sabor de la bebida, que se enfocan en la suma de cuatro factores básicos producidos por los siguientes componentes:

La parte dulce, que se produce a causa de las proteínas y carbohidratos

La parte salada, producida por el Potasio, Fósforo y Calcio

La parte ácida, obtenida por los ácidos Clorogénico, Cítrico, Tartárico y Málico

La parte amarga, que se produce por la presencia de Cafeína, Fenoles y Trigonelina

Éstos no los percibimos inicialmente a la vez: los primeros en aparecer, de forma instantánea, son los dulces, les siguen los salados y ácidos, y a los 10 segundos llegan los componentes amargos.

- La acidez es una característica que describe la impresión gustativa causada por soluciones diluidas de la mayoría de los ácidos; contribuye a la dulzura de un café, a la sensación de fruta fresca y madura, y es casi inmediatamente percibida cuando el café se ha sorbido en la boca (Heredia, 2013).

Se identifica como la característica más apreciada en la comercialización y va a estar determinada por 4 factores: 1.- La altitud en que se encuentra sembrado el cafeto, es decir, a mayor altura mayor acidez; 2.- El grado de madurez del fruto 3.- El tiempo que ha transcurrido entre la cosecha y el despulpado y 4.- factores climáticos

- El cuerpo del café se determina por el contenido de sólidos solubles en la bebida, son una sensación táctil causada por la densidad de la bebida y por los elementos en suspensión, esencialmente grasas y aceites. En función de su mayor o menor contenido de grasas en suspensión, un café lo podemos calificar de grueso o mantecoso, liso, delgado o acuoso (FEDECA, 2015).

2.8 CATACIÓN DEL CAFÉ

Según Ochoa (2015), a través de la cata se examinan las características organolépticas en dos etapas, “seca” y “en taza”.

- El examen “seco” se lo realiza mediante observación de las muestras de café verde para identificar parámetros físicos de calidad. Para el café tostado, la muestra deberá ser sometida a tueste 24 horas antes de la cata, almacenándola en un lugar fresco, seco y oscuro.

Para la molienda, se pesan 8,25 gramos de café en grano (los cuales servirán para infundir 150 ml de agua) y se muelen a una graduación de 70 – 75%. Esta debe efectuarse 15 minutos antes de realizar la infusión, los que hayan sido molidos 30 minutos antes ya no son idóneos para la cata.

Una vez molido el café se determina la fragancia del café molido, oliendo profundamente la muestra. Las cualidades percibidas son anotadas y valoradas en la ficha de cata.

- Para la prueba “húmeda” o “en taza” se añade de forma homogénea el agua caliente (90-95°C) en la muestra de café molido, formándose una espuma; antes de que ésta se deshaga, el catador huele el aroma desprendido.

Para determinar el aroma del café se efectúa un movimiento suave con la cuchara probadora (la cantidad de movimientos recomendable es de tres). Este movimiento se realiza luego de un tiempo de entre 3 y 5 minutos de reposo en los cuales los aromas se desarrollan. Para realizar el análisis el catador debe apegar lo máximo posible la nariz a la taza y una inhalación profunda será la que transmita los aromas y permita identificarlos.

La siguiente característica a establecer será la del sabor, acidez y cuerpo; para esto se debe haber retirado previamente toda la espuma y dejar solamente la bebida de café en la taza.

Se debe absorber de tal modo que el líquido cubra la mayor área de la boca enfatizando la lengua y el paladar alto, se determina las cualidades y se procede a escupir la bebida en los recipientes para este fin. La prueba de sabores se la puede efectuar hasta 3 veces por muestra y luego anotar los resultados en la ficha de cata.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se utilizó café pergamino seco de la especie *Coffea Arábica*, en las variedades Castillo y Típica, proveniente de la Asociación “Bosque Nublado Golondrinas”, de la parroquia rural Jacinto Jijón y Caamaño, cantón Mira, provincia del Carchi; ubicado a 00° 45’ 42” latitud Norte y a 78° 16’ 28” longitud Oeste; clima sub tropical semi húmedo; pluviosidad máxima de 12000 mm; temperatura promedio anual máxima de 33°C y una mínima de 16°C y con un total de 2071 habitantes cuyo rango altitudinal es de 480-2280 m.s.n.m.

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1 MATERIALES

Para la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- Bandejas tamizadoras
- Cubetas
- Recipientes herméticos
- Bandejas
- Guantes de látex
- Guantes de calor
- Bolsas PET de 150 gr
- Embudos de filtración
- Filtros de membrana, tamaño de poro 0,45um
- Matraces volumétricos de 10, 50, 100, 250, 2000 ml de capacidad
- Pipetas de 2, 5, 10 y 50 ml de capacidad

- Frasco de vidrio de 250 ml de capacidad, con tapa rosca
- Tazas de porcelana

3.1.2 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Termómetro
- Potenciómetro
- Cronómetro
- Balanza analítica
- Balanza gramera
- Cromatógrafo liquido (HPLC)
- Tostadora de café
- Molino de café
- Trilladora para café

3.2 METODOLOGÍA

En la investigación propuesta se utilizó granos verdes de café arábica, de las variedades Castillo y Típica, con una humedad del 10 al 12% y una granulometría de 6 a 7 mm de diámetro, para obtener una mezcla homogénea.

3.2.1 FACTORES DE ESTUDIO

La presente investigación consideró los siguientes factores de estudio (Tabla 26):

Tabla 26. Factores de estudio

FACTORES DE ESTUDIO	
FACTOR A	Tiempo de tostado
	A1 Tiempo de tostado (12 minutos)
	A2 Tiempo de tostado (18 minutos)
FACTOR B	Temperatura de tostado
	B1 Temperatura de tostado (190°C)
	B2 Temperatura de tostado (210°C)
FACTOR C	Variedades de Café Arábica
	C1 Castillo
	C2 Típica

3.2.6 ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza (ADEVA) utilizado en la presente investigación se lo presenta en la tabla 28.

Tabla 28. Esquema del ADEVA

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A (Tiempo de tueste)	1
Factor B (Temperatura de tueste)	1
Factor C (Variedades de café)	1
Factor A x B	1
Factor A x C	1
Factor B x C	1
Factor A x B x C	1
Error Experimental	16

Determinación del coeficiente de variación.

$$CV = \frac{\sqrt{CM E_{Exp}}}{X} * 100 \quad (1)$$

Donde:

CV: Coeficiente de variación

CM: Cuadrado medio

E_{Exp}: Error experimental

X: Media

3.2.7 ANÁLISIS FUNCIONAL

Para los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%, y para los factores en los que hubo significancia estadística se empleó la prueba de Diferencia mínima significativa (DMS).

3.3 VARIABLES EVALUADAS

Se evaluaron variables cuantitativas y cualitativas tanto en la materia prima (café verde), en los granos de café tostado y en el producto final (café tostado y molido). En la tabla 29 se detallan las variables físico-químicas y sensoriales analizadas con su respectivo método de análisis

Tabla 29. Variables físico-químicas y sensoriales evaluadas

VARIABLES A EVALUAR	CAFÉ VERDE	CAFÉ TOSTADO	CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO
	MÉTODO DE ANÁLISIS		
VARIABLES FÍSICAS			
Tamaño	Método Granulométrico INEN 290: 2006	Método Granulométrico INEN 290: 2006	Método Granulométrico INEN 290: 2006
Densidad	Método de caída libre INEN-ISO 6669:2013	Método de caída libre INEN-ISO 6669:2013	Método de caída libre INEN-ISO 6669:2013
Humedad	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294
VARIABLES QUÍMICAS			
Cenizas	Método Gravimétrico		NTE INEN 2679
pH	Método MO-LSAIA-29		Método MO-LSAIA-29
Proteína	Método de Kjédahl		Método de Kjédahl
Lípidos	Método de Soxhlet		Método de Soxhlet
Sólidos Totales	Método Gravimétrico		Método Gravimétrico
Azúcares totales/reductores	MAL-53/PEARSON		MAL-53/PEARSON
Polisacáridos	Método de Fehling		Método de Fehling
Sacarosa	MAL-53/PEARSON		MAL-53/PEARSON
Minerales (Ca, P, Mg y Na)	Método MO-LSAIA-03		Método MO-LSAIA-03
Cafeína	Método Cromatográfico (HPLC)		Método Cromatográfico (HPLC)
Acidez	Método Volumétrico		Método Volumétrico
VARIABLES SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL (CAFÉ TOSTADO MOLIDO)			
Color	Examen visual NTE INEN 288 1978-02	NTE INEN 1123: 2006 Speciality Coffee Association, SCAA	NTE INEN 1123: 2006 Speciality Coffee Association, SCAA
Olor	Examen olfativo NTE INEN 288 1978-02	Examen olfativo NTE INEN 288 1978-02	Examen olfativo NTE INEN 288 1978-02
VARIABLES SENSORIALES EN LA BEBIDA DEL CAFÉ			
Aroma			
Sabor			Evaluación de la taza Speciality Coffee Association, SCAA
Acidez			
Cuerpo			

3.4 MÉTODO DE ANÁLISIS

Las variedades arábicas de café Castillo y Típica, fueron sometidas a un beneficiado húmedo tradicional, que consiste en los procesos de recolección, boyado, despulpado, fermentado, lavado y secado, obteniendo café pergamino seco.

Posteriormente, los procesos de trillado, selección, tostado y molienda, se los realizó en las Unidades Eduproductivas de la Universidad Técnica del Norte, utilizando 1 kg de café a temperaturas y tiempos diferentes en el proceso de tostado, con el fin de obtener un café tostado que corresponde a un perfil de taza.

Luego, los granos de café verde, tostado y tostado molido se utilizaron para la realización de diversos análisis físico-químicos y sensoriales, mismos que se detallan a continuación.

- La determinación de la granulometría de los granos de café se la realizó basándose en la norma mexicana (NMX-F-551, 1996), que indica cómo el tamaño de los granos de café influyen en la uniformidad del tostado, ya que los granos pequeños tuestan más rápidamente que los grandes, para lo cual se hizo pasar los granos de café verde sobre una serie de zarandas, determinando el porcentaje de retención de la muestra de café en cada una de ellas.

Estos granos de café son tamizados sobre mallas de 8 a 3 mm de diámetro ordenadas de forma descendente para determinar su tamaño. Luego, se tomaron una a una las mallas y se pesaron los granos retenidos para calcular el porcentaje sobre cada tamiz con la ecuación 2.

$$\% \text{ masa retenida sobre cada malla} = \frac{\text{gr masa retenida sobre cada malla}}{\text{gr masa total}} * 100 \quad (2)$$

- El método de caída libre se lo aplica para determinar la densidad de un cuerpo, objeto y/o sustancia, definida como la cantidad de masa que posee por unidad de volumen. La densidad por caída libre se expresa en gramos por litro y es calculada con la ecuación 3.

$$Densidad = \frac{m_2 - m_1}{volumen (v)} \quad (3)$$

Donde:

m_1 = a la masa en gramos, del recipiente lleno de agua.

m_2 = la masa en gramos, del recipiente lleno de agua y granos de café.

v = diferencia de volumen de agua (volumen final – volumen inicial)

La densidad es una propiedad intensiva y no depende de la cantidad de masa presente, para un material dado la relación de masa a volumen siempre es la misma; es decir, el volumen aumenta conforme aumenta la masa.

- La determinación de humedad se la puede realizar mediante dos métodos que son: secado en estufa y secado con radiación infrarroja.

En el secado con balanza infrarroja, la muestra se muele y se coloca sobre el plato de una balanza, exponiéndola a los rayos infrarrojos por un determinado tiempo. La diferencia entre el peso inicial y el final corresponde al agua que fue eliminada.

En el secado por estufa, la muestra es pesada y llevada a la estufa en horno a una temperatura de 105°C por un tiempo de 4 horas. Para el cálculo se utiliza la ecuación 4 y 5.

$$\% \text{ materia seca} = \frac{\text{peso muestra} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra}} * 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ humedad} = 100 - \% \text{ materia seca} \quad (5)$$

- El método gravimétrico para el cálculo de cenizas se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo. Para la realización de este análisis se pesa la muestra en unos crisoles previamente tarados y enfriados, y se calcina en la mufla a una temperatura de 550°C hasta obtener unas cenizas blancas, y se procede a realizar los cálculos respectivos con la ecuación 6.

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 \quad (6)$$

Donde:

- m_1 = masa en gramos del crisol vacío
- m_2 = masa en gramos del crisol con la muestra
- m_3 = masa en gramos del crisol con las cenizas

- La medición del pH de las disoluciones, se lleva a cabo a través de instrumentos conocidos con el nombre de pH-metros. Estos funcionan mediante unos electrodos que se introducen en la disolución a tratar, pudiendo leer rápidamente la escala de valor del pH, en dicha máquina.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor a 7, es una sustancia básica, y cuando el pH está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución

- Para la determinación de proteína se utiliza el método de kjeldahl, el cual se lo realiza en 3 etapas:

La etapa de digestión, consiste en la transformación de la proteína en sulfato de amonio liberando vapores tóxicos provenientes del ácido sulfúrico que son altamente corrosivos.

La etapa de destilación, en la cual el sulfato de amonio reacciona con hidróxido de sodio altamente concentrado para liberar amoniaco. Se puede identificar esta reacción porque existe un cambio de color en el ácido bórico que contiene una mezcla de indicadores como el Tshiro Tashiro con rojo de metilo.

La etapa de titulación, en la cual el borato de amonio recogido se titula con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico 0,1N hasta que se produzca un viraje del indicador, luego se procede a realizar los cálculos respectivos utilizando la ecuación 7 y 8.

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{N * V * 0.014}{gr \text{ de muestra}} * 100 \quad (7)$$

$$\%Proteína = \%Nitrógeno * Factor de conversión \quad (8)$$

Donde:

N= normalidad del ácido clorhídrico

V= volumen del ácido clorhídrico gastado

0.014= peso mili equivalente del nitrógeno

- El método Soxhlet utilizado para determinar el contenido lipídico de un alimento, consiste en someter una cantidad previamente homogeneizada y seca, medida o pesada del alimento a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos. Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por Soxhlet por dos horas.

En este procedimiento la muestra se coloca en un cartucho de material poroso que se sitúa en la cámara del extractor Soxhlet. Se calienta el disolvente y se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los analitos solubles.

Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos disueltos, asciende por el sifón y retorna al matraz de ebullición. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente. Posteriormente, se realiza los cálculos respectivos utilizando la ecuación 9.

$$\% \text{grasa cruda} = \frac{m_2 - m_1}{m} * 100 \quad (9)$$

Donde:

m: peso de la muestra

m₁: peso del matraz vacío

m₂: peso del matraz con grasa

- Para la determinación de sólidos totales o materia seca presente en el alimento es necesario tener en conocimiento el porcentaje de humedad del alimento a analizar, una vez obtenido el dato se procede a aplicar la ecuación 10.

$$\%Sólidos\ totales = 100 - \% humedad \quad (10)$$

- Para determinar el contenido de azúcares totales se realiza una digestión de la muestra para precipitar las proteínas utilizando soluciones de acetato de zinc y ferrocianuro de potasio; posteriormente una hidrolización con ácido clorhídrico para determinar los azúcares reductores totales mediante una valoración volumétrica según el método de Lane y Eynon.

Este método consiste en medir con pipeta volumétrica 5 ml de la solución de sulfato de cobre y 5 ml de la solución de tartrato de sodio y potasio en un matraz Erlenmeyer. Luego agregar 100 ml de agua y un agitador magnético, calentar en parrilla cerrada a ebullición y agregar poco a poco con una bureta la solución patrón de sacarosa diluida (agitando constantemente el matraz), hasta la casi reducción total del cobre. Agregar 2 ml de la solución de azul de metileno y continuar la titulación.

Para la muestra de café titular hasta la desaparición del color azul/verde y aparición de color rojizo presenciado en el aro y burbujeo amarillo de la superficie del líquido.

- La determinación del análisis de azúcares reductores se la realiza tomando 25 ml de filtrado y pasar a un matraz volumétrico de 100 ml. Luego se agrega 20 ml de agua, 10 ml de ácido clorhídrico concentrado y mezclar. Colocar el matraz en un baño de agua a 95° C, dejar que la temperatura interna de la solución del matraz alcance máximo los 70° C y mantener así por un periodo de 15 min.

Enfriar inmediatamente, agregar unas gotas de fenolftaleína, neutralizar con solución de hidróxido de sodio, enfriar y llevar a la marca. Colocar la solución neutralizada en una bureta y proceder sustituyendo la solución patrón de sacarosa por la solución preparada en el paso anterior.

Luego se procede a calcular el porcentaje de azúcares reductores totales con la ecuación 11:

$$\% \text{Azúcares reductores totales} = \frac{250 * 100 * F * 100}{P_M * V * 25} \quad (11)$$

Donde:

V = Mililitros gastados de la muestra para titular la solución A - B

P_M = Peso de la muestra en gramos

F = Factor del reactivo Fehling en g de sacarosa

- La sacarosa puede determinarse en ausencia de los azúcares reductores mediante la inversión de una porción de la solución de prueba con ácido seguida por la neutralización con álcali y titulación mediante el método de Lane Eynon usando una solución estándar invertida para la calibración. Se utiliza la ecuación 12.

$$\text{Porcentaje de azúcar invertida} * 0,95 = \text{Porcentaje de sacarosa} \quad (12)$$

En presencia de azúcares reductores, las titulaciones se efectúan en porciones de la solución de prueba antes y después de la inversión del ácido. Si BI es el porcentaje de azúcares reductores antes de la inversión, expresados como azúcar invertida y TI es el porcentaje de los azúcares reductores totales determinados después de la inversión y expresados como azúcar invertida. Se utiliza la ecuación 13.

$$(TI - BI) * 0,95 = \text{Porcentaje de sacarosa} \quad (13)$$

- La cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), es la técnica de separación de la cafeína más ampliamente utilizada actualmente. Las razones de su popularidad las encontramos en su sensibilidad, su fácil adaptación a las determinaciones cuantitativas exactas, su idoneidad para la separación de especies no volátiles o termolábiles y, sobre todo, su gran aplicabilidad a sustancias que son de gran interés en la industria.

Consiste en una fase estacionaria no polar (columna) y una fase móvil. La fase estacionaria es sílica que se ha tratado con RMe₂SiCl (diclorodimetilsilano) donde la R es una cadena alquil tal como C₁₈H₃₇ o C₈H₁₇. La fase móvil actúa de portador de la muestra. La muestra en solución es inyectada en la fase móvil.

Los componentes de la solución emigran de acuerdo a las interacciones no-covalentes de los compuestos con la columna. Estas interacciones químicas, determinan la separación de los contenidos en la muestra. La utilización de los diferentes detectores dependerá de la naturaleza de los compuestos a determinar.

- Para la determinación de ciertos minerales, las técnicas preferidas son la fotometría de llama y la espectrofotometría de absorción atómica (EAA). En el caso del sodio se pueden producir interferencias mutuas y se ha observado interferencia del fósforo. Estos problemas se suelen solucionar mediante la aplicación de patrones apropiados.

La determinación de Calcio utilizando las técnicas de fotometría de llama y EAA tienen una sensibilidad semejante. Puede haber interferencia del fósforo, pero es posible eliminarla mediante la adición de sales de lantano o la utilización de llamas de N_2O . Se han usado métodos titulométricos compleximétricos y con los alimentos ricos en calcio se puede recurrir a los métodos gravimétricos clásicos.

El método preferible para determinar Magnesio es la espectrofotometría de absorción atómica (EAA), ya que tiene mayor sensibilidad que otros procedimientos, con la excepción del análisis de activación.

El método de obtención del Fósforo es el de espectrofotometría ultravioleta visible, mediante la formación de un complejo coloreado “azul de molibdeno” que se forma por la reacción del fósforo con solución sulfomolibdica en presencia de ácido ascórbico, mismo que se mide espectrofotométricamente mediante una curva de calibración elaborada con soluciones de fósforo de concentraciones conocidas.

