



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO,
TEMPERATURA Y VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA *Coffea*
Arábica CATURRA AMARILLO Y SL-28 EN EL PROCESO DE
TOSTADO

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL

Autora: KARINA MARIANELA ANDRADE GÓMEZ

Director: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc.

Ibarra, Septiembre 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TIEMPO, TEMPERATURA Y
VARIEDAD DE CAFÉ ARÁBICA *Coffea Arábica* CATURRA AMARILLO
Y SL-28 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:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Luis Manosalvas, MSc

DIRECTOR DE TESIS

FIRMA

Ing. Juan Carlos De La Vega, MEg

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Nicolás Pinto, MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Eduardo Villarreal, MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

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	100342000-5
APELLIDOS Y NOMBRES	Andrade Gómez Karina Marianela
DIRECCIÓN	Cotacachi, Barrio El Ejido, calle Manuel Larrea y Lucila Maya
EMAIL	kary_mag17@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL	0982540264

DATOS DE LA AUTORA

TÍTULO	Evaluación de los parámetros tiempo, temperatura y variedad de Café Arábica <i>Coffea arábica</i> caturra amarillo y SL-28 en el proceso de tostado.
AUTOR	Andrade Gómez Karina Marianela
FECHA	2018-09-20
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> Pregrado <input type="checkbox"/> Posgrado
TÍTULO POR EL QUE SE OPTA	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR	Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

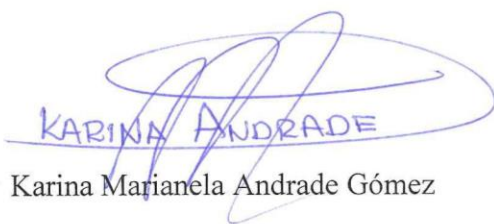
Yo, Karina Marianela Andrade Gómez, con cédula de identidad número 100342000-5, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 20 días del mes de Septiembre del 2018

Autora:


KARINA ANDRADE

Karina Marianela Andrade Gómez

CI. 100342000-5

DECLARACIÓN

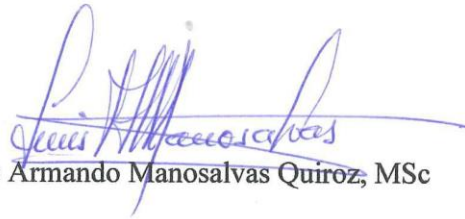
Manifiesto que la presente obra es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy la titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte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

Ibarra, a los 20 días del mes de Septiembre de 2018


KARINA ANDRADE
Karina Marijanela Andrade Gómez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karina Marianela Andrade Gómez, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Armando Manosalvas Quiroz', is written over a horizontal line.

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, Karina Marianela Andrade Gómez, con cédula de identidad Nro. 1003420005, 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* Caturra Amarillo y SL-28 en el proceso de tostado**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Agroindustrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad, facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora, 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 20 días del mes de Septiembre de 2018


KARINA ANDRADE
Karina Marianela Andrade Gómez

AGRADECIMIENTO

Gracias infinitas al creador del universo, mi Padre Celestial, aquel que me conocía antes de que me formase en el vientre de mi madre, aquel que me ha dado la vida, aquel que me ha llenado de su amor infinito, aquel que me ha cuidado, protegido y guiado, a Dios que me ha dado la fuerza para continuar en este largo y difícil camino, mi agradecimiento a él mi fiel amigo, porque todo lo que tengo y lo que soy se lo debo a Él.

A mi padre, hermanos, abuelitos, tíos, primos infinitas gracias por ser mi familia, mi mayor tesoro y bendición de Dios, porque con su amor, comprensión, paciencia y bondad han creído en mí.

A mis amigos y amigas que con sus palabras de aliento me proporcionaron ánimo para lograr mi objetivo.

Karina Andrade

DEDICATORIA

Este trabajo dedico primeramente a Dios quien me ha regalado la vida.