- El método volumétrico para la determinación de acidez consiste en colocar en matraces de 100 ml una muestra de 10 gr diluida en 25 ml de agua destilada, adicionándose 4 o 5 gotas de fenolftaleína y homogenizándose todo. La mezcla se tituló con hidróxido de sodio 0.1N, hasta alcanzar un viraje del indicador. El porcentaje de acidez se expresó como porcentaje de ácido málico calculándose con la ecuación 14.

$$\%Acidez = \frac{V_{NaOH} * N * M_{Eq}}{gr \text{ de muestra}} * 100 \quad (14)$$

Donde:

V= volumen del hidróxido de sodio gastado

N= normalidad del hidróxido de sodio

M_{Eq}= peso mili equivalente del ácido

- Para la determinación del color del grano almendra de café se utilizó una escala de colores para café verde (Figura 17), dicha coloración depende principalmente del contenido de humedad del grano.

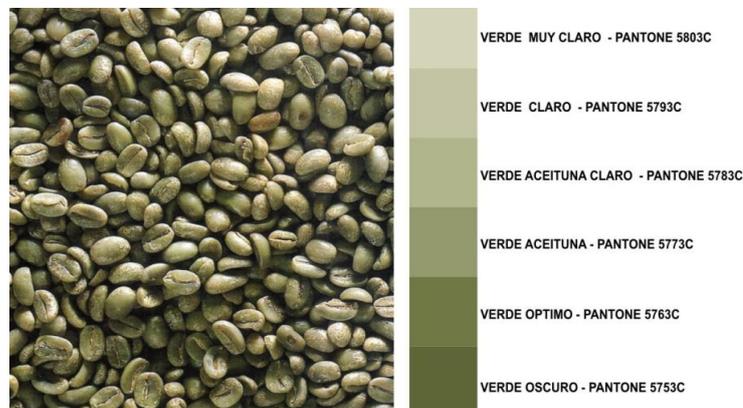


Figura 17. Escala de coloración del café verde

Una vez realizado el tueste del grano de café, se procede a la determinación del color que se la realiza utilizando colores estándar denominados discos Agrtron/SCCA (Speciality Coffee Association) (Figura 18), los cuales se detallan en la Tabla 30.



Figura 18. Discos Agrtron/SCCA

Tabla 30. Colores estándar SCCA/AGTRON

Descripción	SCCA/AGTRON
Muy oscuro	25
Muy oscuro	35
Oscuro	35
Medio Alto	45
Medio	55
Medio claro	65
Claro	75
Muy claro	85
Muy claro	95

Las pruebas sensoriales sirven para confirmar la calidad de un lote de café; estas pruebas son realizadas por personas especialmente entrenadas denominadas catadores, que conforman un panel de evaluación sensorial.

Se usó el método descriptivo cuantitativo, utilizando una escala de 9 puntos, para la calificación de cada característica organoléptica del café, la cual se interpreta así: 9, 8, 7 muy buena, equilibrada y balanceada; 6 buena; 5 verde, astringente, insípida, aroma pronunciado; 4 baja; 3 cereal, reposo, quemado, muy amargo; 2 fermento, extraño, metálico, sucio; 1 fenol, carbonoso, tierra, picante, contaminado.

- La evaluación sensorial de la bebida de café realizada por catadores, se la hace de la siguiente manera:

Para la determinación de la fragancia de café se procede a moler y servir la muestra en seco en recipientes y aproximadamente 15 minutos se debe evaluarle.

Para la obtención del aroma, el agua debe ser vertida directamente al café molido previamente dosificado. Debe hacerse de una sola vez, remojando uniformemente las partículas en la taza, llenándola hasta el borde de la misma sin permitir que ésta se desborde al formar la nata en la superficie. La nata se deja intacta de 3 a 5 minutos. Se rompe la nata removiendo 3 veces, entonces permita que la nata se adhiera a la parte trasera de la cuchara mientras huele suavemente.

La determinación de acidez, cuerpo y sabor de la bebida del café se la realiza tres minutos después de agregar el agua caliente e inmediatamente después de apreciar el aroma, se limpia con la cuchara la superficie de la infusión procurando eliminar toda la espuma y partículas de café.

Se toma con la cuchara una porción de la infusión y se sorbe fuertemente procurando atomizarla dentro de la boca, para permitir mayor interacción entre el olfato y las papilas gustativas. No debe tragarse la infusión a fin de no influir en las cataciones siguientes.

Evalúe la acidez, cuerpo y sabor de la infusión. Para confirmar la evaluación repítase la prueba.

Después de evaluar las muestras, todas las evaluaciones de cada uno de los atributos son sumadas y el resultado final se expresa en una escala que va de 0 a 100 puntos. Para la correcta ejecución de este procedimiento se recomienda el Formato de Evaluación de la SCAA (Speciality Coffee Association).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LOS GRANOS VERDES DE CAFÉ

4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las muestras de café de las variedades Castillo y Típica de la especie *Coffea Arábica* obtenidas en la parroquia El Goaltal de la provincia del Carchi, fueron trilladas con la finalidad de eliminar el pergamino del grano y así proceder a realizar la determinación del tamaño, humedad y densidad del grano.

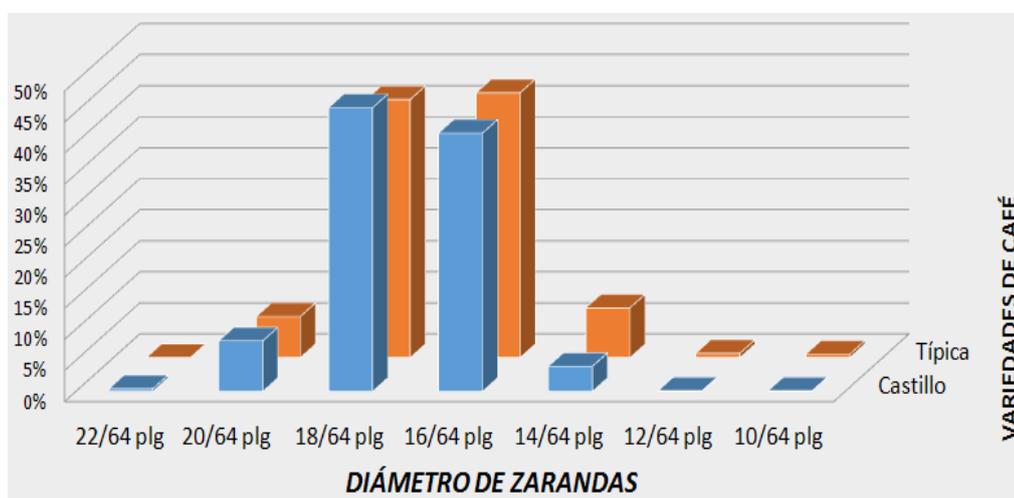


Figura 19. Tamaño del grano verde de café

La figura 19 indica cómo los granos de café verde de las dos variedades estudiadas, presentaron en su mayoría un diámetro entre 16/64 y 18/64 pulgadas que representan a 6,30 y 7,00 mm, respectivamente (INEN 0290, 2003). Los mejores porcentajes obtenidos luego del análisis granulométrico del grano verde de café se los detalla en la tabla 31.

Tabla 31. Análisis de tamaño del grano verde de café

Variedades de café	Tipos de granos	N° de la zaranda	Diámetro (mm)	Cantidad de grano (%)
Castillo	Grande	17 – 18	6,70 – 7,10	45,67
	Mediano	15 - 16	6,00 – 6,30	41,58
Típica	Grande	17 – 18	6,70 – 7,10	41,56
	Mediano	15 - 16	6,00 – 6,30	42,53

El análisis granulométrico permitió determinar que la variedad de café Castillo presentó en su mayoría granos grandes y medianos que sobrepasan el 85% del total de café analizado, sin embargo, el porcentaje de granos grandes fue superior respecto a la otra variedad.

La inferioridad en tamaño de los granos de café de la variedad Típica generó la presencia de granos grandes y medianos, siendo los últimos los de mayor relevancia con un porcentaje superior al 83% del total de café analizado, es decir, que dicha variedad se caracterizó por ser de menor tamaño con relación a la variedad Castillo.

El alto porcentaje de granos de una determinada granulometría del café según Duicela, Guamán & farfán (2015), refleja la buena selección de la variedad, híbrido o clon, de la fertilidad del suelo, del grado de madurez al momento de cosecha y del buen manejo postcosecha del café.

Tabla 32. Características físicas del grano de café verde

Características	Unidad	Variedades de café arábica	
		Castillo	Típica
Humedad	%	11,52	10,38
Densidad aparente	kg/m ³	1176	1187

La tabla 32 hace referencia sobre las características físicas del grano de café almendra; dicho análisis permitió determinar cómo un grano de café de mayor tamaño presenta diferentes características con relación a un grano más pequeño.

Es así, que la variedad Castillo presentó un tamaño ligeramente superior con una elevada generación de gases internos en el endospermo haciendo que el grano se torne menos denso pero con un contenido de humedad mayor con relación a la variedad Típica.

La baja densidad de los granos de café de la variedad Castillo se debe a la superioridad de tamaño que presentan con relación a la otra variedad. De acuerdo a las normas INEN ISO 6669 (2013), la densidad de los granos de café puede variar de acuerdo a varios factores de carácter botánico, de procesamiento, almacenamiento, manipulación, efecto de envejecimiento, al tamaño, forma de los granos individuales y, en menor medida de su contenido de humedad.

Respecto a la variedad de café Típica, su contenido de humedad fue inferior con relación a la otra variedad mostrándose en los rangos del 10 al 12%, que según Farah (2012) representa el buen manejo postcosecha que se les realizó a los granos de dicha variedad, sin embargo, al presentar un contenido de agua menor, su densidad fue ligeramente superior resultando más denso con relación a la variedad Castillo.

La densidad superior de las dos variedades de café arábica fueron resultado de las buenas condiciones agroclimáticas que se generan en dicha zona confirmando a Duarte (2012), que un grano de café resulta ser más denso y de baja productividad cuando procede de una zona de mayor altura sobre el nivel del mar, por lo contrario, un café producido en una zona baja o procedente de unas plantaciones viejas presentará un grano menos denso con densidades de 645 kg/m³ a 750 kg/m³.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Tabla 33. Características químicas del grano de café verde en base húmeda

Características	Unidad	Variedades de café	
		Castillo	Típica
Cenizas	%	3,265	3,537
pH	---	6,090	6,060

Proteínas	%	10,676	8,616
Lípidos	%	12,487	11,974
Sólidos totales	%	88,480	89,617
Azúcares totales	%	6,890	6,140
Azúcares reductores	%	0,300	1,690
Polisacáridos	%	50,759	53,024
Sacarosa	%	6,261	4,228
Minerales			
Calcio	mg/g	4,417	3,279
Fósforo	mg/g	3,809	3,747
Sodio	mg/g	0,352	0,348
Magnesio	mg/g	0,225	0,143
Cafeína	%	0,830	0,960
Acidez	%	0,246	0,491

La realización de los análisis químicos en base húmeda de los granos de café verde determinó ciertas diferencias entre las dos variedades de café, presentando un contenido de cenizas de 3,26% en la variedad Castillo y un 3,54% en la variedad Típica y un contenido de sus elementos químicos (P, Ca, Mg y Na) inferior al 4% confirmando a previas investigaciones de Meenakshi Arya (2013), que el contenido mineral presente en las cenizas del café no sufre cambios durante un proceso de tostado.

El contenido de acidez presente en las dos variedades permitió determinar cómo los granos de café de la variedad Castillo presentaron un pH superior de 6,09 haciendo que el grano presente una acidez baja con relación a la variedad Típica que presentó un pH bajo con un porcentaje elevado de acidez del 0,49%. El alto o bajo contenido de acidez según Wei & Tanokura (2015), se debe a la presencia de ácidos orgánicos tales como ácidos acético, fórmico, málico, cítrico, láctico, clorogénicos y quínicos que son los responsables de brindar astringencia, amargura y acidez a la bebida de café.

Respecto al contenido de proteínas, lípidos, azúcares totales y sacarosa, los resultados en la variedad Castillo fueron superiores con relación a la otra variedad, presentando un alto contenido proteico del 10,67% y un contenido de azúcares superior al 6% que de acuerdo a Meenakshi Arya (2013) representa la buena selección de cafés maduros y sanos, aptos para un proceso de tueste; en lo que respecta al contenido de lípidos, presentó un grano graso con un contenido del 12,48% siendo favorable ya que de acuerdo a Farah (2012), un contenido alto permite mantener al café fresco y ayuda a evitar el estancamiento causado por la hidrólisis y la oxidación de los triacilglicerolos.

La variación presente en el contenido de sacarosa hace relevante a la variedad de café Castillo que presentó un porcentaje de 6,26% siendo mayor con relación a la variedad Típica. Dicho porcentaje se encuentra entre los rangos del 6.25% al 8.45% (Meenakshi Arya, 2013) característicos de un grano de la especie *Coffea arábica* con un índice de maduración aceptable, presentando una coloración rojo sangre de toro que indica el punto exacto para su recolección. Es importante mencionar que los granos de café maduros y sanos contienen más sacarosa que los inmaduros y defectuosos (Górriz, 2016).

La variedad de café Típica al caracterizarse por presentar granos pequeños con un contenido de humedad menor, permitió que el contenido de sólidos totales fuese superior con relación a la otra variedad, haciendo que los granos presenten características diversas debido al porcentaje elevado de materia seca el cual influye sobre los componentes principales del grano de café.

El alto contenido de sólidos totales permite que los granos de café presenten un contenido mayor de polisacáridos del 53,02%, los cuales al estar implicados en la formación de compuestos aromáticos en la bebida del café, presentaron un mayor impacto al representar más del 50% del peso seco (Wei & Tanokura, 2015). Éstos al ser precursores de la reacción de Maillard y de la caramelización también contribuyen a la acidez de la bebida, que de acuerdo a Farah (2012) aumenta a medida que los niveles de ácidos alifáticos aumentan a través de la degradación de sacarosa, polisacáridos y otros compuestos.

El contenido elevado de cafeína permitió que la variedad de café Típica sobresalga con porcentajes del 0,96% los cuales resultaron superiores con relación a la variedad Castillo. Dicho contenido se encuentra en los rangos del 0,6% al 1.07%, perteneciente a los granos de la especie Coffea arábica. Este alcaloide al estar relacionado con la acidez y amargura de la bebida (Omozoje Ohiokpehai, 2012), facilita a que su contenido mayor genere propiedades organolépticas favorables dando un toque de amargura que resulta agradable para el consumidor.

4.1.3 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

La determinación de las variables sensoriales del grano verde de café permitió determinar la similitud de olor y color que existe entre ambas variedades, por lo que tanto la variedad Castillo como la variedad Típica presentaron granos de coloración verde aceituna PANTONE 5773C (Figura 20) que según el Instituto Hondureño del café (2004), resulta característico de un porcentaje de humedad del 10 al 12%, de la elevada altitud de la zona, de la temperatura de secado, del tiempo de fermentación y de las buenas prácticas de procesamiento.



Figura 20. Análisis de color del grano de café verde

Sin embargo, en menores cantidades presentaron granos pálidos conocidos según CAFECO (2010) como granos mantequilla, los cuales se producen por deficiencia de hierro en el cultivo y granos mordidos que pueden ser por causa del proceso de beneficiado húmedo, por el despulpado, por el proceso de trilla o por insectos.

Referente al olor de los granos, cada variedad presentó un olor considerablemente favorable semejante al del fique o yute que manifiesta que el grano de café se encontró bien almacenado, careciendo de olores extraños a químico, humedad y otros.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO

Las muestras de café de las variedades Castillo y Típica de la especie *Coffea Arábica* fueron sometidas a un proceso de tostado a diferentes grados de tueste obteniendo ocho tratamientos, donde los factores de estudio en los granos de café tostado son: tiempo, temperatura y variedad de café arábica.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La determinación de las características físicas como granulometría, densidad y humedad del grano de café tostado se las realizó con el fin de determinar los cambios ocurridos en los granos de café luego de ser sometidos a un proceso de tostado con diferentes variedades, tiempos y temperaturas.

4.2.1.1 Tamaño

La determinación del tamaño del grano de café tostado es muy importante ya que dicho análisis nos facilita apreciar de mejor manera los cambios ocurridos en los granos de café almendra luego de ser sometidos a un proceso de tueste con tiempos y temperaturas diferentes.

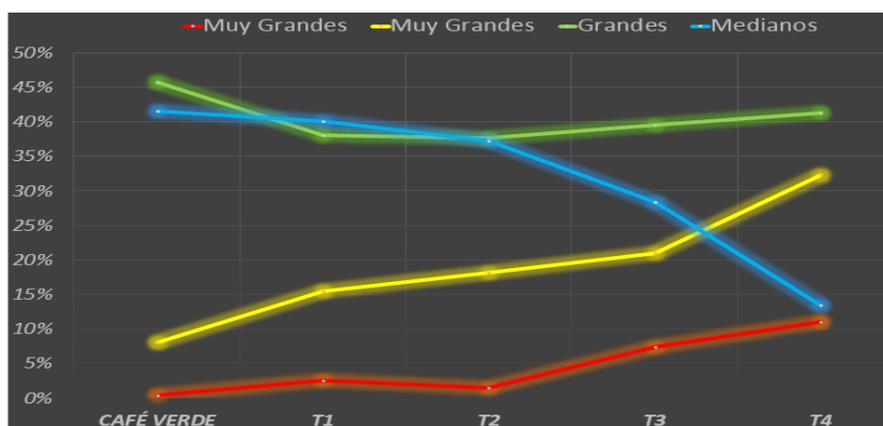


Figura 21. Granulometría del grano de café tostado de la variedad Castillo

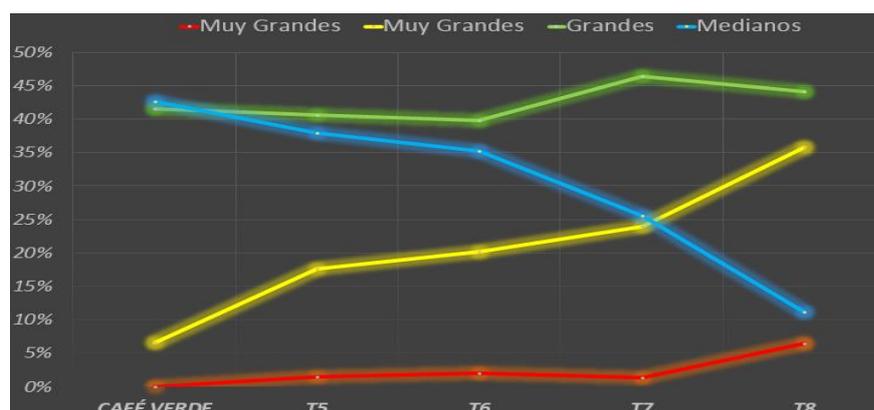


Figura 22. Granulometría del grano de café tostado de la variedad Típica

Las figuras 21 y 22 muestran los 4 mejores porcentajes que se obtuvieron después de haber realizado el análisis granulométrico de los granos de café tostado en sus dos variedades, realizados en zarandas con diámetros entre 3,90 y 8,00 mm (INEN 0290, 2003). Dichos resultados confirman de investigaciones de Córdoba Castro & Guerrero Fajardo (2016), que el grano de café aumenta de volumen significativamente debido a la expansión de gases internos en el grano como el CO y el CO₂, los cuales generan una presión que cambia la forma del grano aumentándole de tamaño.

La tabla 34 permite apreciar los mejores porcentajes con su respectivo tamaño y número de zaranda.

Tabla 34. Análisis de tamaño del grano de café tostado

Variedades de café	Tipos de granos	Nº de la zaranda	Diámetro (mm)	Cantidad de grano (%)
Castillo	Muy grande	19 – 22	> 7,50	21,75
	Grande	17 – 18	6,70 – 7,10	39,13
	Mediano	15 – 16	6,00 – 6,30	29,81
Típica	Muy grande	19 - 22	> 7,50	24,36
	Grande	17 – 18	6,70 – 7,10	42,72
	Mediano	15 - 16	6,00 – 6,30	27,47

El análisis granulométrico permitió determinar que las variedades de café Castillo y Típica presentaron en su mayoría granos muy grandes de 7,5 mm, grandes de

6,7 a 7,1 mm y medianos de 6,0 a 6,3 mm que sobrepasan el 89% del total de café analizado, aumentando aproximadamente un 5% o más con relación al porcentaje obtenido en el grano de café verde.

Es importante destacar que la variedad de café Castillo no presentó cambios significativos en tamaño, ya que al ser en su mayoría granos grandes, su superficie de contacto en el momento del tueste fue menor con relación a los granos de la variedad Típica que presentaron granos medianos principalmente y al ser un grano ligeramente más pequeño presentó un gran incremento de volumen debido a que la superficie de contacto fue mayor en el momento del tueste, haciendo que el grano se hinche y por ende aumente su tamaño considerablemente.

4.2.1.2 Densidad

Es muy importante para su comercio, ya que determina el volumen ocupado por una masa de granos, siendo un factor importante para su embalaje, almacenamiento y transporte.



Figura 23. Densidad del grano de café tostado

La figura 23 indica cómo los granos de café se tornan menos densos conforme se aplica tiempos y temperaturas altas en el proceso de tueste; estos resultados confirman investigaciones de Duarte (2012) que la pérdida de peso y el significativo aumento de volumen se debe a la generación de gases internos en el grano, generando una disminución considerable de la densidad respecto a la del café verde. Por otra parte, es claro notar cómo el factor tiempo afectó más que la temperatura, ocasionando que los granos de café sometidos a temperaturas bajas

pero tiempos más largos se volvieron menos densos, en relación a los granos de café con temperaturas más altas pero tiempos más cortos.

Tabla 35. Densidad del grano de café tostado

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	1,034	1,021	1,095	3,150	1,050
T2	1,013	1,026	1,031	3,069	1,023
T3	1,017	1,076	1,010	3,104	1,035
T4	0,996	1,055	0,968	3,020	1,007
T5	1,040	1,121	1,001	3,161	1,054
T6	1,003	1,039	0,957	2,998	0,999
T7	1,019	1,090	0,982	3,091	1,030
T8	0,986	1,017	0,980	2,983	0,994
Σ Repeticiones	8,108	8,445	8,024	24,576	1,024

Tabla 36. Análisis de varianza. Densidad del grano de café tostado

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	0,0380	0,0017				
Tratamientos	7	0,0105	0,0015	0,870	2,66	4,03	NS
Factor A	1	0,0079	0,0079	4,585	4,49	8,53	*
Factor B	1	0,0013	0,0013	0,783	4,49	8,53	NS
Factor C	1	0,0005	0,0005	0,301	4,49	8,53	NS
Factor AxB	1	0,0001	0,0001	0,065	4,49	8,53	NS
Factor AxC	1	0,0005	0,0005	0,272	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,0000	0,0000	0,002	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,0001	0,0001	0,083	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,0276	0,0017				

*: Significativo

**: Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 4,92 %

Al realizar el análisis de varianza se observó diferencia significativa ($\alpha < 0.05$) en el factor A (Tiempo de tueste), rechazando la hipótesis nula debido a que el tiempo influye en esta variable y al existir cambios se realizó el análisis funcional mediante la prueba de diferencia media significativa para dicho factor.

Tabla 37. Diferencia Mínima Significativa en la densidad del grano de café tostado.
Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	1,04	a
a2	1,01	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A permitió observar cómo el tiempo de 18 minutos afectó en mayor proporción en relación al tiempo de 12 minutos, determinando que si a un grano de café se le somete a mayores tiempos en un proceso de tostado, la densidad del grano disminuirá tornándose menos densos.

4.2.1.3 Humedad

Es un control importante y de mayor uso en el proceso y conservación de los alimentos.

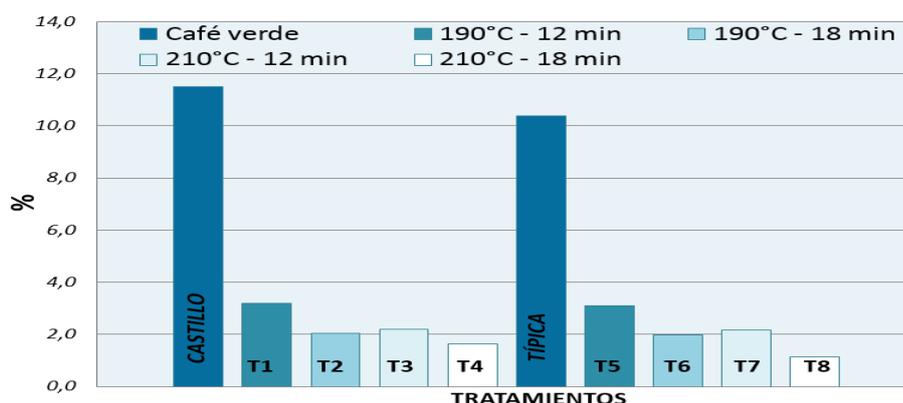


Figura 24. Humedad del grano de café tostado

La figura 24 permite apreciar cómo el contenido de agua presente en los granos de café verde disminuye del 10 - 12% a porcentajes menores al 4% debido a la exposición de los granos al calor, según Duarte (2012) esta disminución se debe a que la intensidad de tueste influye notoriamente en la evaporación del agua contenida en el grano, generando una pérdida de peso alrededor del 15 al 20%.

Esta evaporación del agua influye en ciertas características específicas generando de acuerdo a Sotelo (2010) una pérdida de peso, una reducción de los carbohidratos y una eliminación de la película plateada.

Tabla 38. Humedad del grano de café tostado

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	3,180	3,190	3,190	9,560	3,187
T2	2,130	2,010	1,980	6,120	2,040
T3	2,200	2,510	1,920	6,630	2,210
T4	1,340	1,860	1,710	4,910	1,637
T5	3,040	3,100	3,190	9,330	3,110
T6	1,760	2,120	2,070	5,950	1,983
T7	2,150	2,170	2,230	6,550	2,183
T8	1,010	1,210	1,200	3,420	1,140
Σ Repeticiones	16,810	18,170	17,490	52,470	2,186

Tabla 39. Análisis de varianza. Humedad del grano de café tostado

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	10,39	0,45				
Tratamientos	7	9,94	1,42	50,90	2,66	4,03	**
Factor A	1	5,67	5,67	203,36	4,49	8,53	**
Factor B	1	3,72	3,72	133,35	4,49	8,53	**
Factor C	1	0,16	0,16	5,79	4,49	8,53	*
Factor AxB	1	0,16	0,16	5,79	4,49	8,53	*
Factor AxC	1	0,08	0,08	2,72	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,06	0,06	2,04	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,09	0,09	3,23	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,45	0,03				

*: Significativo

**: Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 4,93 %

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos y en los factores A (Tiempo de tueste) y B (Temperatura de tueste) y diferencia significativa ($\alpha < 0.05$) en el factor C (Variedades de café) y en la interacción AxB, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios en esta variable realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 40. Tukey para humedad del grano de café tostado

Tratamientos	Promedio	Rangos
T1	3,19	a
T5	3,11	a
T3	2,21	b
T7	2,18	b
T2	2,04	b c
T6	1,98	b c
T4	1,64	c
T8	1,14	d

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron cuatro rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que los tratamientos T5 (12 min, 190°C, Típica) y T1 (12 min, 190°C, Castillo) fueron los que presentaron un mayor contenido de humedad debido a que el grado de tueste bajo no afectó en los granos; por lo contrario, en el rango **d** el tratamiento T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado al presentar un contenido de humedad bajo con relación a los demás tratamientos; esto se debe a que la variedad Típica presentó granos más pequeños ocasionando una evaporación significativa del agua.

Tabla 41. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	2,67	a
a2	1,70	b

Tabla 42. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	2,58	a
b2	1,79	b

Tabla 43. Diferencia Mínima Significativa en la humedad del café tostado. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c1	2,27	a
c2	2,10	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor A y B y ($\alpha < 0.05$) para el factor C y la interacción AxB demostró cómo los granos pequeños de la variedad Típica con tiempos de 18 minutos y temperaturas de 210°C afectaron en mayor proporción, disminuyendo el contenido de humedad presente en el grano de café con relación a los tratamientos de la variedad Castillo con bajas temperaturas y tiempos.



Figura 25. Interacción Tiempo – Temperatura. Humedad del grano tostado

La interacción AxB indica que el porcentaje de humedad aproximadamente del 2,3% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Adicionalmente, la figura 25 permite comprender cómo el tiempo influye más que la temperatura, confirmando a Sotelo (2010), que el calor durante un tiempo prolongado en el tostador genera una mayor pérdida en el peso del grano de café.

El porcentaje de mermas generado en cada tratamiento se lo realizó utilizando 1 kg de café. La tabla 44 indica cómo el tiempo afecta mayormente con relación a la temperatura presentando mayores pérdidas debido a la intensidad del tueste.

Tabla 44. Análisis de la pérdida de peso generado por la evaporación del agua

Tratamientos	Peso		% de merma
	Café verde	Café tostado	
T1	1000 gr	935 gr	6,5 %
T2	1000 gr	886 gr	11,4 %
T3	1000 gr	904 gr	9,6 %

T4	1000 gr	857 gr	14,3 %
T5	1000 gr	919 gr	8,1 %
T6	1000 gr	891 gr	10,9 %
T7	1000 gr	903 gr	9,7 %
T8	1000 gr	861 gr	13,9 %

El significativo porcentaje de mermas en los granos de café ocasionada por la aplicación de calor a tiempos y temperaturas diferentes, genera una pérdida de peso relevante debido a la evaporación del agua presente en los granos.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

La determinación de las variables sensoriales en el grano de café tostado permitió determinar los cambios generados en el olor de los granos tostados de café los cuales fueron cambiando conforme el grado de tueste aumentaba (Tabla 45), otorgándoles características propias de un buen o mal manejo en el proceso de tostado.

Tabla 45. Análisis de olor en el grano de café tostado

Variedad	Tratamiento	Olor	Grupo de compuestos
Castillo	T1	Cereal	Pirroles
	T2	Maní	Pirazinas
	T3	Dulce	Ésteres, lactonas, ácidos, aldehídos, alcoholes, pirroles y cetonas
	T4	Humo, quemado	Furanos, lactonas, fenoles, aldehídos y piridinas
Típica	T5	Cereal, aroma poco intenso, gusto no desarrollado	Pirroles
	T6	Maní, aroma poco intenso	Pirazinas
	T7	Dulce, chocolate	Ésteres, lactonas, ácidos, aldehídos, alcoholes, pirroles
	T8	Dulce, miel y chocolate, aromas intensos	Ésteres, lactonas, ácidos, aldehídos, alcoholes y cetonas

El tiempo y la temperatura al ser los principales factores que influyen en el proceso de tostado generan diversos cambios sobre las características sensoriales del grano de café tostado, permitiendo comprender que los tratamientos sometidos a un tueste de grado inferior presentaron olores a cereal poco favorables en una bebida de café; conforme el grado de tueste aumenta se van generando características propias que brindan un aroma agradable para el consumidor.

Los cambios de color generados por la intensidad y duración de tueste (Tabla 46) se producen en todas las etapas ocurridas durante el proceso de tostado, pasando inicialmente de una tonalidad verde al amarillo, luego al castaño, marrón y finalizando al negro brillante. Según Santacruz (2014), este factor es importante ya que a cada color le corresponde un aroma y sabor específico en la bebida del café.

Tabla 46. Análisis de color en el grano de café tostado

Variedad	Tratamientos	Color Agtron SCCA	Tonalidad	Color
Castillo	T1	95	Muy claro	
	T2	75	Claro moderado	
	T3	65	Medio moderado	
	T4	45	Oscuro moderado	
Típica	T5	95	Muy claro	
	T6	75	Claro moderado	
	T7	65	Medio moderado	
	T8	45	Oscuro moderado	

Dicha tabla permite confirmar a investigaciones previas (Duarte, 2012) que la intensidad y duración del proceso de tostado influye en los cambios de coloración haciéndole al grano más oscuro conforme el grado de tueste aumenta, es así, que los tratamientos T4 (18 min, 210°C, Castillo) y T8 (18 min, 210°C, Típica) presentan tonalidades más oscuras con relación a los tratamientos T1 (12 min, 190°C, Castillo) y T5 (12 min, 190°C, Típica) que presentan tonalidades claras.

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO MOLIDO

Para la realización de los análisis físico-químicos y sensoriales restantes ya sea en grano o en bebida se utilizó un café tostado y molido a un determinado tamaño para obtener datos homogéneos y que sus resultados no varíen.

4.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.3.1.1 Tamaño

La granulometría del café tostado y molido es importante ya que permite obtener resultados homogéneos de los análisis restantes y datos que justifiquen una buena catación en la bebida del café.



Figura 26. Granulometría del café tostado molido

La figura 26 muestra la granulometría utilizada de 2 mm de diámetro para cada uno de los tratamientos. El control de esta variable es uno de los pasos críticos utilizados para la preparación de un buen café, ya que según Educafés (2016), cada cafetera requiere de tamaño de partículas determinado para asegurar una buena extracción de compuestos solubles, es decir, que no sirve la misma granulometría para preparar un Espresso que para un café de filtro.

4.3.1.2 Densidad

Para un café tostado y molido, los valores de densidad son variados y están influenciados por el tipo de materia prima, el grado de tueste, el grado de molienda y el contenido de humedad (Paula Cristina Cuéllar Soares, 2001).

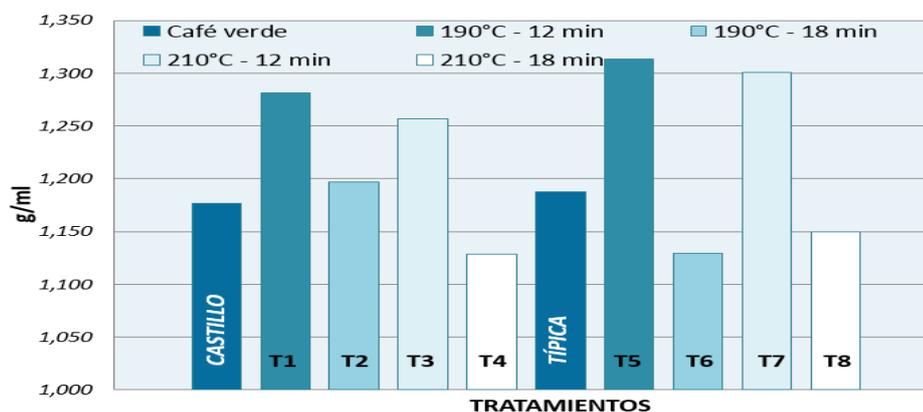


Figura 27. Densidad del café tostado molido

La figura 27 muestra cómo los granos de café se tornan menos densos conforme se les aplica tiempos y temperaturas superiores; de acuerdo a investigaciones previas de Santacruz (2014), estos cambios en la densidad se deben a que en el proceso de tostado existe una pérdida de peso ocasionada por la evaporación de agua contenida en el grano de café, el cual se reduce entre un 15 y un 20% y un significativo aumento del volumen ocasionado por la generación de gases en el grano, generando presiones internas que aumenta su tamaño significativamente.

De igual manera, la gráfica muestra cómo el factor tiempo influyó más que el factor temperatura, ocasionando que los granos de café sometidos a temperaturas bajas pero tiempos más largos se volvieran menos densos, con relación a los granos de café tostados a temperaturas más altas pero tiempos más cortos.

Tabla 47. Densidad del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	1,281	1,341	1,221	3,844	1,281
T2	1,197	1,257	1,137	3,590	1,197
T3	1,257	1,317	1,197	3,770	1,257
T4	1,129	1,189	1,069	3,386	1,129

T5	1,313	1,373	1,253	3,940	1,313
T6	1,129	1,189	1,069	3,387	1,129
T7	1,300	1,360	1,240	3,901	1,300
T8	1,149	1,209	1,089	3,448	1,149
Σ Repeticiones	9,755	10,235	9,275	29,265	1,219

Tabla 48. Análisis de varianza. Densidad del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	0,1850	0,0080				
Tratamientos	7	0,1274	0,0182	5,058	2,66	4,03	**
Factor A	1	0,1127	0,1127	31,311	4,49	8,53	**
Factor B	1	0,0028	0,0028	0,765	4,49	8,53	NS
Factor C	1	0,0003	0,0003	0,089	4,49	8,53	NS
Factor AxB	1	0,0000	0,0000	0,011	4,49	8,53	NS
Factor AxC	1	0,0057	0,0057	1,574	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,0037	0,0037	1,041	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,0022	0,0022	0,612	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,0576	0,0036				

CV= 4,92 %

Al realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos y en el factor A (Tiempo de tueste), por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios ocurridos en esta variable y al existir significación estadística se realizó un análisis funcional mediante la prueba de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para el factor A.

Tabla 49. Tukey para densidad del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T5	1,313	a
T7	1,300	a
T1	1,281	a b
T3	1,257	a b
T2	1,197	a b
T8	1,149	a b
T6	1,129	b
T4	1,129	b

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron dos rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que los tratamientos T5 (12 min, 190°C, Típica) y T7 (12 min, 210°C, Típica) fueron los granos que presentaron un mayor contenido de densidad; por lo contrario, se observó en el rango **b** que los tratamientos T6 (18 min, 190°C, Típica) y T4 (18 min, 210°C, Castillo) fueron los más afectados durante el proceso de tostado, ya que sus granos al ser sometidos a un mayor grado de tueste presentaron las más bajas cantidades de densidad.

Estos resultados permitieron confirmar con base a J. Sánchez-Ramírez, I. Anaya-Sosa, Vizcarra-Mendoza et al., (2007) que a mayor grado de tueste, los granos de café presentarán un menor contenido de humedad, una mayor pérdida de peso y un significativo aumento de volumen.

Tabla 50. Diferencia Mínima Significativa de la densidad en el café tostado molido.
Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	1,29	a
a2	1,15	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor A demostró cómo el tiempo de 18 minutos afectó en mayor proporción, disminuyendo la densidad de los granos de café, confirmando que si a un grano de café se le somete a mayores tiempos en un proceso de tostado, los granos se tornarán menos densos.

4.3.1.3 Humedad

Es una de las técnicas más importantes y de mayor uso en el proceso, control y conservación de los alimentos.

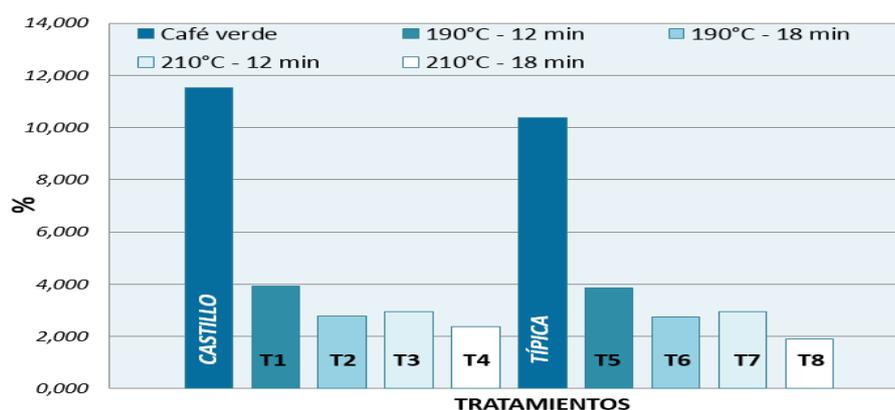


Figura 28. Humedad del café tostado molido

La figura 28 indica cómo el contenido de agua presente en los granos de café verde disminuye del 10 - 12% a porcentaje menores al 4% luego de someterles a un proceso de tueste, esta disminución según Sotelo (2010) se debe a la intensidad de tueste generada la cuál influye en la evaporación del agua contenida en sus tejidos, generando una pérdida de peso alrededor del 15 al 20%, concluyendo que a mayor grado de tueste el contenido de humedad disminuirá considerablemente.