*A mi Padre Oscar Andrade que con su esfuerzo, apoyo y ánimo hizo posible culminar esta
lucha.*

*A mis hermanos, abuelitos, tíos y primos quienes con su amor, paciencia, oraciones, consejos y
sabias palabras, siempre estuvieron para mí, en las buenas y en las malas.*

*A mis amigos y amigas que de una u otra manera supieron alentarme para cumplir mis metas
propuestas.*

Todos mis logros para ustedes siempre.

Karina Andrade

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vi
ÍNDICE DE IMÁGENES	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	ix
SUMMARY	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 HIPÓTESIS	4
1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	4
1.4.2 HIPÓTESIS NULA.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 CAFÉ	5
2.2 TAXONOMÍA DEL CAFÉ	6
2.3 BOTÁNICA	6
2.4 ORIGEN	7

2.5	PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN ECUADOR.....	8
2.6	CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CAFÉ. ...	9
2.7	FACTORES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL CAFÉ.....	10
2.7.1	GENÉTICO	10
2.7.2	ECOLÓGICO.....	10
2.7.3	MANEJO DE CULTIVO.....	10
2.8	ESPECIES COMERCIALES DE CAFÉ	11
2.8.1	CAFÉ ARÁBICA.....	11
2.9	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CAFÉ VERDE	13
2.9.1	TAMAÑO	13
2.9.2	HUMEDAD	13
2.9.3	DENSIDAD	14
2.10	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ VERDE	14
2.10.1	CARBOHIDRATOS.....	15
2.10.2	LÍPIDOS.....	16
2.10.3	PROTEÍNAS	16
2.10.4	ALCALOIDES.....	17
2.10.5	ÁCIDOS CLOROGÉNICOS	17
2.10.6	ÁCIDOS ALIFÁTICOS.....	18
2.10.7	CENIZAS	18
2.10.8	ACIDEZ Y PH.....	18
2.11	CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ VERDE	19
2.11.1	COLOR.....	19
2.11.2	OLOR.....	20
2.12	COSECHA.....	20

2.12.1	ETAPAS DE MADURACIÓN	20
2.12.2	ESTADOS DE MADURACIÓN	21
2.13	CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ COSECHADO	22
2.14	BOYADO.....	22
2.15	DESPULPADO O DESCEREZADO	22
2.16	FERMENTACIÓN	22
2.17	MÉTODOS DE BENEFICIO	23
2.17.1	BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA.....	23
2.18	SECADO	24
2.19	PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ	24
2.19.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO.....	25
2.19.2	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE TOSTADO	26
2.19.3	INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE TOSTADO	26
2.20	INDUSTRIALIZACIÓN DEL GRANO DE CAFÉ VERDE	26
2.20.1	DESCASCARILLADO	26
2.20.2	TOSTADO	27
2.20.3	MOLIENDA DE CAFÉ TOSTADO	28
2.21	CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE EL PROCESO DE TOSTADO	28
2.21.1	CAMBIOS FÍSICOS.....	29
2.21.2	CAMBIOS QUÍMICOS.....	30
2.22	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL CAFÉ TOSTADO	32
2.22.1	DENSIDAD	32
2.22.2	HUMEDAD	32

2.22.3	TAMAÑO	32
2.23	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ TOSTADO	33
2.23.1	CARBOHIDRATOS.....	33
2.23.2	LÍPIDOS.....	33
2.23.3	PROTEÍNAS	34
2.23.4	ALCALOIDES	34
2.23.5	ÁCIDOS CLOROGÉNICOS	34
2.23.6	MINERALES	35
2.23.7	ACIDEZ Y PH	35
2.24	CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ TOSTADO	35
2.24.1	COLOR	35
2.24.2	OLOR.....	36
2.25	ANÁLISIS SENSORIAL DE LA BEBIDA DE CAFÉ	36
2.25.1	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS.....	37
CAPITULO III		40
MATERIALES Y MÉTODOS		40
3.1	LOCALIZACIÓN	40
3.1.1	LOCALIZACIÓN MATERIA PRIMA	40
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS	41
3.2.1	MATERIA PRIMA.....	41
3.2.2	MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.....	41
3.3	METODOLOGÍA.....	43
3.3.1	FACTORES EN ESTUDIO	43
3.3.2	TRATAMIENTOS EN ESTUDIO	43
3.3.3	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO	44

3.3.4	UNIDAD EXPERIMENTAL	44
3.3.5	ANÁLISIS DE VARIANZA	44
3.3.6	ANÁLISIS FUNCIONAL.....	44
3.4	VARIABLES EVALUADAS	45
3.5	MÉTODOS DE ANÁLISIS	46
3.5.2	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES EN EL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	52
3.6	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	55
3.6.1	RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	55
3.6.2	DETERMINACIÓN DE TAMAÑO.....	55
3.6.3	PESAJE	55
3.6.4	TOSTADO	56
3.6.5	ENFRIADO	57
3.6.6	PESADO	57
3.6.7	MOLIDO	58
3.6.8	EMPACADO	58
3.7	PROCESAMIENTO DE CAFÉ.....	59
CAPITULO IV		60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		60
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (CAFÉ VERDE). 60	
4.1.1	PROPIEDADES FÍSICAS	60
4.1.2	PROPIEDADES QUÍMICAS	62
4.1.3	PROPIEDADES SENSORIALES	64
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO	65

4.2.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	65
4.2.2	CARACTERÍSTICAS SENSORIALES.....	75
4.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN EL GRANO DE CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	76
4.3.1	TAMAÑO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	76
4.3.2	DENSIDAD CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	76
4.3.3	HUMEDAD CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	82
4.4	DETERMINACIÓN DE VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS DE CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	86
4.4.1	CENIZAS Y MINERALES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	87
4.4.2	POTENCIAL DE HIDRÓGENO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	92
4.4.3	ACIDEZ CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	96
4.4.4	PROTEÍNA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	101
4.4.5	LÍPIDOS CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	105
4.4.6	SÓLIDOS TOTALES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	109
4.4.7	AZÚCARES REDUCTORES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO ...	114
4.4.8	POLISACÁRIDOS CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	116
4.4.9	SACAROSA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	120
4.4.10	CAFEÍNA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	125
4.5	EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA BEBIDA DE CAFÉ.....	128
CAPÍTULO V		132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		132
5.1	CONCLUSIONES.....	132
5.2	RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA.....		134

GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	141
ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Café.	6
Tabla 2. Producción de Café Arábica.....	8
Tabla 3. Superficie Cafetalera del Ecuador.....	9
Tabla 4. Composición Química del Café Verde	15
Tabla 5. Relación entre Métodos de Beneficio y Tipos de Café.....	23
Tabla 6. Cambios Físicos que ocurren en el café a distinta Temperatura durante el tostado	30
Tabla 7. Cambios Químicos que ocurren en el grano de café durante el Tostado	31
Tabla 8. Composición Química de Café Tostado	33
Tabla 9. Composición Química de la Bebida de Café	37
Tabla 10. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café.....	39
Tabla 11. Ubicación y datos meteorológicos del lugar de experimento	40
Tabla 12. Descripción de Factores en estudio del Tostado de Café Arábica.	43
Tabla 13. Esquema del Análisis de Varianza	44
Tabla 14. Variables Físicas, Químicas y Sensoriales evaluadas.	45
Tabla 15. Clasificación del grano de café según su tamaño.....	47
Tabla 16. Escala de Calidad	54
Tabla 17. Propiedades Físicas del Café Verde en las variedades de Café Arábica	60
Tabla 18. Composición Química del Café Verde en las variedades de Café Arábica	62
Tabla 19. Propiedades Sensoriales del Café Verde en las variedades de Café Arábica	65
Tabla 20. Crecimiento del grano de café.....	66

Tabla 21. Datos experimentales de Densidad Aparente (kg/m^3) de Café Tostado	67
Tabla 22. Análisis de varianza de la Densidad Aparente Café Tostado	68
Tabla 23. Prueba de Tukey para Densidad Aparente de Café Tostado	69
Tabla 24. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor A	69
Tabla 25. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor B	70
Tabla 26. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor C	70
Tabla 27. Datos experimentales de Humedad (%) de Café Tostado	72
Tabla 28. Análisis de varianza de la Humedad de Café Tostado	74
Tabla 29. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado Factor A	74
Tabla 30. Color y Olor de Café Tostado	75
Tabla 31. Datos experimentales de Densidad (kg/m^3) de Café tostado y Molido	77
Tabla 32. Análisis de varianza de la Densidad de Café Tostado y Molido	78
Tabla 33. Prueba de Tukey para Densidad de Café Tostado y Molido	78
Tabla 34. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido Factor A	79
Tabla 35. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido Factor B	79
Tabla 36. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido Factor C	79
Tabla 37. Datos experimentales de Humedad (%) de Café Tostado y Molido	82
Tabla 38. Análisis de varianza de Humedad de Café Tostado y Molido	83