Tabla 51. Humedad del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	4,030	3,840	3,940	11,810	3,937
T2	2,980	2,660	2,730	8,370	2,790
T3	3,050	3,160	2,670	8,880	2,960
T4	2,190	2,510	2,460	7,160	2,387
T5	3,890	3,750	3,940	11,580	3,860
T6	2,610	2,770	2,820	8,200	2,733
T7	3,000	2,820	2,980	8,800	2,933
T8	1,860	1,860	1,950	5,670	1,890
Σ Repeticiones	23,610	23,370	23,490	70,470	2,936

Tabla 52. Análisis de varianza. Humedad del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%
Total	23	10,28	0,45			
Tratamientos	7	9,94	1,42	67,94	2,66	4,03 **
Factor A	1	5,67	5,68	271,46	4,49	8,53 **
Factor B	1	3,72	3,72	178,0	4,49	8,53 **

Factor C	1	0,16	0,16	7,74	4,49	8,53	*
Factor AxB	1	0,16	0,16	7,74	4,49	8,53	*
Factor AxC	1	0,08	0,076	3,633	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,06	0,059	2,729	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,09	0,09	4,307	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,335	0,021				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 4,93 %

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos y en los factores A (Tiempo de tueste) y B (Temperatura de tueste) y diferencia significativa ($\alpha < 0.05$) en el factor C (Variedades de café) y en la interacción AxB, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios en esta variable realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 53. Tukey para humedad en el café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T1	3,937	a
T5	3,860	a
T3	2,960	b
T7	2,933	b
T2	2,790	b c
T6	2,733	b c
T4	2,387	c
T8	1,890	d

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron cuatro rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que los tratamientos T1 (12 min, 190°C, Castillo) y T5 (12 min, 190°C, Típica) resultaron los menos afectados al presentar el contenido de humedad más alto con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango **d** perteneciente al T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado ya que presentó el contenido de humedad más bajo; esto se debe a que la variedad de café Típica presentó granos más pequeños

ocasionando una evaporación significativa del agua a tiempos y temperaturas superiores.

Tabla 54. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido.
Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	3,42	a
a2	2,45	b

Tabla 55. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido.
Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	3,33	a
b2	2,54	b

Tabla 56. Diferencia Mínima Significativa de la humedad en el café tostado molido.
Factor C

Factor	Promedio	Rango
c1	3,02	a
c2	2,85	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor A y B y ($\alpha < 0.05$) para el factor C demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210 °C en la variedad de café Típica afectaron en mayor proporción, disminuyendo el contenido de humedad presente en el grano de café con relación a los tratamientos de la variedad Castillo con bajas temperaturas y tiempos.



Figura 29. Interacción Tiempo – Temperatura. Humedad del café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de humedad aproximadamente del 3,1% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. De igual manera, la figura permite comprender cómo el factor tiempo influye más que la temperatura, ocasionando un mayor impacto en la evaporación del agua contenida en los granos de café.

4.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Durante el proceso de tuestión y a causa del efecto de la temperatura y el tiempo presente en la tostadora, se producen diversos cambios a nivel químico en el grano, mismos que son responsables de conceder las propiedades organolépticas características de una bebida de café.

Tabla 57. Características químicas del café tostado molido en base húmeda

Variables		Variedad de café Castillo				Variedad de café Típica			
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Cenizas	%	3,709	3,672	3,503	4,230	4,355	3,465	3,503	3,560
pH	--	6,003	5,767	5,530	5,173	5,950	5,673	5,477	5,043
Proteínas	%	14,448	14,107	13,701	13,144	13,958	13,514	12,024	11,146
Lípidos	%	4,762	5,111	7,791	8,510	5,144	5,617	5,883	6,912
Sólidos totales	%	96,063	97,210	97,040	97,613	96,140	97,267	97,067	98,110
Polisacáridos	%	32,105	33,646	32,894	30,828	33,784	34,657	32,973	30,755
Azúcares totales	%	7,440	3,930	2,40	2,060	7,290	6,240	5,630	2,620
Azúcares reductores	%	0,500	0,590	1,380	0,020	0,010	0,950	1,520	1,530
Sacarosa	%	6,590	3,170	0,970	1,940	6,920	5,030	3,900	1,040
Minerales									
Fósforo	mg/g	3,550	3,653	3,834	3,848	3,869	3,682	3,763	3,784
Calcio	mg/g	2,150	3,946	2,471	5,313	4,317	3,083	3,325	3,838
Magnesio	mg/g	0,163	0,238	0,188	0,188	0,213	0,188	0,200	0,175
Sodio	mg/g	0,463	0,393	0,360	0,310	0,364	0,467	0,347	0,323
Cafeína	%	1,00	1,030	1,090	1,010	1,010	1,035	1,070	1,110
Acidez	%	0,782	1,452	2,658	5,941	1,273	2,747	3,908	7,191

4.3.2.1 Cenizas y minerales

Las cenizas del café representan el contenido en minerales y elementos químicos presentes en un alimento.

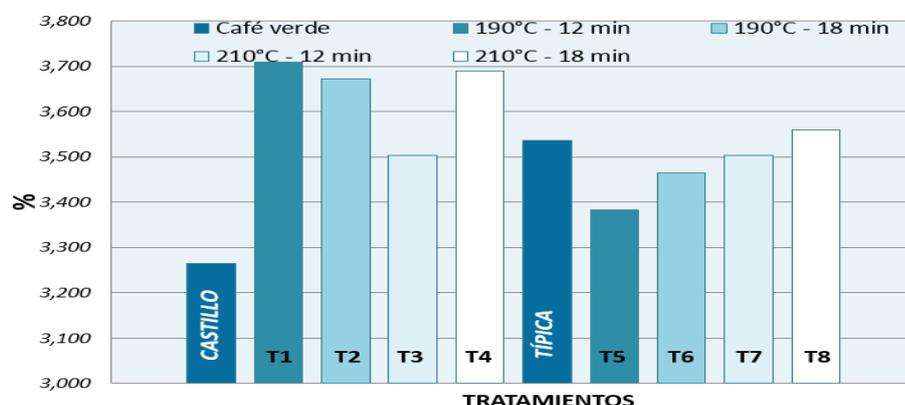


Figura 30. Cenizas del café tostado molido

La figura 30 interpreta cómo el contenido de cenizas en todos sus tratamientos resultó menor al 5% del total de materia seca presente en el café, por lo que no presentó cambios significativos, confirmando a investigaciones previas de Meenakshi Arya (2013), que las cenizas no alteran su contenido luego de someterle al grano de café a un proceso de tueste.

Tabla 58. Contenido de elementos químicos presentes en el café tostado molido

	Café verde	T1	T2	T3	T4	Café verde	T5	T6	T7	T8
Fósforo	3,809	3,55	3,65	3,83	3,85	3,747	3,87	3,68	3,76	3,78
Calcio	4,417	2,15	3,95	2,47	5,31	3,279	4,32	3,08	3,33	3,84
Magnesio	0,225	0,16	0,24	0,19	0,19	0,143	0,21	0,19	0,20	0,18
Sodio	0,352	0,46	0,39	0,36	0,31	0,348	0,36	0,47	0,35	0,32

La tabla 58 muestra el contenido de minerales presentes en los granos de café, representado en mg por cada gramo de muestra; en ella se aprecia cómo cada elemento químico (P, Ca, Mg y Na) comprendido en las cenizas del café, representa el 63% del peso de cenizas del café cuyo porcentaje está similar a lo establecido por Quintero (2011), los cuales se conservan durante la tostación y en el procesamiento para obtener cafés instantáneos (Santacruz, 2014).

Tabla 59. Cenizas del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			∑ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	3,789	3,713	3,625	11,127	3,709
T2	3,657	3,599	3,761	11,017	3,672
T3	3,734	3,884	2,892	10,509	3,503
T4	3,764	3,690	3,616	11,069	3,690
T5	3,376	3,382	3,389	10,147	3,382
T6	3,438	3,430	3,526	10,394	3,465
T7	3,550	3,506	3,454	10,510	3,503
T8	3,535	3,564	3,580	10,679	3,560
∑ Repeticiones	28,841	28,767	27,844	85,452	3,561

Tabla 60. Análisis de varianza. Cenizas del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	0,9172	0,0399				
Tratamientos	7	0,2962	0,0423	1,090	2,66	4,03	NS
Factor A	1	0,0312	0,0312	0,804	4,49	8,53	NS
Factor B	1	0,0003	0,0003	0,007	4,49	8,53	NS
Factor C	1	0,1654	0,1654	4,261	4,49	8,53	NS
Factor AxB	1	0,0146	0,0146	0,377	4,49	8,53	NS
Factor AxC	1	0,0000	0,0000	0,001	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,0613	0,0613	1,579	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,0234	0,0234	0,603	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,6210	0,0388				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 5,53 %

Al realizar el análisis de varianza se observó que no existen cambios significativos en el contenido de cenizas y minerales durante el proceso de tostado, confirmando a investigaciones previas de Santacruz (2014), que la mayoría de los elementos químicos presentes en las cenizas del café se conservan durante el tueste con tiempos y temperaturas diferentes.

4.3.2.2 pH

Nos ayuda a determinar qué tan ácido o alcalino resulta el café luego de someterle a un proceso de tueste.



Figura 31. pH del café tostado molido

La figura 31 expone cómo el café tiende a disminuir su pH volviéndose más ácido conforme se le somete a tiempos y temperaturas más altas, esto gracias a la generación de ácidos alifáticos formados durante la pirólisis de los granos de café tal y como lo estipula Clifford (2013). El pH de nuestro estudio varió entre 5,1 a 6,0, estando de acuerdo con los criterios de (Górriz, 2016), que consideran valores entre 4,8 y 5,8 dentro de los límites de aceptación sensorial de las bebidas de café.

Tabla 61. pH del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	6,000	6,000	6,010	18,010	6,003
T2	5,790	5,790	5,720	17,300	5,767
T3	5,510	5,540	5,540	16,590	5,530
T4	5,150	5,150	5,220	15,520	5,173
T5	6,060	5,910	5,880	17,850	5,950
T6	5,610	5,710	5,700	17,020	5,673
T7	5,500	5,480	5,450	16,430	5,477
T8	5,060	5,040	5,030	15,130	5,043
Σ Repeticiones	44,680	44,620	44,550	133,850	5,577

Tabla 62. Análisis de varianza. pH del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	2,512	0,109				
Tratamientos	7	2,478	0,354	168,605	2,66	4,03	**
Factor A	1	0,637	0,637	303,335	4,49	8,53	**
Factor B	1	1,766	1,766	840,875	4,49	8,53	**
Factor C	1	0,041	0,041	19,446	4,49	8,53	**

Factor AxB	1	0,029	0,029	13,669	4,49	8,53	**
Factor AxC	1	0,005	0,005	2,431	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,001	0,001	0,240	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,001	0,001	0,240	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,034	0,002				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 0,80 %

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos, en los factores A (Tiempo de tueste), B (Temperatura de tueste), C (Variedades de café) y en la interacción AxB, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a la presencia de cambios en esta variable realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 63. Tukey para pH del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T1	6,003	a
T5	5,950	a
T2	5,767	b
T6	5,673	b
T3	5,530	c
T7	5,477	c
T4	5,173	d
T8	5,043	e

Al realizar dicha prueba se diferenciaron cinco rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que los tratamientos T1 (12 min, 190°C, Castillo) y T5 (12 min, 190°C, Típica) resultaron los menos afectados al presentar granos de café con un pH elevado; por lo contrario, en el rango **e** perteneciente al T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado ya que presentó el pH más bajo, es decir, los granos de café más ácidos con relación a los demás tratamientos; según Santacruz (2014), esta disminución se debe a que la variedad de café Típica al presentar una mayor disminución de los carbohidratos provocó una mayor generación de ácidos orgánicos haciendo que el grano se torne más ácido

Tabla 64. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	5,74	a
a2	5,41	b

Tabla 65. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	5,85	a
b2	5,31	b

Tabla 66. Diferencia Mínima Significativa del pH en el café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c1	5,62	a
c2	5,54	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor A, B, C y la interacción AxB demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210 °C en la variedad Típica afectaron en mayor proporción, disminuyendo el pH presente en el grano de café y por ende tornándoles más ácidos con relación a los tratamientos de la variedad Castillo con bajas temperaturas y tiempos. Los granos de la variedad Típica al sufrir un mayor impacto por el calor, generaron una mayor cantidad de ácidos haciendo que el pH se torne más bajo.



Figura 32. Interacción Tiempo – Temperatura. pH del café tostado molido

La interacción AxB indica que el pH de 5,6 aproximadamente, es el punto de choque donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los

granos de café, además, permite comprender cómo la temperatura afecta en mayor proporción con relación al tiempo, confirmando a Farah (2012), que los cafés tostados a temperaturas más altas durante un tiempo más corto tienden a presentar una mayor acidez, más sólidos solubles y un perfil volátil diferente que los tostados durante periodos más largos a temperaturas más bajas.

4.3.2.3 Proteína

Sirven como precursores para la formación de compuestos aromáticos, del olor característico y de su actividad antioxidante (Farah, 2012).

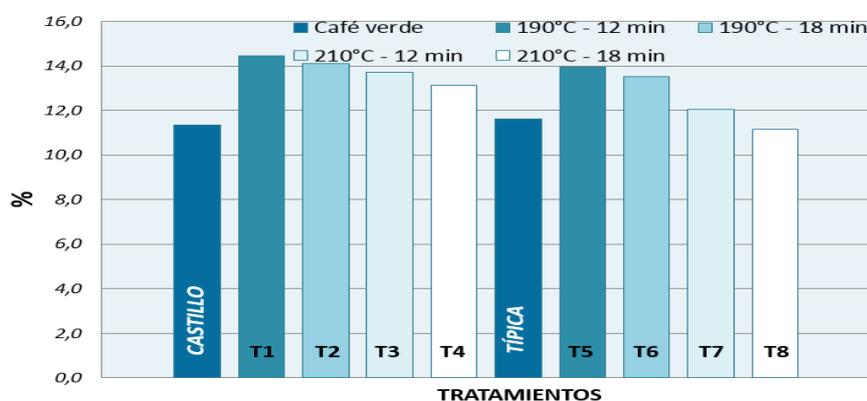


Figura 33. Proteína del café tostado molido

La figura 33 ayuda a interpretar cómo el contenido de proteínas disminuye considerablemente luego de someter a los granos de café a un proceso de tostado con tiempos y temperaturas diferentes. Esta disminución de acuerdo a Omozoje Ohiokpehai (2012), se debe a que el contenido proteico del grano se desnaturaliza y se degradan durante el tueste, produciendo ácidos, carbohidratos de bajo peso molecular y varias sustancias simultáneamente con la formación del aroma y el color del café; por lo general, cuanto más severo sea el tostado, menor será el contenido proteico.

Tabla 67. Proteína del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	14,476	14,561	14,306	43,343	14,448
T2	13,704	14,588	14,030	42,322	14,107
T3	12,989	14,317	13,796	41,103	13,701
T4	13,600	12,991	12,840	39,432	13,144

T5	14,104	13,670	14,100	41,873	13,958
T6	14,065	13,700	12,776	40,542	13,514
T7	14,054	12,273	9,743	36,071	12,024
T8	11,110	11,179	11,148	33,438	11,146
∑ Repeticiones	108,103	107,279	102,740	318,122	13,255

Tabla 68. Análisis de varianza. Proteína del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	38,703	1,683				
Tratamientos	7	26,655	3,808	5,057	2,66	4,03	**
Factor A	1	1,846	1,846	2,452	4,49	8,53	NS
Factor B	1	13,554	13,554	18,001	4,49	8,53	**
Factor C	1	8,492	8,492	11,277	4,49	8,53	**
Factor AxB	1	0,159	0,159	0,211	4,49	8,53	NS
Factor AxC	1	0,068	0,068	0,090	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	2,520	2,520	3,347	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,018	0,018	0,024	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	12,048	0,753				

CV= 6,55%

Al realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos y en los factores B (Temperatura de tueste) y C (Variedades de café), por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios presentes en esta variable realizándose un análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 69. Tukey para proteína del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T1	14,448	a
T2	14,107	a
T5	13,958	a
T3	13,701	a
T6	13,514	a b
T4	13,144	a b
T7	12,024	a b
T8	11,146	b

La realización de la prueba de Tukey permitió diferenciar dos rangos con comportamiento diferente ayudándonos a determinar en el rango **a** que los tratamientos T1 (12 min, 190°C, Castillo), T2 (18 min, 190°C, Castillo), T5 (12 min, 190°C, Típica) y T3 (12 min, 210°C, Castillo) fueron los que presentaron un mayor contenido proteico en el grano de café resultando la mayoría de los tratamientos de la variedad Castillo los menos afectados por el proceso de tueste; por lo contrario, los tratamientos T6 (18 min, 190°C, Típica), T4 (18 min, 210°C, Castillo), T7 (12 min, 210°C, Típica) y T8 (18 min, 210°C, Típica) fueron los que presentaron un menor contenido de proteínas, debido a la desnaturalización y degradación mayoritaria ocurrida en los granos de café (Clifford, 2013).

Tabla 70. Diferencia Mínima Significativa en la proteína del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	14,01	a
b2	12,50	b

Tabla 71. Diferencia Mínima Significativa en la proteína del café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c1	13,85	a
c2	12,66	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor B y C permitió comprender cómo un grano de café de menor tamaño como es el caso de los granos de la variedad Típica sometido a temperaturas altas, sufrió una desnaturalización y degradación elevada reduciendo el contenido proteico en mayor proporción con relación a los demás tratamientos.

4.3.2.4 Lípidos

Son componentes principales que mantienen al café fresco evitando el estancamiento causado por la hidrólisis y la oxidación de los triacilgliceroles (Farah, 2012).

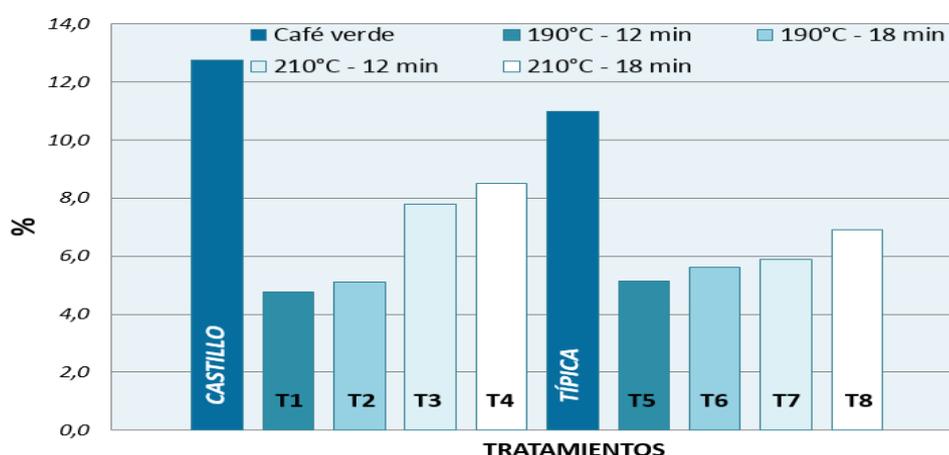


Figura 34. Lípidos del café tostado molido

La figura 34 presenta los diversos cambios ocurridos en el contenido graso durante el proceso de tostado, entre ellos, la disminución de algunos lípidos que tienden a desaparecer u oxidarse al inicio del proceso formando aldehídos y otros compuestos volátiles (Santacruz, 2014) y de otros como los ácidos grasos que van apareciendo e incrementándose conforme aumenta el grado de tueste. En sí, el contenido de lípidos no se degrada en un tueste normal, es decir, se mantienen casi constantes durante el tostado (Garay, 2014).

Tabla 72. Lípidos del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	4,7584	4,8517	4,6765	14,2866	4,762
T2	4,9513	5,0724	5,3103	15,334	5,111
T3	8,3764	6,9790	8,0176	23,373	7,791
T4	8,6278	8,3512	8,5501	25,5291	8,510
T5	5,4162	4,9038	5,1112	15,4312	5,144
T6	5,5379	5,6026	5,7102	16,8507	5,617
T7	5,7905	6,0192	5,8394	17,6491	5,883
T8	6,7929	6,9113	7,0321	20,7363	6,912
Σ Repeticiones	50,2514	48,6912	50,2474	149,19	6,21625

Tabla 73. Análisis de varianza. Lípidos del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	40,9206	1,7792				
Tratamientos	7	39,5388	5,6484	65,403	2,66	4,03	**
Factor A	1	2,4770	2,4770	28,680	4,49	8,53	**
Factor B	1	26,8499	26,8499	310,897	4,49	8,53	**
Factor C	1	2,5711	2,5711	29,771	4,49	8,53	**
Factor AxB	1	0,3212	0,3212	3,719	4,49	8,53	NS
Factor AxC	1	0,0708	0,0708	0,819	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	7,2358	7,2358	83,784	4,49	8,53	**
Factor AxBxC	1	0,0130	0,0130	0,150	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	1,3818	0,0864				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 4,73%

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos, en los factores A (Tiempo de tueste), B (Temperatura de tueste), C (Variedades de café) y en la interacción BxC, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios generados en esta variable y al existir diferencia estadística se realizó un análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores e interacciones ya mencionados.

Tabla 74. Tukey para lípidos del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T4	8,510	a
T3	7,791	a
T8	6,912	b
T7	5,883	c
T6	5,617	c
T5	5,144	c d
T2	5,111	c d
T1	4,762	d

La prueba de Tukey ayudó a diferenciar cuatro rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **d** que el tratamiento T1 (12 min,

190°C, Castillo) fue el menos afectado ya que presentó cantidades grasas mínimas con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango **a** los tratamientos T4 (18 min, 210°C, Castillo) y T3 (12 min, 210°C, Castillo) resultaron los de mayor contenido graso confirmando a investigaciones previas de Garay (2014) que los ácidos grasos van apareciendo e incrementándose conforme aumenta el grado de tueste.

Tabla 75. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a2	6,54	a
a1	5,89	b

Tabla 76. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b2	7,27	a
b1	5,16	b

Tabla 77. Diferencia Mínima Significativa de lípidos en el café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c1	6,54	a
c2	5,89	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para los factores A, B, C y la interacción BxC demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210°C en la variedad Castillo afectaron en mayor proporción, presentando un contenido de ácidos grasos superior con relación a los tratamientos de la variedad Típica con bajas temperaturas y tiempos.

Esto se debe a que la variedad Castillo al presentar un grano de mayor tamaño, su estructura celular resulta superior a la otra variedad, permitiendo que los aceites presentes en el endospermo del grano se muevan con mayor libertad brindando una apariencia aceitosa a la superficie del grano (Santacruz, 2014).



Figura 35. Interacción Temperatura – Variedad. Lípidos del café tostado molido

La interacción BxC indica que el porcentaje de lípidos aproximadamente del 6,2% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Además, la figura 42 permite comprender cómo la variedad Castillo al ser tostado a una temperatura de 210°C presenta un mayor contenido lipídico, debido a la presencia mayoritaria de ácidos grasos generados en el endospermo, los cuales brindan una apariencia aceitosa a la superficie del grano tal y como lo estipula Santacruz (2014).

4.3.2.5 Sólidos totales

Representa el contenido de materia seca presente en el grano de café.

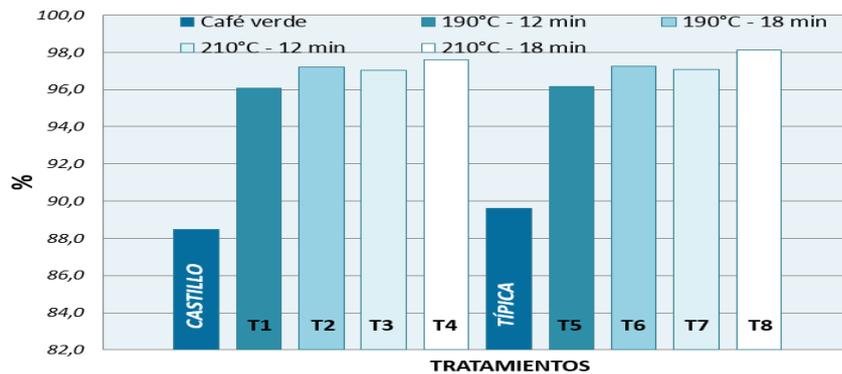


Figura 36. Sólidos totales en café tostado molido

La figura 36 permite observar cómo la cantidad de agua presente en el grano de café influye principalmente sobre el contenido de sólidos totales o materia seca, haciendo que los granos con un contenido mayor de humedad presenten un contenido de sólidos totales menor y/o viceversa; por esta razón, los tratamientos

T4 (18 min, 210°C, Castillo) y T8 (18 min, 210°C, Típica) al presentar un porcentaje de humedad menor, su contenido de materia seca es relativamente superior haciendo que sus componentes principales como carbohidratos, azúcares, cafeína y ácidos presenten mayoría afectando al grano en el momento del tostado brindándole mejores características con relación a los tratamientos con un bajo porcentaje de materia seca.

Tabla 78. Sólidos totales del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	95,970	96,160	96,060	288,190	96,063
T2	97,020	97,340	97,270	291,630	97,210
T3	96,950	96,840	97,330	291,120	97,040
T4	97,810	97,490	97,540	292,840	97,613
T5	96,110	96,250	96,060	288,420	96,140
T6	97,390	97,230	97,180	291,800	97,267
T7	97,000	97,180	97,020	291,200	97,067
T8	98,140	98,140	98,050	294,330	98,110
Σ Repeticiones	776,390	776,630	776,510	2329,530	97,064

Tabla 79. Análisis de varianza Sólidos totales del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	10,276	0,447				
Tratamientos	7	9,942	1,420	67,942	2,66	4,03	**
Factor A	1	5,674	5,674	271,455	4,49	8,53	**
Factor B	1	3,721	3,721	178,000	4,49	8,53	**
Factor C	1	0,162	0,162	7,735	4,49	8,53	*
Factor AxB	1	0,162	0,162	7,735	4,49	8,53	*
Factor AxC	1	0,076	0,076	3,633	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,057	0,057	2,729	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,090	0,090	4,307	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	0,3345	0,0209				

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 0,15%

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) en los tratamientos, en los factores A (Tiempo de tueste) y B (Temperatura de tueste) y diferencia significativa ($\alpha < 0.05$) en el factor C (Variedades de café) y en la interacción AxB, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios en esta variable realizándose un análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 80. Tukey para sólidos totales del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T8	98,110	a
T4	97,613	b
T6	97,267	b c
T2	97,210	b c
T7	97,067	c
T3	97,040	c
T5	96,140	d
T1	96,063	d

La realización de la prueba de Tukey permitió diferenciar cuatro rangos con comportamiento diferente determinando en el rango **a** que el tratamiento T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado durante el tueste de café sobre el contenido de agua ya que presentó un elevado contenido de sólidos totales o materia seca con relación a los demás tratamientos

Estos resultados concuerdan con información de Sotelo (2010), la cual manifiesta que el contenido de materia seca aumenta debido a la excesiva pérdida de humedad que sufren los granos durante el proceso de tostado y al ser de menor tamaño, la variedad Típica presentó una mayor evaporación del agua haciendo que su porcentaje de materia seca y por ende de sus componentes incremente.

Tabla 81. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido.
Factor A

Factor	Promedio	Rango
a2	97,55	a
a1	96,58	b

Tabla 82. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido.
Factor B

Factor	Promedio	Rango
b2	97,46	a
b1	96,67	b

Tabla 83. Diferencia Mínima Significativa en sólidos totales del café tostado molido.
Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	97,15	a
c1	96,98	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor A y B y ($\alpha < 0.05$) para el factor C y la interacción AxB demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210°C afectaron en mayor proporción, presentando su contenido de materia seca mayor con relación a los tratamientos de la variedad Castillo con bajas temperaturas y tiempos. Respecto a la variedad de café Típica, al presentar un menor contenido de humedad, el porcentaje de materia seca o sólidos totales tiende a ser mayor respecto a la variedad Castillo.

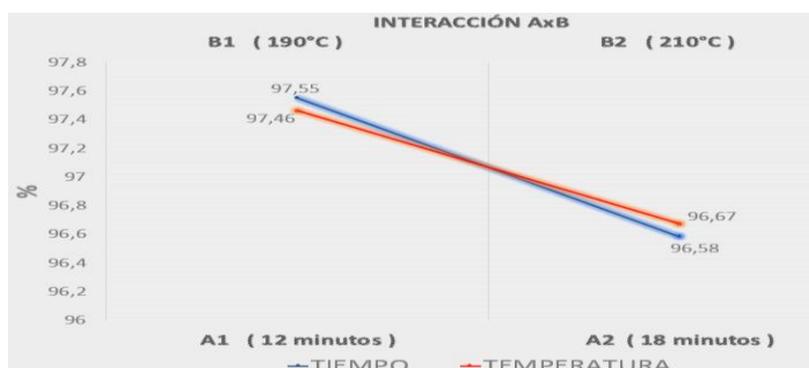


Figura 37. Interacción Tiempo - Temperatura. Sólidos totales del café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de materia seca aproximadamente del 97% es el punto de choque donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Adicionalmente, permite comprender cómo el factor tiempo influye más que la temperatura generando un mayor impacto en el aumento de materia seca del grano de café.

4.3.2.6 Azúcares totales

La gráfica siguiente muestra los porcentajes del contenido de azúcares totales presentes en el grano de café verde y en cada uno de los tratamientos del grano de café tostado.

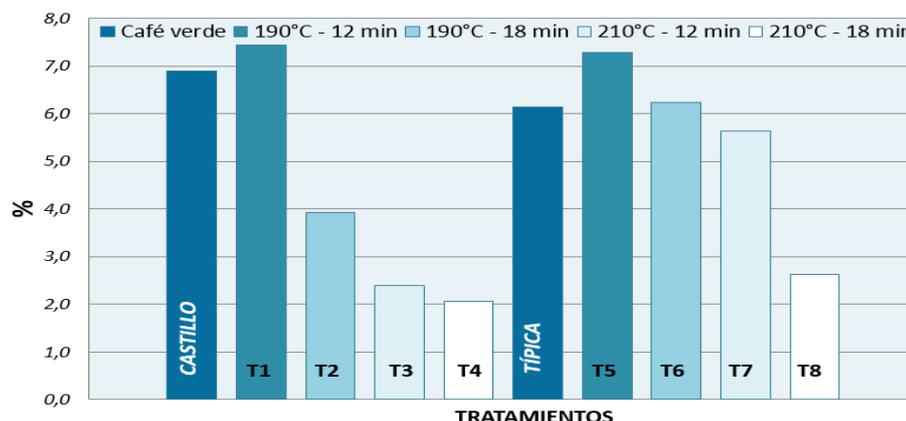


Figura 38. Azúcares totales del café tostado molido

La figura 38 permite observar como el contenido de azúcares totales presentes en el grano de café disminuye conforme el tiempo y temperatura se torna mayor en un proceso de tostado, es así, que los tratamientos con bajas temperaturas y tiempos como es el caso del T1 y T5 aportaron la mayor cantidad de azúcares con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, los tratamientos T4 y T8 fueron los más afectados presentando los más bajos contenidos en azúcares.

Con estos datos se logró comprobar a investigaciones previas de Santacruz (2014), que el contenido de azúcares presentes en el grano de café va desapareciendo debido a la caramelización y reacción de Maillard que se generan conforme el grado de tueste aumenta.

Tabla 84. Azúcares totales del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	7,440	7,470	7,410	22,320	7,44
T2	3,930	3,960	3,900	11,790	3,93
T3	2,400	2,430	2,370	7,200	2,40
T4	2,060	2,090	2,030	6,180	2,06
T5	7,290	7,320	7,260	21,870	7,29
T6	6,240	6,270	6,210	18,720	6,24
T7	5,630	5,660	5,600	16,890	5,63
T8	2,620	2,650	2,590	7,860	2,62

Σ Repeticiones	37,610	37,850	37,370	112,830	4,701
-----------------------	--------	--------	--------	---------	-------

Tabla 85. Análisis de varianza. Azúcares totales del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	103,91	4,52				
Tratamientos	7	103,89	14,84	16490,99	2,66	4,03	**
Factor A	1	23,46	23,46	26070,04	4,49	8,53	**
Factor B	1	55,72	55,72	61915,04	4,49	8,53	**
Factor C	1	13,28	13,28	14751,04	4,49	8,53	**
Factor AxB	1	0,55	0,55	610,04	4,49	8,53	**
Factor AxC	1	0,02	0,02	18,37	4,49	8,53	**
Factor BxC	1	1,00	1,00	1107,04	4,49	8,53	**
Factor AxBxC	1	9,87	9,87	10965,37	4,49	8,53	**
Error experimental	16	0,01	0,0009				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 0,64%

Luego de realizar el análisis de varianza para el contenido de azúcares totales, se observó que existe diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) y ($\alpha < 0.05$) en tratamientos y en todos los factores, por lo que se rechaza la hipótesis nula ya que todos los tratamientos tienen distinto efecto, realizándose un análisis funcional de Tukey para tratamientos y diferencia media significativa para cada uno de los factores.

Tabla 86. Tukey para azúcares totales en el café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T1	7,440	a
T5	7,290	b
T6	6,240	c
T7	5,630	d
T2	3,930	e
T8	2,620	f
T3	2,400	g
T4	2,060	h

Al realizar la prueba de Tukey se diferenci6 ocho rangos con comportamiento diferente determinando en el rango **a** que el tratamiento T1 (12 min, 190°C, Castillo) fue el menos afectado ya que present6 un contenido de azúcares mayor con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango **h** el tratamiento T4 (18 min, 210°C, Castillo) fue el más afectado presentando una mayor disminución en el contenido de azúcares totales debido a la caramelización generada por el calor, haciendo que la bebida presente un mayor sabor.

Tabla 87. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido.
Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	5,69	a
a2	3,71	b

Tabla 88. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido.
Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	6,23	a
b2	3,18	b

Tabla 89. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido.
Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	5,45	a
c1	3,96	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para los factores A, B y C demostr6 cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210°C afectaron mayoritariamente sobre el contenido de azúcares presentes en los granos de café, los cuales sufrieron una mayor caramelización que les permite reaccionar con los aminoácidos libres, derivados de péptidos y proteínas para formar heterociclos nitrogenados y melanoidinas (Lina María Rincón Sotelo, 2010). Respecto a la variedad de café castillo, al presentar una menor cantidad de materia seca, la

presencia de azúcares se torna menor haciendo que la caramelización sea más efectiva reduciendo su contenido mayoritariamente.

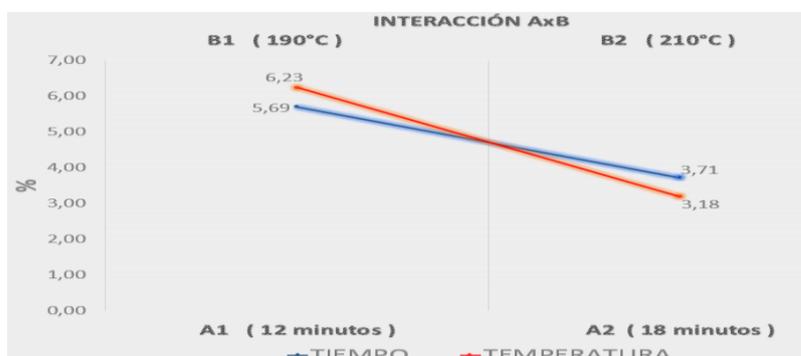


Figura 39. Interacción Tiempo - Temperatura. Azúcares totales del café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de azúcares totales aproximadamente del 4,7% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Dicha interacción permite comprender cómo el factor temperatura influye más que el tiempo ocasionando un mayor impacto en la disminución del contenido de azúcares totales.



Figura 40. Interacción Tiempo - Variedad. Azúcares totales del café tostado molido

La interacción AxC indica que el porcentaje de azúcares totales aproximadamente del 4,7% es el punto de choque donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además, permite comprender cómo el factor tiempo influye más que la variedad haciendo que los tratamientos de la variedad Castillo con tiempos de 18 minutos ocasionaran una mayor disminución en el contenido de azúcares totales.



Figura 41. Interacción Temperatura - Variedad. Azúcares totales del café tostado molido

La interacción BxC indica que el porcentaje de azúcares totales aproximadamente del 4,7% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además, la interacción BxC permite comprender cómo el factor temperatura influye más que la variedad haciendo que los tratamientos de la variedad Castillo con temperaturas de 210°C ocasionaran una mayor disminución en el contenido de azúcares totales.

Tabla 90. Diferencia Mínima Significativa en azúcares totales del café tostado molido. Interacción AxBxC

Factor	Promedio	Rango
a1b1c1	7,44	a
a1b1c2	7,29	b
a2b1c2	6,24	c
a1b2c2	5,63	d
a2b1c1	3,93	e
a2b2c2	2,62	f
a1b2c1	2,40	g
a2b2c1	2,06	h

La interacción de los tres factores de estudio, permite notar cómo el tratamiento T4 perteneciente a la variedad de café Castillo, con tiempo de 18 minutos y una temperatura de 210°C fue el que ocasionó un mayor impacto en la disminución de los azúcares presentes en el grano de café, siendo la temperatura más impactante con relación al factor tiempo.

4.3.2.7 Azúcares reductores

Son los responsables de brindar juntamente con otros compuestos el color, sabor y aroma característico de la bebida del café.

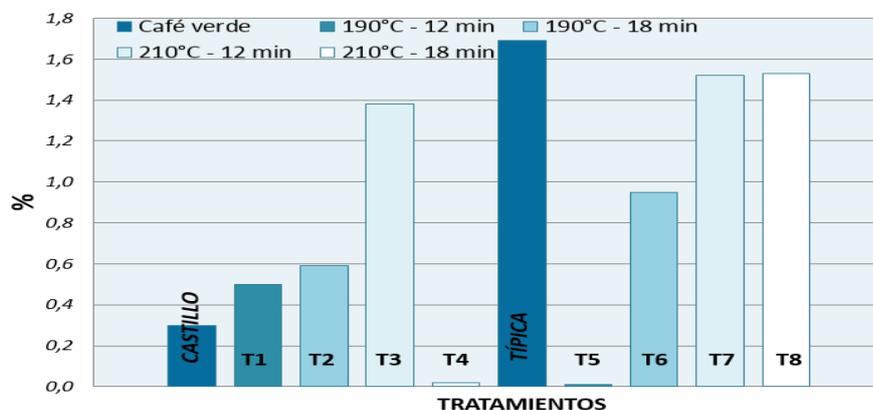


Figura 42. Azúcares reductores del café tostado molido

La figura 42 ayuda a interpretar cómo el contenido de azúcares reductores aumenta considerablemente formando alcoholes y ácidos luego de que la sacarosa se deshidrata; sin embargo, según investigaciones de Górriz (2016) durante un proceso de tostado, los azúcares reductores se hidrolizan y posteriormente, conforme aumenta el grado de tueste, se polimerizan reaccionando con los aminoácidos para formar las melanoidinas responsables del aroma y color en la bebida.