Tabla 39. Prueba de Tukey para Humedad de Café Tostado y Molido	83
Tabla 40. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado y Molido Factor A.....	84
Tabla 41. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado y Molido Factor B	84
Tabla 42. Datos experimentales de Cenizas (%) de Café Tostado y Molido.....	87
Tabla 43. Análisis de varianza de Cenizas de Café Tostado y Molido	88
Tabla 44. Prueba de Tukey para Cenizas de Café Tostado y Molido	88
Tabla 45. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor A.....	89
Tabla 46. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor B.....	89
Tabla 47. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor C.....	89
Tabla 48. Datos experimentales de Minerales de Café Tostado y Molido	92
Tabla 49. Datos experimentales de Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido	92
Tabla 50. Análisis de varianza de Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido	94
Tabla 51. Prueba de Tukey para Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido.....	94
Tabla 52. Diferencia Mínima Significativa de pH de Café Tostado y Molido Factor B.....	95
Tabla 53. Datos experimentales de Acidez (%) de Café Tostado y Molido	97
Tabla 54. Análisis de varianza de Acidez de Café Tostado y Molido	98
Tabla 55. Prueba de Tukey para Acidez de Café Tostado y Molido	98

Tabla 56. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor A.....	99
Tabla 57. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor B.....	99
Tabla 58. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor C.....	99
Tabla 59. Datos experimentales de Proteína (%) de Café Tostado y Molido	102
Tabla 60. Análisis de varianza de Proteína de Café Tostado y Molido	103
Tabla 61. Prueba de Tukey para Proteína de Café Tostado y Molido	103
Tabla 62. Diferencia Mínima Significativa de Proteína de Café Tostado y Molido Factor A.....	104
Tabla 63. Diferencia Mínima Significativa de Proteína de Café Tostado y Molido Factor B.....	104
Tabla 64. Datos experimentales de Lípidos (%) de Café Tostado y Molido	106
Tabla 65. Análisis de varianza de Lípidos de Café Tostado y Molido	107
Tabla 66. Prueba de Tukey para Lípidos de Café Tostado y Molido.....	107
Tabla 67. Diferencia Mínima Significativa de Lípidos de Café Tostado y Molido Factor A.....	108
Tabla 68. Diferencia Mínima Significativa de Lípidos de Café Tostado y Molido Factor C.....	108
Tabla 69. Datos experimentales de Sólidos Totales (%) de Café Tostado y Molido	110
Tabla 70. Análisis de varianza de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido...	111
Tabla 71. Prueba de Tukey para Sólidos Totales de Café Tostado y Molido	111
Tabla 72. Diferencia Mínima Significativa de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido Factor A.....	112

Tabla 73. Diferencia Mínima Significativa de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido Factor B	112
Tabla 74. Datos experimentales de Azúcares Reductores (%) de Café Tostado y Molido	114
Tabla 75. Análisis de varianza de Azúcares Reductores de Café Tostado y Molido	115
Tabla 76. Prueba de Tukey para Azúcares Reductores de Café Tostado y Molido	115
Tabla 77. Diferencia Mínima Significativa de Azucars Reductores de Café Tostado y Molido Factor C	116
Tabla 78. Datos experimentales de Polisacáridos (%) de Café Tostado y Molido	116
Tabla 79. Análisis de varianza de Polisacáridos de Café Tostado y Molido	117
Tabla 80. Prueba de Tukey para Polisacáridos de Café Tostado y Molido	118
Tabla 81. Diferencia Mínima Significativa de Polisacáridos de Café Tostado y Molido Factor A	119
Tabla 82. Diferencia Mínima Significativa de Polisacáridos de Café Tostado y Molido Factor B	119
Tabla 83. Datos experimentales de Sacarosa (%) de Café Tostado y Molido	120
Tabla 84. Análisis de varianza de Sacarosa de Café Tostado y Molido	121
Tabla 85. Prueba de Tukey para Sacarosa de Café Tostado y Molido.....	121
Tabla 86. Diferencia Mínima Significativa de Sacarosa de Café Tostado y Molido Factor B.....	122
Tabla 87. Diferencia Mínima Significativa de Sacarosa de Café Tostado y Molido Factor C.....	122
Tabla 88. Datos experimentales de Cafeína (%) de Café Tostado y Molido	125
Tabla 89. Análisis de varianza de Cafeína de Café Tostado y Molido	126