Tabla 91. Azúcares reductores del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	0,500	0,530	0,470	1,500	0,50
T2	0,590	0,620	0,560	1,770	0,59
T3	1,380	1,410	1,350	4,140	1,38
T4	0,020	0,050	0,010	0,060	0,02
T5	0,010	0,040	0,020	0,030	0,01
T6	0,950	0,980	0,920	2,850	0,95
T7	1,520	1,550	1,490	4,560	1,52
T8	1,530	1,560	1,500	4,590	1,53
Σ Repeticiones	6,500	6,740	6,260	19,500	0,813

Tabla 92. Análisis de varianza Azúcares reductores del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	8,3411	0,3627				
Tratamientos	7	8,3267	1,1895	1321,690	2,66	4,03	**
Factor A	1	0,0384	0,0384	42,667	4,49	8,53	**
Factor B	1	2,1600	2,1600	2400,000	4,49	8,53	**
Factor C	1	0,8664	0,8664	962,667	4,49	8,53	**
Factor AxB	1	2,1242	2,1242	2360,167	4,49	8,53	**
Factor AxC	1	1,8482	1,8482	2053,500	4,49	8,53	**
Factor BxC	1	1,1882	1,1882	1320,167	4,49	8,53	**
Factor AxBxC	1	0,1014	0,1014	112,667	4,49	8,53	**
Error experimental	16	0,0144	0,001				

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 3,89%

Al realizar el análisis de varianza se observó que existe diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) y ($\alpha < 0.05$) en los tratamientos y en todos los factores, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios generados en esta variable realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 93. Tukey para azúcares reductores en café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T8	1,530	a
T7	1,520	a
T3	1,380	b
T6	0,950	c
T2	0,590	d
T1	0,500	e
T4	0,020	f
T5	0,010	f

Al realizar la prueba de Tukey se diferenció seis rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **f** que los tratamientos T4 (18 min, 210°C, Castillo) y T5 (12 min, 190°C, Típica) fueron los que presentaron un contenido de azúcares reductores bajo con relación a los demás tratamientos.

En lo que respecta al tratamiento T5, su contenido es mínimo debido a que la generación de dichos azúcares recién inicia ya que las bajas temperaturas y tiempos utilizados no generan cambios mayores sobre dicha variable; conforme el grado de tueste aumenta la producción de azúcares reductores es mayor hasta que llegan a un punto donde tienden a desaparecer como es el caso del tratamiento T4 el cual resulta favorable debido a que los azúcares reaccionan con los aminoácidos desnaturalizados dando lugar a la formación de compuestos aromáticos favorables para obtener una bebida de calidad.

Tabla 94. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	0,85	a
a2	0,77	b

Tabla 95. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b2	1,11	a
b1	0,51	b

Tabla 96. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	1,00	a
c1	0,62	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para los factores A, B y C demostró cómo el tiempo de 12 minutos y la temperatura de 210 °C afectaron mayoritariamente sobre el contenido de azúcares reductores presentes en los granos de café, haciendo que los granos presenten un mayor incremento de dichos azúcares con relación a los demás tratamientos.

Respecto a la variedad de café Castillo, al presentar una menor cantidad de materia seca, los azúcares reductores se hidrolizan y conforme aumenta el grado

de tueste, se polimerizan reaccionando con los aminoácidos para formar las melanoidinas responsables de dar el aroma y color a la bebida.



Figura 43. Interacción tiempo-temperatura. Azúcares reductores en café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de azúcares reductores aproximadamente del 0,80% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además, permite comprender cómo el factor temperatura influye más que el tiempo haciendo que los tratamientos con temperaturas de 210°C ocasionaran un mayor impacto en la generación de azúcares reductores.



Figura 44. Interacción Tiempo - Variedad. Azúcares reductores del café tostado molido

La interacción AxC indica que el porcentaje de azúcares reductores aproximadamente del 0,80% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Adicionalmente, la interacción permite comprender cómo la variedad de café Típica influye más que el tiempo generando un mayor impacto en la producción de azúcares reductores.

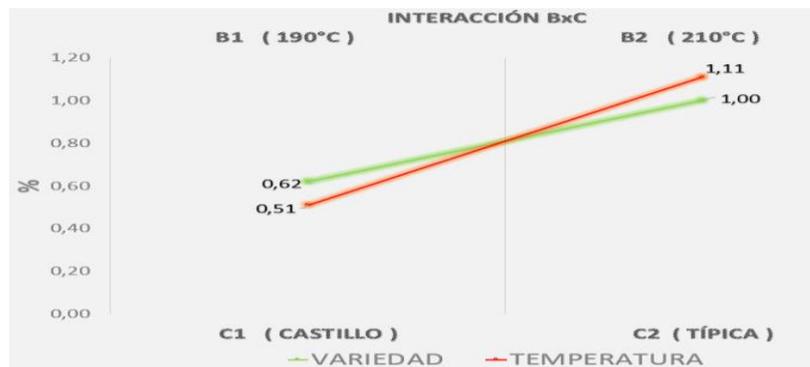


Figura 45. Interacción Temperatura - Variedad. Azúcares reductores del café tostado molido

La interacción BxC indica que el porcentaje de azúcares reductores aproximadamente del 0,80% es el punto de choque donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además, permite comprender cómo la temperatura influye más que la variedad de café haciendo que los tratamientos con temperaturas de 210°C ocasionaran un mayor impacto en la generación de azúcares reductores.

Tabla 97. Diferencia Mínima Significativa en azúcares reductores del café tostado molido. Interacción AxBxC

Factor	Promedio	Rango
a2b2c2	1,53	a
a1b2c2	1,52	b
a1b2c1	1,38	c
a2b1c2	0,95	d
a2b1c1	0,59	e
a1b1c1	0,50	f
a2b2c1	0,02	g
a1b1c2	0,01	h

La interacción de los tres factores de estudio, permitió notar cómo la variedad de café Típica, el tiempo de 12 minutos y la temperatura de 210°C afectaron en mayor proporción aumentando el contenido de azúcares reductores significativamente, siendo la temperatura más relevante que el factor tiempo.

4.3.2.8 Polisacáridos

Están implicados en la formación de melanoidinas durante el tueste; contribuyen al color y sabor de la bebida resultando responsables de varias facetas de la sensación en la boca de la bebida, por ejemplo, la viscosidad y la estabilidad de la espuma (Dirk Selmar, Maik Kleinwachter Bytof, 2011).

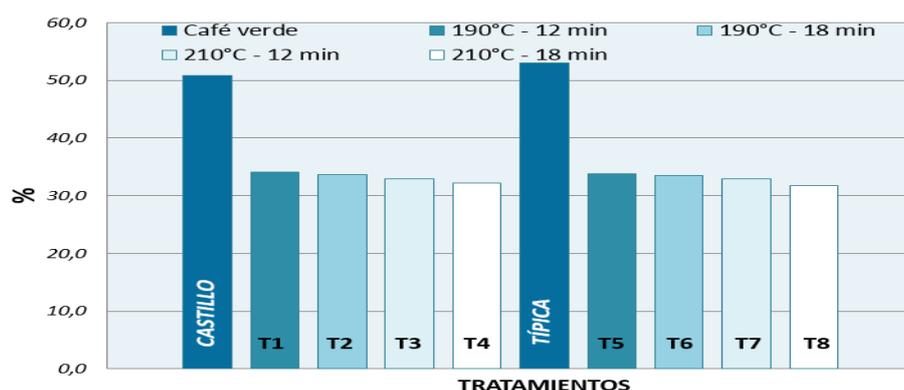


Figura 46. Polisacáridos del café tostado molido

La figura 46 muestra cómo el contenido de polisacáridos disminuye considerablemente por la influencia de la temperatura y tiempo en el tostador, de un 50% a un 30% aproximadamente, hidrolizándose parcialmente dando lugar a oligosacáridos más solubles y volátiles que contribuyen al aroma de la bebida (Santacruz, 2014).

Tabla 98. Polisacáridos del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	34,02	35,2803	33,01	102,31	34,10
T2	33,76	34,7537	32,41	100,93	33,64
T3	32,90	33,9039	31,87	98,68	32,89
T4	31,09	32,1784	33,21	96,48	32,16
T5	35,70	32,9591	32,69	101,35	33,78
T6	33,57	34,5647	32,22	100,37	33,45
T7	32,98	33,9828	31,95	98,91	32,97
T8	31,01	32,1059	32,14	95,26	31,75
Σ Repeticiones	265,06	269,7288	259,53	794,32	33,096

Tabla 99. Análisis de varianza. Polisacáridos del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	34,770	1,512				
Tratamientos	7	13,960	1,994	1,533	2,660	4,03	NS
Factor A	1	2,809	2,809	2,160	4,490	8,53	NS
Factor B	1	10,176	10,176	7,824	4,490	8,53	*
Factor C	1	0,263	0,263	0,202	4,490	8,53	NS
Factor AxB	1	0,510	0,510	0,392	4,490	8,53	NS
Factor AxC	1	0,047	0,047	0,036	4,490	8,53	NS
Factor BxC	1	0,013	0,013	0,010	4,490	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,143	0,143	0,110	4,490	8,53	NS
Error experimental	16	20,810	1,301				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 3,45%

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia significativa al 5% en el factor B (Temperatura de tueste) únicamente, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios ocurridos en esta variable realizándose el análisis funcional de diferencia media significativa para determinar que temperatura influyó en mayor proporción durante el proceso de tostado.

Tabla 100. Diferencia Mínima Significativa en polisacáridos del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	33,75	a
b2	32,45	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor B permitió determinar cómo la temperatura de 210 °C afectó en mayor proporción, disminuyendo el contenido de polisacáridos presentes en los granos de café con relación a los demás tratamientos.

4.3.2.9 Sacarosa

Es importante para el sabor y la calidad del café, brindando un aroma superior en la bebida; su contenido aumenta con el grado de maduración del grano verde y se degrada rápidamente al tostarle (Meenakshi Arya, 2013).

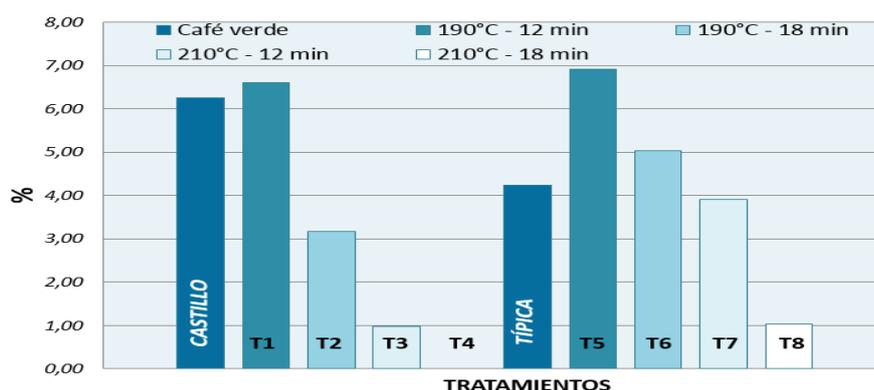


Figura 47. Sacarosa del café tostado molido

La figura 47 ayuda a interpretar cómo el contenido de sacarosa presente en los granos de café y responsable de brindar un color caramelo y amargo a la bebida (Santacruz, 2014), tiende a degradarse continuamente conforme el grado de tueste aumenta, hasta presentar contenidos mínimos que son característicos de un café tostado normal.

Tabla 101. Sacarosa del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	6,593	6,593	6,593	19,779	6,59
T2	3,173	3,173	3,173	9,519	3,17
T3	0,969	0,969	0,969	2,907	0,97
T4	1,938	1,938	1,938	5,814	1,94
T5	6,916	6,916	6,916	20,748	6,92
T6	5,026	5,026	5,026	15,077	5,03
T7	3,905	3,905	3,905	11,714	3,90
T8	1,036	1,036	1,036	3,107	1,04
Σ Repeticiones	29,555	29,555	29,555	88,664	3,694

Tabla 102. Análisis de varianza. Sacarosa del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%
Total	23	115,352	5,0153			
Tratamientos	7	115,352	16,4790	463841540118533	4,0	
Factor A	1	19,4967	19,4967	0	2,66	3 **
Factor B	1	72,0425	72,0425	548784481566574	4,49	3 **
Factor C	1	6,6418	6,6418	202781744061271	4,49	3 **
				186950108965507	4,49	3 **
				0	4,49	3 **

Factor AxB	1	4,3618	4,3618	122774215377315 0	4,49	8,5 3	**
Factor AxC	1	1,9984	1,9984	562510738108432	4,49	8,5 3	**
Factor BxC	1	0,0076	0,0076	2143387967184 304099121700056	4,49	8,5 3	**
Factor AxBxC	1	10,8038	10,8038	0	4,49	8,5 3	**
Error experimental	16	0,0000	0,00000000000000035 52				

*: Significativo
 **: Altamente significativo
 NS: No significativo

CV= 0,000001613%

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) y ($\alpha < 0.05$) en tratamientos y en todos los factores, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los distintos efectos presentes en esta variable, realizándose un análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 103. Tukey para sacarosa en el café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T5	6,92	a
T1	6,59	b
T6	5,03	c
T7	3,90	d
T2	3,17	e
T4	1,94	f
T8	1,04	g
T3	0,97	h

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron ocho rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que el tratamiento T5 (12 min, 190°C, Típica) fue el menos afectado ya que su contenido de sacarosa resultó el más elevado con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango **h** perteneciente al tratamiento T3 (12 min, 210 °C, Castillo) se observó una disminución considerable debido a que las altas temperaturas y tiempos ocasionaron una mayor degradación en el contenido de sacarosa.

Tabla 104. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a1	4,60	a
a2	2,79	b

Tabla 105. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b1	5,43	a
b2	1,96	b

Tabla 106. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	4,22	a
c1	3,17	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para los factores A, B y C demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210 °C afectaron en mayor proporción, disminuyendo mayoritariamente el contenido de sacarosa presente en el grano de café con relación a los demás tratamientos.

Respecto al factor C, la variedad Castillo al poseer un bajo contenido de materia seca, la degradación de la sacarosa fue mayor presentando contenidos mínimos característicos de un café tostado normal.

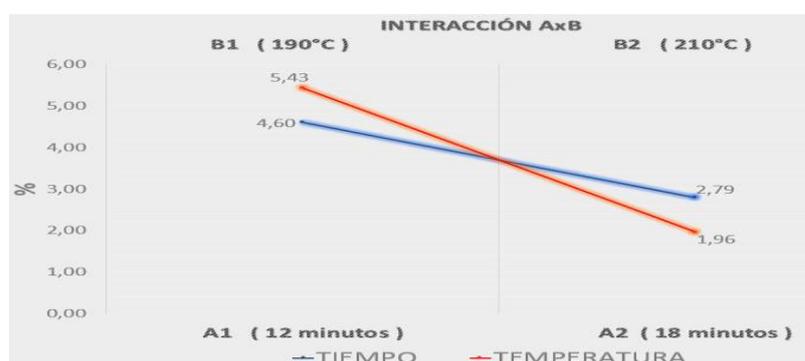


Figura 48. Interacción Tiempo - Temperatura. Sacarosa del café tostado molido

La interacción AxB sobre el contenido de sacarosa indica que el porcentaje de sacarosa aproximadamente del 3,8% es el punto de encuentro donde la

temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además, permite comprender cómo el factor temperatura influye más que el tiempo haciendo que los tratamientos con temperaturas de 210°C ocasionaran un mayor impacto en la disminución del contenido de sacarosa.



Figura 49. Interacción Tiempo - Variedad. Sacarosa del café tostado molido

La interacción AxC indica que el porcentaje de sacarosa aproximadamente del 3,8% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Adicionalmente, permite comprender cómo el factor tiempo influye más que la variedad haciendo que los tratamientos con tiempos de 18 minutos ocasionarán un mayor impacto en la reducción del contenido de sacarosa.

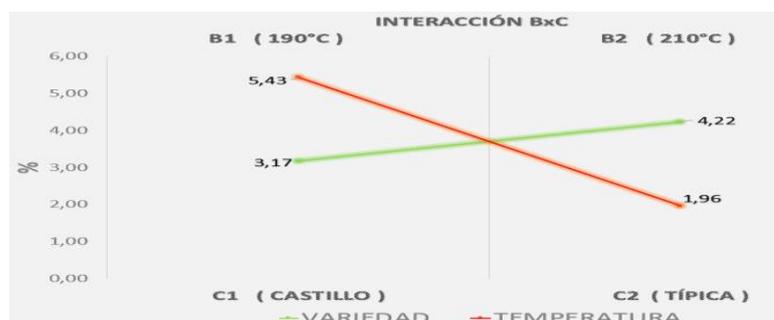


Figura 50. Interacción Temperatura - Variedad. Sacarosa del café tostado molido

La interacción BxC indica que el porcentaje de sacarosa aproximadamente del 3,8% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además permite comprender cómo el factor temperatura influye más que la variedad haciendo que los tratamientos con

temperaturas de 210°C ocasionarán un mayor impacto en la reducción del contenido de sacarosa.

Tabla 107. Diferencia Mínima Significativa en sacarosa del café tostado molido. Interacción AxBxC

Factor	Promedio	Rango
a1b1c2	6,92	a
a1b1c1	6,59	b
a2b1c2	5,03	c
a1b2c2	3,90	d
a2b1c1	3,17	e
a2b2c1	1,94	f
a2b2c2	1,04	g
a1b2c1	0,97	h

La realización de las pruebas de significación permitió determinar que la variedad de café Castillo con tiempos y temperaturas de mayor grado fueron los que afectaron en mayor proporción sobre el contenido de sacarosa, disminuyéndole considerablemente hasta contenidos mínimos; es importante recalcar que el factor temperatura afectó mayormente con relación al factor tiempo.

4.3.2.10 Cafeína

Es un alcaloide con características amargas, que se encuentran en los granos de café verde y tostado y su contenido no varía significativamente.

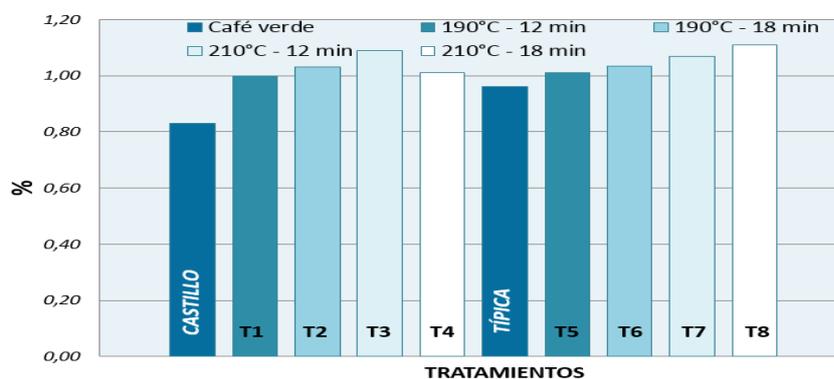


Figura 51. Cafeína del café

La figura 51 permite apreciar cómo la cafeína no se altera significativamente durante el tostado del café, esto se debe a que el alcaloide no sufre cambios

durante un tostado normal pero pueden producirse pequeñas pérdidas debido a la sublimación y a la aplicación de tuestes de grados superiores tal y como lo estipula Santacruz (2014); sin embargo, se puede observar un aumento en el contenido de cafeína debido a la pérdida de otros compuestos (Farah, 2012).

Tabla 108. Cafeína del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	0,97	1,03	1	3	1,000
T2	1,08	0,98	1,03	3,09	1,030
T3	1,1	1,08	1,09	3,27	1,090
T4	1,04	0,98	1,01	3,03	1,010
T5	1,02	1	1,01	3,03	1,010
T6	1,05	1,02	1,035	3,105	1,035
T7	1,1	1,04	1,07	3,21	1,070
T8	1,1	1,12	1,11	3,33	1,110
Σ Repeticiones	8,46	8,25	8,355	25,065	1,044375

Tabla 109. Análisis de varianza. Cafeína del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	0,0465	0,0020				
Tratamientos	7	0,0350	0,0050	6,990	2,66	4,03	**
Factor A	1	0,0001	0,0001	0,118	4,49	8,53	NS
Factor B	1	0,0158	0,0158	22,022	4,49	8,53	**
Factor C	1	0,0034	0,0034	4,729	4,49	8,53	*
Factor AxB	1	0,0034	0,0034	4,729	4,49	8,53	*
Factor AxC	1	0,0050	0,0050	6,930131	4,49	8,53	*
Factor BxC	1	0,0016	0,0016	2,2139738	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,0059	0,0059	8,18777293	4,49	8,53	*
Error experimental	16	0,0115	0,0007				

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 2,53%

Luego de realizar el análisis de varianza se observó diferencia significativa ($\alpha < 0.01$) y ($\alpha < 0.05$) en los tratamientos y en los factores B (Temperatura de tueste), C (Variedades de café) y en las interacciones AxB, AxC y AxBxC, por lo que se rechaza la hipótesis nula debido a los cambios generados en esta variable

realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para los factores.

Tabla 110. Tukey para cafeína del café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T8	1,110	a
T3	1,090	a b
T7	1,070	a b c
T6	1,035	a b c
T2	1,030	b c
T4	1,010	c
T5	1,010	c
T1	1,000	c

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron tres rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango **a** que el tratamiento T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado gracias a la pérdida de varios compuestos que presentó dicha variedad por lo que presentó un contenido de cafeína mayor con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango **c** los tratamientos T4 (18 min, 210°C, Castillo), T5 (12 min, 190°C, Típica) y T1 (12 min, 190°C, Castillo) presentaron un contenido de cafeína bajo característico en un tostado normal. Por lo general, el contenido de cafeína incrementa en mínimas proporciones conforme el grado de tueste aumenta; sin embargo con la aplicación de tuestes de grados superiores se nota una ligera pérdida de este alcaloide.

Tabla 111. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b2	1,07	a
b1	1,02	b

Tabla 112. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	1.06	a
c1	1,03	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para el factor B y ($\alpha < 0.05$) para el factor C y las interacciones AxB, AxC y AxBxC demostró cómo la temperatura de 210°C afectó en mayor proporción, presentando un ligero incremento de este alcaloide ya que la variación de dicho contenido fue mínima en cualquier tipo de tueste. Los cambios en esta variable son mínimos, siendo la variedad Castillo la que presentó un menor contenido del alcaloide debido al mayor efecto del calor.

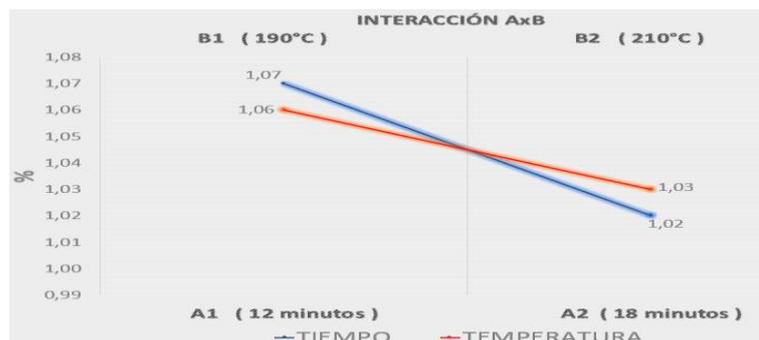


Figura 52. Interacción Tiempo - Temperatura. Cafeína del café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de cafeína aproximadamente del 1,048% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café. Adicionalmente, permite comprender cómo el factor tiempo influye más que la temperatura haciendo que los tratamientos con tiempos de 18 minutos ocasionaran un mayor impacto en el aumento de la cafeína.



Figura 53. Interacción Tiempo - Variedad. Cafeína del café tostado molido

La interacción AxC indica que el porcentaje de cafeína aproximadamente del 1,048% es el punto de choque donde la temperatura y el tiempo presentan un

mismo efecto sobre los granos de café, además permite comprender cómo la variedad de café influye más que el tiempo haciendo que los tratamientos de la variedad Típica ocasionaran un mayor impacto en el aumento del alcaloide.

Tabla 113. Diferencia Mínima Significativa en cafeína del café tostado molido. Interacción AxBxC

Factor	Promedio	Rango
a2b2c2	1,11	a
a1b2c1	1,09	a
a1b2c2	1,07	a b
a2b1c2	1,04	b c
a2b1c1	1,03	b c
a2b2c1	1,01	c
a1b1c2	1,01	c
a1b1c1	1,00	c

La realización de las pruebas de significación permitieron determinar cómo la variedad Típica con tiempos y temperaturas de mayor grado presenta en una mínima proporción un contenido de cafeína mayor, en relación a los de menor grado y a la variedad Castillo, por lo que se confirma, que la cafeína mantiene similar su contenido, debido a que el alcaloide no sufre cambios durante el proceso de tostado (Santacruz, 2014).

4.3.2.11 Acidez

Indica la presencia de ácidos orgánicos presentes en la bebida de café.

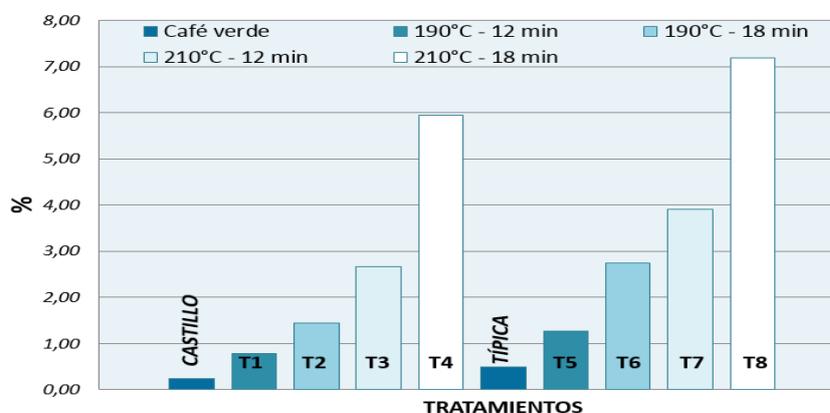


Figura 54. Acidez del café

La figura 54 ayuda a interpretar cómo el café sometido a un mayor grado de tueste tiende a volverse más ácido con relación a los granos tostados sometidos a tiempos y temperaturas bajas. Este aumento según Farah (2012) es posible gracias a los ácidos alifáticos que aumentan a través de la degradación de sacarosa, polisacáridos y otros compuestos, especialmente durante la tostación corta y de alta temperatura.

Tabla 114. Acidez del café tostado molido

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
T1	0,804	0,670	0,871	2,345	0,782
T2	1,608	1,541	1,206	4,355	1,452
T3	2,077	3,082	2,814	7,973	2,658
T4	5,360	6,030	6,432	17,822	5,941
T5	1,407	1,139	1,273	3,819	1,273
T6	2,680	3,350	2,211	8,241	2,747
T7	4,355	3,752	3,618	11,725	3,908
T8	7,638	6,700	7,236	21,574	7,191
Σ Repeticiones	25,929	26,264	25,661	77,854	3,244

Tabla 115. Análisis de varianza. Acidez del café tostado molido

F.V	G.L	S.C	C.M	F.C	5%	1%	
Total	23	113,822	4,949				
Tratamientos	7	111,138	15,877	94,631	2,66	4,03	**
Factor A	1	28,449	28,449	169,565	4,49	8,53	**
Factor B	1	67,785	67,785	404,018	4,49	8,53	**
Factor C	1	6,895	6,895	41,097	4,49	8,53	**
Factor AxB	1	7,333	7,333	43,706	4,49	8,53	**
Factor AxC	1	0,242	0,242	1,445	4,49	8,53	NS
Factor BxC	1	0,192	0,192	1,142	4,49	8,53	NS
Factor AxBxC	1	0,242	0,242	1,445	4,49	8,53	NS
Error experimental	16	2,6844	0,1678				

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

CV= 12,63%

Al realizar el análisis de varianza se observó diferencia altamente significativa ($\alpha < 0.01$) y ($\alpha < 0.05$) en los tratamientos, en los factores A (Tiempo de tueste), B (Temperatura de tueste), C (Variedades de café) y en la interacción AxB, por lo que se rechaza la hipótesis nula en la que todos los tratamientos tienen el mismo

efecto, realizándose el análisis funcional de Tukey para los tratamientos y diferencia media significativa para factores.

Tabla 116. Tukey para acidez en el café tostado molido

Tratamientos	Promedio	Rangos
T8	7,191	a
T4	5,941	b
T7	3,908	c
T6	2,747	d
T3	2,658	d
T2	1,452	e
T5	1,273	e
T1	0,782	e

Al realizar la prueba de Tukey se diferenciaron cinco rangos con comportamiento diferente permitiendo determinar en el rango e que los tratamientos T2 (18 min, 190°C, Castillo), T5 (12 min, 190°C, Típica) y T1 (12 min, 190°C, Castillo) fueron los que presentaron un contenido de acidez baja con relación a los demás tratamientos; por lo contrario, en el rango a el tratamiento T8 (18 min, 210°C, Típica) fue el más afectado ya que presentó un contenido de acidez superior debido a la mayor cantidad de ácidos generados durante el proceso de tueste.

Tabla 117. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor A

Factor	Promedio	Rango
a2	4,33	a
a1	2,16	b

Tabla 118. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor B

Factor	Promedio	Rango
b2	4,92	a
b1	1,56	b

Tabla 119. Diferencia Mínima Significativa en acidez del café tostado molido. Factor C

Factor	Promedio	Rango
c2	3,78	a
c1	2,71	b

La prueba de significación DMS ($\alpha < 0.01$) para los factores A, B, C demostró cómo el tiempo de 18 minutos y la temperatura de 210 °C afectaron en mayor proporción, presentando un contenido de acidez mayor, debido a la degradación de la sacarosa la cual genera una aparición de ácidos orgánicos generados a un grado de tueste superior. Respecto al factor C, los granos de la variedad Típica al sufrir un mayor impacto por el calor, generaron una mayor cantidad de ácidos haciendo que la acidez sea mayor con relación a la variedad Castillo.

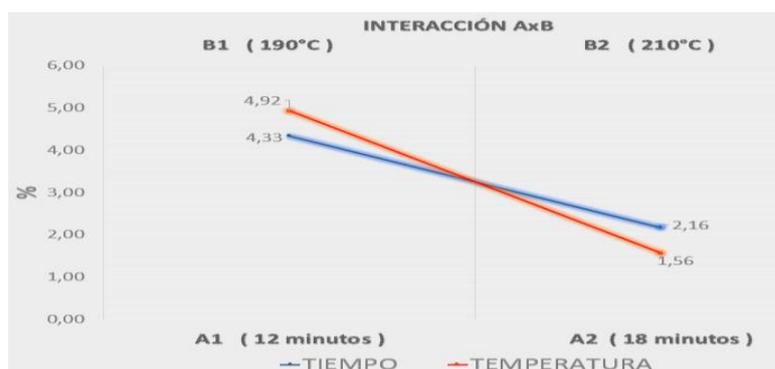


Figura 55. Interacción Tiempo - Temperatura. Acidez del café tostado molido

La interacción AxB indica que el porcentaje de acidez aproximadamente del 3,3% es el punto de encuentro donde la temperatura y el tiempo presentan un mismo efecto sobre los granos de café, además permite confirmar a Farah (2012) que los granos de café tostados a temperaturas más altas durante un tiempo más corto tienden a presentar una mayor acidez, que los tostados durante periodos más largos a temperaturas más bajas, resultando la variedad Típica la que mayor acidez presentó con relación a la variedad Castillo.

4.3.3 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

La evaluación de las variables sensoriales del café tostado y molido permitió observar la similitud que existe entre el café tostado en grano y en tostado molido, por lo que presentaron similares características de coloración generadas luego de que los granos de café fueron sometidos a un proceso de tueste con diferentes variedades, tiempos y temperaturas.

La determinación del color permite determinar con ayuda de colores estándar (Tabla 120), el nivel de tueste de cada uno de los tratamientos; determinando que ya sea en grano o en grano molido el color no varía.

Tabla 120. Análisis de color del grano de café tostado molido

Variedad	Tratamientos	Color Agtron SCCA	Tonalidad	Color
Castillo	T1	95	Muy claro	
	T2	75	Claro moderado	
	T3	65	Medio moderado	
	T4	45	Oscuro moderado	
Típica	T5	95	Muy claro	
	T6	75	Claro moderado	
	T7	65	Medio moderado	
	T8	45	Oscuro moderado	

Análisis organoléptico

El análisis de las características organolépticas del café realizado por medio de un panel de catación con 8 participantes de edades entre 24 y 50 años, los cuales analizaron el color y fragancia (olor) en muestras secas; y aroma, acidez y cuerpo en la bebida de café, determinaron en cada variedad, los resultados expresados en las figuras 56 y 57.

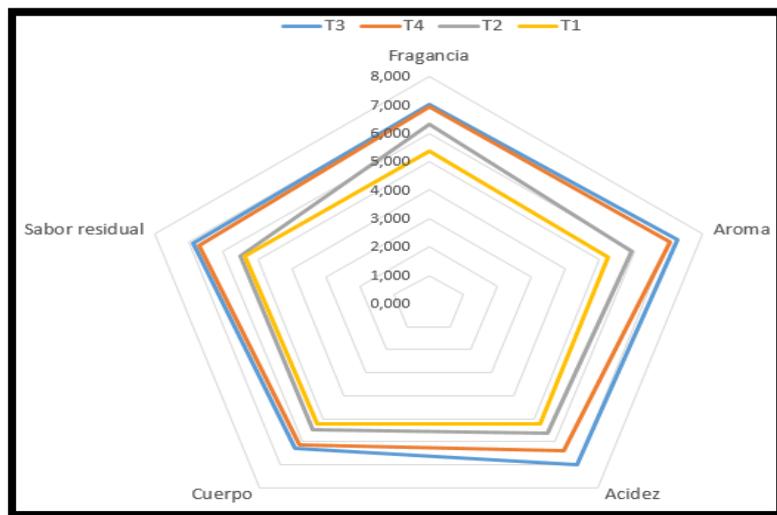


Figura 56. Puntajes de la variedad de café Castillo

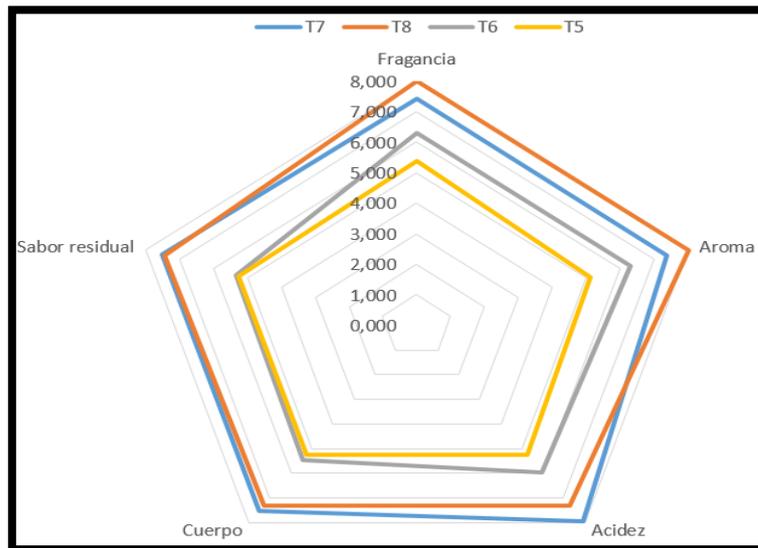


Figura 57. Puntajes de la variedad de café Típica

Después de evaluar las muestras, todas las calificaciones de cada uno de los atributos son sumadas y el resultado final se expresa en una escala que va de 0 a 100 puntos.

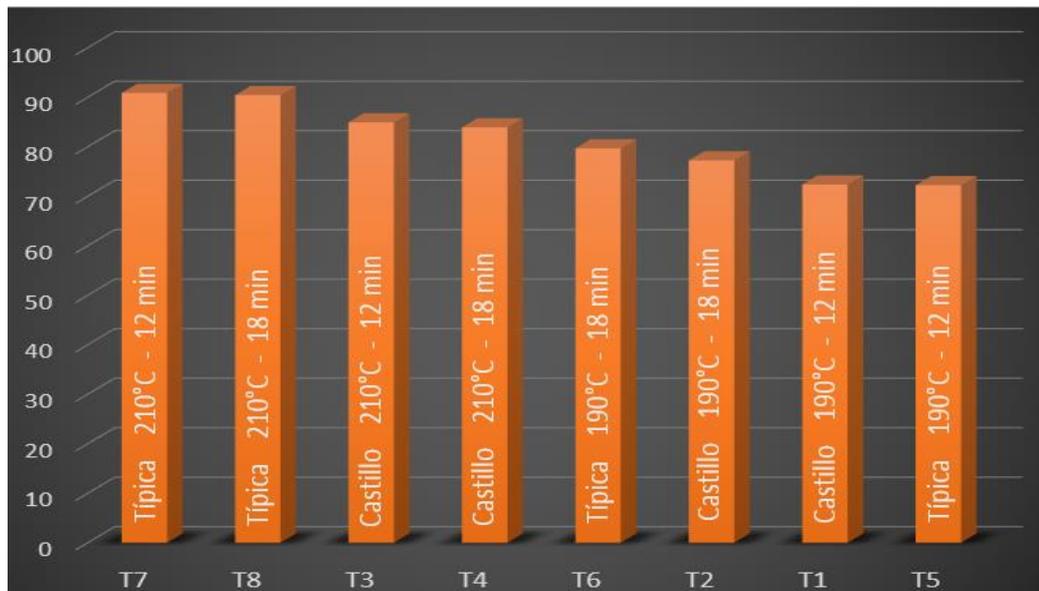


Figura 58. Resultados del proceso de catación del café

La figura 58 presenta los resultados totales obtenidos del proceso de catación que se realizó para cada uno de los tratamientos. En ella se puede apreciar cómo los tratamientos T7 (18 min, 190°C, Típica), T8 (18 min, 210°C, Típica), T3 (12 min, 210°C, Castillo) y T4 (12 min, 210°C, Castillo), fueron los más recomendables para obtener una bebida de calidad que cumpla con los requisitos del consumidor, sin embargo, es importante mencionar que la muestra de 210°C y 12 minutos de la variedad de café Típica resultó la de mejor calidad, es decir, presentó los mejores atributos organolépticos en relación a las demás, determinando con estos datos que los parámetros de 210°C y 12 minutos en sus dos variedades son los más recomendables utilizar en un proceso de tostado.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis fisicoquímico del café verde determina que la variedad de café Castillo presenta un mayor contenido en humedad y tamaño, con una elevada generación de gases internos que hacen al grano menos denso con relación a la variedad Típica, que presenta granos pequeños de densidad mayor y menor contenido de humedad.
- El análisis químico de los granos de café verde determina que la variedad Castillo presenta contenidos superiores de proteínas, pH, extracto etéreo, azúcares totales y sacarosa. Mientras que la variedad Típica presenta mayores contenidos de cenizas, materia seca o sólidos totales, así como también un mayor contenido de polisacáridos, azúcares reductores, cafeína y acidez, con relación a la variedad Castillo.
- El tiempo tiene mayor efecto durante el proceso de tueste con relación a la temperatura y variedad de café, sobre la disminución de la densidad y del contenido de humedad presentes en el grano de café.
- El grano de café de la variedad Castillo sometido a una temperatura de 210°C por 18 minutos correspondiente al tratamiento 4 se caracterizó por presentar cambios diferentes como la cantidad mínima o casi nula de azúcares reductores y sacarosa, lo que permitió que la generación de ácidos alifáticos no se desarrolle completamente otorgando a la bebida un sabor ácido medio digno de una taza de calidad; por lo contrario en el T8 que presentaba los mismos factores pero con diferente variedad, la generación de ácidos fue mayor presentando un

sabor amargo característico de una exageración de acidez en la bebida.

- La realización del análisis organoléptico en la bebida del café permitió determinar que los tratamientos **T7** (12 min, 210°C, Típica), **T8** (18 min, 210°C, Típica), **T3** (12 min, 210°C, Castillo) y **T4** (18 min, 210°C, Castillo) fueron los de mejor calidad al presentar las mejores puntuaciones en el proceso de catación, concluyendo que los parámetros de 210°C y 12 minutos en sus dos variedades son los más adecuados para realizar un proceso de tostado.
- Basándose en los resultados obtenidos de la presente investigación, se acepta la hipótesis alternativa, ya que el tiempo y temperatura durante el proceso de tostado influyen significativamente sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de los granos de café en las variedades Castillo y Típica, provocando un sinnúmero de cambios generados por acción del calor y tiempo en el tostador.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar futuros estudios sobre la calidad de las variedades de café Castillo y Típica, es importante que se realicen análisis fisicoquímicos y sensoriales con mayor frecuencia en el proceso de beneficiado húmedo, para de esta manera determinar los parámetros adecuados necesarios para obtener una bebida de calidad.
- Es importante realizar una evaluación de las características organolépticas en la bebida del café durante un determinado periodo de tiempo, para analizar el tiempo de vida útil del producto y determinar hasta qué fecha conserva sus propiedades intactas y es recomendable para su consumo.
- Determinar las características fisicoquímicas y sensoriales de los granos de café, mediante un estudio de comparación entre los granos sometidos a un proceso de beneficiado húmedo con los obtenidos de un beneficiado seco, para determinar qué proceso es más recomendable aplicar en una zona de producción.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acidez - sabor básico caracterizado por la solución de un ácido orgánico. Sabor deseable agudo y agradable particularmente fuerte dependiendo del origen del café contrario al sabor agrio, rancio o amargo de cafés sobre fermentados. Sabor fuerte que da vida al café y que no está relacionado directamente con su sabor amargo o el pH de la bebida.

Amargo - sabor primario caracterizado por la solución de cafeína, quinina y ciertos alcaloides. Este sabor es considerado deseable hasta cierto nivel y es afectado por el grado de tueste del grano.

Aroma - olor percibido por la nariz. En el café se refiere a los componentes volátiles liberados de la bebida o infusión. Se refiere al olor en la taza. Cuando las partículas molidas entran en contacto con el agua los componentes grasos se evaporan causando la sensación aromática en el olfato. Se relaciona con la frescura y la personalidad del mismo.

Aromatización - proceso de adicionar al café soluble muchos de los compuestos aromáticos perdidos en el proceso de secado antes de la conversión a forma soluble.

Barista - persona que compone bebidas de café como medio de vida o sustento.

Beneficiado (beneficio) - técnicamente consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. Es una transformación primaria del grano.

Beneficiado vía húmeda - se realiza mediante la utilización de agua. Comprende el despulpado, desmucilaginado o la fermentación, el lavado y el secado. Por esta vía se obtienen los llamados cafés lavados, finos o suaves.

Beneficiado vía seca - este método no utiliza agua en el procesamiento del grano. Contempla el secado directo de los frutos verdes y maduros y posteriormente el pilado. Por esta vía se obtiene el café natural de inferior calidad que el obtenido por vía húmeda.

Café - bebida que se hace por infusión con la semilla tostada y molida del cafeto.

Café amargo - bebida de café sin azúcar u otro endulzador.

Café cereza - similar a café uva (ver café uva)

Café descafeinado - aquel al que se ha reducido el contenido de cafeína en una proporción entre 97-98%.

Café espresso - infusión de café preparada en una máquina a presión. La palabra "espresso" significa extraído y no rápido como muchos piensan.

Café instantáneo - polvo o gránulos de café que pueden ser reconstruidos adicionando simplemente agua caliente, y es obtenido industrialmente atomizando o liofilizando el café preparado para removerle el agua.

Café oro - café pilado listo para ser tostado. También se conoce por café base pilado o café verde.

Café pergamino - café seco del procesado por la vía húmeda que no ha sido pilado. Café seco con el endocarpio o cascarilla.

Café pilado - café seco al que se le ha eliminado el pergamino o cascarilla.

Cafeína - alcaloide cristalino de color blanco que ocurre naturalmente en las semillas del café y que estimula el sistema nervioso central y el corazón. Actúa como diurético.

Cafetalero(a) - persona u entidad que posee o cultiva cafetales.

Cafetería - despacho de café y otras bebidas, donde a veces se sirven aperitivos y comidas. Restaurante modesto.

Cafeto - árbol o arbusto de la familia Rubiaceae, originario de Etiopía, África, de cuatro a seis metros de altura, con hojas opuestas, lanceoladas, persistentes y de un hermoso color verde, flores blancas y olorosas, parecidas a las del jazmín, y fruto en drupa roja, cuya semilla es el café.

Cafetal - área o lugar plantado de cafetos.

Caficultura - actividad agrícola cuyo objetivo es el cultivo y la producción de café.

Calidad - clasificación de los cafés de acuerdo a la altitud, variedad botánica, tipo de beneficiado, densidad, tamaño del grano, calidad de taza, color, imperfecciones del grano y la presencia de materia extraña. Cada país establece sus propios estándares de clasificación de la calidad.

Catación - consiste en un análisis riguroso de la apariencia, olor y sabor del café.

Clasificación - proceso por el cual se separa el café oro en sus distintas calidades. Puede realizarse por densidad, tamaño, forma y color del grano.

Clasificadora - máquina que separa y clasifica el café pilado u oro según su calidad.

Cosecha - práctica cultural que consiste en la recolección de los frutos del cafeto. Recogida del café.

Desmucilaginado - desprendimiento del mucílago o baba del grano de café despulpado.

Desmucilagador(a) - máquina o aparato mecánico para desprender el mucílago del café despulpado. Generalmente realizan el lavado en la misma operación.

Despulpado - eliminación o remoción de la pulpa o cáscara (epicarpio) del café uva maduro.

Despulpador(a) - máquina utilizada para remover y separar la pulpa al café uva maduro. Las hay de dos tipos: de rollo (cilindro) y de disco.

Endocarpio - (pergamino, cascarilla) - cubierta corácea de color crema a marrón que envuelve la semilla.

Endospermo - la semilla propiamente constituida. Le llaman almendra, albumen, germen, etc.

Enfriadora - máquina utilizada para enfriar el café inmediatamente después de tostado. Generalmente se utiliza una corriente de aire de alta presión para este proceso.

Enfriamiento - proceso al que se somete el café inmediatamente luego de tostarse el grano. Puede hacerse con aire o agua.

Fermentación - proceso enzimático, microbiano y químico natural al que se somete el café luego de despulpado para que se digiera el mucílago y luego ser lavado.

Fragancia - se refiere al olor que el café expelle al momento de moler el grano.

Grano negro - es un defecto del café que ocurre entre otras causas por la recolección de granos fisiológicamente inmaduros, sequías durante el desarrollo acelerado del fruto, deficiencias nutricionales y ataques de insectos o enfermedades.

Infusión - un método de preparar el café en el que la harina se remoja con agua por un periodo de tiempo predeterminado.

Lavado - remoción y eliminación de las aguas mieles producto del desmucilaginado del grano de café.

Método de taza - procedimiento por el cual tazas de café individuales se preparan conforme a una guía establecida para evaluar su aroma, sabor y otras características de una muestra de café.

Mezcla - combinación de cafés para obtener el nivel de precios o sabor deseado o para mantener la consistencia en el sabor. Mezclar tiene la intención de uniformar el control de la calidad mientras trata de controlar los precios máximos y expandir la disponibilidad de material crudo (materia prima).

Molienda - el proceso de romper físicamente el grano de café tostado en pequeñas partículas (harina) para facilitar la extracción de los componentes del sabor durante el colado. Término general empleado que significa disminuir el tamaño por medio de cortes, raspaduras, trituración, desgarrar, frotación, rotura, pulido o cualquier otro proceso que pueda ocasionar reducción del tamaño de las partículas.

Pilado - eliminación o remoción mecánica del pergamino (cascarilla) del grano de café seco procesado por la vía húmeda.

Pilador(a) - máquina utilizada para remover el pergamino y generalmente pulir el grano eliminando la película plateada del café seco.

Podar - cortar o quitar las ramas superfluas, enfermas, desgarradas o rotas de los árboles o arbustos de café para que fructifiquen con más vigor.

Sabor - sensación que ciertos cuerpos producen en el órgano del gusto. Saco de café - medida usada en el comercio del café que equivale a 60 kilogramos de café seco.

Secado - proceso para la eliminación del agua superficial e interna del grano de café lavado hasta alrededor del 12% en la base húmeda.

Taza de café - varía de 6 a 8 onzas de la bebida de café

Torrefacción - la torrefacción es la operación en la cual son formados, bajo la acción del calor, los principios aromáticos que no existen previamente, en su mayoría, en la semilla del café. Consiste en calentar los granos a una temperatura que provoque modificaciones químicas, físicas y físico-químicas que hace que de éstos se pueda obtener una infusión cuyas cualidades sean satisfactorias.

Tostadora - máquina utilizada para tostar el café pilado y formar los componentes aromáticos del grano de café.

BIBLIOGRAFÍA

- AgroEnfoque. (2016). Innovación En La Industria De Café Calidad Y Tiempo De Vida Útil Del Café Tostado Tipo Premium (Coffea Arabica).
- AH REUM CHO, K. W. (2013). Influence Of Roasting Conditions On The Antioxidant Characteristics Of Colombian Coffee (Coffea Arabica L.) Beans. *Journal of Food Biochemistry*.
- ANACAFÉ. (2013). Variedades de café. *Asociación Nacional del Café*. Obtenido de https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_de_cafe
- Arenas, A. P. (2016). Analysis Desorption Isotherms Of Roasting During Green Coffee .
- Batista, L. R., & Chalfoun, S. M. (2015). Quality of Coffee Beans. En L. Batista, & S. Chalfoun, *Quality of Coffee Beans* (págs. 477-503).
- Botanical. (2017). *Propiedades del café*. Obtenido de Botanical online: <https://www.botanical-online.com/propiedadescafe.htm>
- CAFECO. (2010). Defectos de café verde. *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*.
- Cavaco, N., Antóanto , E., Cochicho, J., Bartolomeu, N., & Cebola , F. (2011). Identification of nutritional descriptors of roasting intensity in beverages of Arabica and Robusta coffee beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 865-871.
- CEPICAFE. (2014). Hacia la recuperación del café Canchaque. *Central Piurana de Cafetaleros*.
- COFENAC. (2013). *Situacion del Sector Cafetalero Ecuatoriano* . Portoviejo.
- Deborah Waters, A. M. (2015). Biochemistry, Germination and Microflora Associated with Coffea arabica and Coffea canephora Green Coffee Beans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Duicela , L., Guamán, J., & Farfán, D. (2015). *Poscosecha y Calidad del Café*. Guayaquil.

- Educafés. (2016). La importancia de la granulometría del café molido. *Educación Cafetera especializada*.
- FENACA. (2012). *Café de Colombia*. Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/
- Infocafes. (2012). Calidad del café. 21 - 27.
- Inglés, M. M. (2013). *Ecós del café*. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/mmonroig/>
- MAPAMA. (2014). El mundo del café. *Ministerio de agricultura alimentación y medio ambiente*. Obtenido de http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/H108850_tcm7-368262.pdf
- Paula Cristina Cuéllar Soares, J. J. (2001). Relación entre la densidad aparente del café tostado y molido por compactación y caída libre y algunas propiedades del extracto del café. *Centro nacional de Investigaciones de café, 2*.
- PROECUADOR. (2014). *Café*. Obtenido de Instituto de promoción de exportaciones e inversiones: <http://www.proecuador.gob.ec/sectores/cafe/>
- Rivera W, V. X. (2013). TGA and FTIR Evaluation of Composition Changes Produced by Roasting of Coffee Beans.
- Saba, G. M. (2015). Origen, Historia y Comercio del café. *International Coffee Organization*. Obtenido de http://www.centrodesaluddeaguimes.com/index_htm_files/Historia%20y%20Origen%20del%20Cafe.pdf
- Santacruz, P. A. (2014). *Efectos De La Altitud Sobre La Calidad Del Café Torrefactado (Coffea Arábica L. Var. Colombia) Producido En Los Municipios De Buesaco Y La Union – Nariño, Pertenecientes Al Ecotopo E – 220 A*. Obtenido de <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/2598/1/1085260903.pdf>

- Siboney. (2013). *Varietal Castillo*. Obtenido de <http://www.cafesiboney.com/varietales/detalle/id=0x7db43d9bd97841f1a01aec5c50ead359>
- Alfaro, V. R. P. (2016). Estimación del tiempo de vida útil del café tostado tipo premium (*Coffea arabica*) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas.
- Anchundia, José Luis; Armendáriz, D. C. (2014). Estudio de la cadena productiva de café de altura en la Parroquia La Carolina, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura.
- Ardila, L. G. C. (2009). El café tostado y olido: Caracterización de la Industria torrefactora nacional, (june).
- Azuero, E. M. C. T. and R. M. J. (2012). Análisis Sectorial del Café en la Zona 7 del Ecuador ”, 46–49.
- CENICAFÉ. (2012). VARIEDAD CASTILLO Preguntas frecuentes. *Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café*, 2–10.
- Clifford. (2013). The composition of green and roasted coffee beans.
- Córdoba Castro, N. M., & Guerrero Fajardo, J. esteban. (2016). CHARACTERIZATION OF THE TRADITIONAL COFFEE FERMENTATION PROCESSES IN NARIÑO. *Biotechnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 4–7. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)75-83](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)75-83)
- Cortijo, J. D. (2003). El mundo del café, 10–14.
- Cumbicus, kelly M. R. (2016). Fortalecimiento de la cadena productiva y de valor del café en el cantón Puyango, provincia de Loja.
- Dirk Selmar, Maik Kleinwachter Bytof, A. G. (2011). Metabolic Responses of Coffee Beans during Processing and Their Impact on Coffee Flavor*, 5–11.
- Duarte, Y. A. P. (2012). Caracterización física de café semitostado.

- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*, 7–23.
- Foy, R. La. (2017). Coffee Flavor Peaks with Freshly Roasted Beans. *The Yummy Food Guide*, 1–3.
- Gaete, R. G. (2013). La cafeína, 4–12.
- Galindo Veliz, X. R. (2011). Producción e Industrialización de Café Soluble Caso: Solubles Instantáneos, 55–58.
- Garay, D. A. (2014). Estandarización de la tostión de café tipo pasilla de máquinas a través de cromatografía líquida de alta eficiencia en la procesadora de café Cafetal del Rio, 30–33. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2698/1/80896673.pdf>
- Górriz, L. A. (2016). Efecto del aumento de la humedad en las características físico-químicas y sensoriales del café arábica.
- Heredia, R. M. Q. (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.
- Hinojosa, L. Y. O. (2012). Evaluación Agronómica Y Productiva Del Cultivo De Café bajo tres sistemas agroforestales más la aplicación de un fertilizante foliar orgánico, en el Cantón Echeandía, Provincia Bolívar.
- INEN 0283. (2001). Café terminología. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 277, 4–5.
- INEN 0290. (2003). Café en grano. Determinación del tamaño. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 277, 4–5.
- INEN 1123. (2014). Café tostado en grano o molido. Requisitos. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2–3. Retrieved from www.inen.gob.ec
- INEN ISO 6669, N. (2013). Café verde y café tostado. Determinación de la densidad aparente (a granel) de los granos enteros por el método de caída libre. Prueba de rutina (idt). *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1995.
- Infocafés. (2015). Cultivo de Café. *MISTI Fertilizantes*, 1–18.

- Instituto Hondureño del café. (2004). Requisitos de calidad del café para su comercialización nacional e internacional, 1–17.
- J. Sánchez-Ramírez, I. Anaya-Sosa, Vizcarra-Mendoza, M. G., Gutiérrez-López, G., & Santiago-Pineda. (2007). Hydrodynamics study of coffee beans (*Coffea arabica* L) roasted in fluidized bed. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6–8.
- Jácome, N. L. R. (2012). Investigación, análisis y propuesta gastronómica del café de la parroquia Apuela.
- Janzen, O. (2010). Chemistry of Coffee. *Cafea*, 10–12.
- Jiménez Ariza, H. T. (2011). Un buen café: Una simbiosis de color y sabor.
- Juan Pablo Cárdenas Díaz, J. D. P. P. (2014). Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café La Primavera. *Programa de Ingeniería Industrial*.
- Juan R. Sanz-Uribe, Yusianto, Sunalini N. Menon, cañuela Aida Pen~, Carlos Oliveros, Jwanro Husson, Carlos Brando, A. R. (2011). *Procesamiento portcosecha revelando al grano verde de café*.
- Julián Londoño, M. N. and M. Q. (2013). Study of the antioxidant activity changes of coffee beverages during its shelf life using In-vitro and Ex-vitro methods. *Química Farmacéutica*, 95–104.
- Lina María Rincón Sotelo, L. M. C. P. (2010). Desarrollo de un prototipo de laboratorio para el control de calidad de la variable grado de tuestión del café tostado molido, empleando visión artificial.
- Magem, J. B. (2016). Tecnologías Apropriadas para la Caficultura. Secadores solares. *Tecnología Para El Desarrollo Humano*, 5–6.
- Maik Kleinwächter, Gerhard Bytof, D. S. (2015). Coffee beans and processing. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 1–27.
- Meenakshi Arya, L. J. M. R. (2013). An Impression of Coffee Carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (April), 2–11.

<https://doi.org/10.1080/10408390600550315>

- Mora, R. A. (2017). Estudio del proceso de torrefacción del café (*Coffea arabica*) en tostador convencional. *Escuela de Ingeniería de Biosistemas*, 27–40.
- NMX-F-551. (1996). Alimentos para humanos café verde. especificaciones y métodos de prueba. *Norma Mexicana*.
- Oliveros, C., & Sanz, J. (2011). Engineering and Coffee in Colombia. *Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ*, 9–14.
- Omozoje Ohiokpehai. (2012). Chlorogenic acid content of green coffee beans. *Faculty of Biological and Chemical Sciences*.
- Ooi Ee Shan, W. Z. and T. A. Y. (2016). Impact of Different Temperature-Time Profiles during Superheated Steam Roasting on Some Physical Changes of Robusta Coffee. *Tropical Agricultural Science*, (May).
- Patiño Velasco, M. M., Pencue Fierro, E. L., & Vargas Cañas, R. (2016). Determination of moisture content in dry coffee beans by means of dynamic speckle. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 2–4. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)84-91](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)84-91)
- PRO ECUADOR. (2012). Perfil de café en España. *Inteligencia Comercial E Inversiones*.
- Pulgarín, J. arcila. (2013). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Sistemas de Producción de Café En Colombia*.
- Quintero, G. I. P. (2011). Composición química de una taza de café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café*, (414), 2–11. Retrieved from http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/publicaciones_avt0414composicion_quimica_de_una_taza_de_cafe
- R, J. S., S, I. A., L, G. F. G., M, M. V., & Teodoro Santiago. (2015). Estudio hidrodinámico del tostado de café (*Coffea arábica* L) en un reactor de lecho fluidizado, 1(3), 1.
- Riaño Luna, C. E. (2012). Tecnología Del Café, 88–91.

- Rojo, E. (2014). Café I (G . Coffea). *Reduca (Biología). Serie Botánica.*, 7(2), 4–6.
- Rosero, P. Y. G., Sánchez, S. A. M., & Iván Enrique Paz Narváez. (2015). Caracterización física de café especial (Coffea Arabica) en el municipio de Chachagüí (Nariño , Colombia). *Revista Lasallista de Investigación*, 12, 90–98.
- Rovira, J. (2014). La acidez en el café.
- Sánchez, M. J. C. (2012). Estudio de la estabilidad del extracto de café arábigo del Ecuador, para la empresa café Vélez, *1*, 35–43.
- Santacruz, P. A. D. (2014). Efectos de la altitud sobre la calidad del café torrefactado (Coffea arábica L. Var. Colombia) producido en los municipios de Buesaco y la Unión - Nariño, perteneciente al ecotopo E - 220 A, 1–164.
- SCAN. (2015). Evaluación sensorial del café. *Sustainable Commodity Assistance Network*.
- Shan, O. E., Zzaman, W., & Yang, T. A. (2016). Impact of different temperature-time profiles during superheated steam roasting on some physical changes of Robusta coffee. *Journal of Tropical Agricultural Science*, 39(3), 3–5.
Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85002625819&partnerID=40&md5=e85ad92f50c254e34b6817668cd4cc0c>
- Solá, A. (2013). Tostado y molido del Café.
- Temis Pérez, A. L., López Malo Vigil, A., & Sosa Morales, M. E. (2011). Producción de café (Coffea arabica L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*.
- Tsai, W., & Liu, S. (2013). Effect of temperature on thermochemical property and true density of torrefied coffee residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 102, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.04.003>
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Organic Compounds in Green Coffee Beans. *Fermented Foods and Beverages Series*, 149–172.