Tabla 90. Prueba de Tukey para Cafeína de Café Tostado y Molido	126
Tabla 91. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor A.....	127
Tabla 92. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor B.....	127
Tabla 93. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor C.....	127
Tabla 94. Evaluación de la Taza (Bebida de Café)	129

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tamaño del grano de Café Tostado	66
Gráfico 2. Densidad Aparente de los tratamientos de Café Tostado	67
Gráfico 3. Interacción de los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Densidad Café Tostado.	70
Gráfico 4. Interacción de los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Densidad Café Tostado.	71
Gráfico 5. Interacción de los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Densidad Café Tostado.	72
Gráfico 6. Humedad de los tratamientos de Café Tostado.....	73
Gráfico 7. Densidad de los tratamientos de Café Tostado y Molido	77
Gráfico 8. Interacción de los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Densidad de Café Tostado y Molido.....	80
Gráfico 9. Interacción de los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Densidad de Café Tostado y Molido.....	81
Gráfico 10. Interacción de los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Densidad de Café Tostado y Molido.....	82
Gráfico 11. Humedad de los tratamientos de Café Tostado y Molido	82

Gráfico 12. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Humedad de Café Tostado y Molido	85
Gráfico 13. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Humedad de Café Tostado y Molido	86
Gráfico 14. Cenizas de los tratamientos de Café Tostado y Molido.....	87
Gráfico 15. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para las Cenizas de Café Tostado y Molido	90
Gráfico 16. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para las Cenizas de Café Tostado y Molido	91
Gráfico 17. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para las Cenizas de Café Tostado y Molido	92
Gráfico 18. Potencial de Hidrógeno de los tratamientos de Café Tostado y Molido	93
Gráfico 19. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para pH de Café Tostado y Molido	96
Gráfico 20. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para pH de Café Tostado y Molido.....	96
Gráfico 21. Acidez de los tratamientos de Café Tostado y Molido	97
Gráfico 22. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Acidez de Café Tostado y Molido.....	100
Gráfico 23. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Acidez de Café Tostado y Molido.....	101
Gráfico 24. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Acidez de Café Tostado y Molido.....	101
Gráfico 25. Proteína de los tratamientos de Café Tostado y Molido	102
Gráfico 26. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Proteína de Café Tostado y Molido.....	105

Gráfico 27. Lípidos de los tratamientos de Café Tostado y Molido	106
Gráfico 28. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para Lípidos de Café Tostado y Molido.....	109
Gráfico 29. Sólidos Totales de los tratamientos de Café Tostado y Molido.....	110
Gráfico 30. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Sólidos Totales de Café Tostado y Molido	113
Gráfico 31. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Sólidos Totales de Café Tostado y Molido	113
Gráfico 32. Azúcares Reductores de los tratamientos de Café Tostado y Molido	114
Gráfico 33. Polisacáridos de los tratamientos de Café Tostado y Molido	117
Gráfico 34. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Polisacáridos de Café Tostado y Molido.....	119
Gráfico 35. Sacarosa de los tratamientos de Café Tostado y Molido	120
Gráfico 36. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Sacarosa de Café Tostado y Molido.....	123
Gráfico 37. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para Sacarosa de Café Tostado y Molido.....	124
Gráfico 38. Interacción para los Factores B (Temperatura) y Factor C (Variedad) para Sacarosa de Café Tostado y Molido	124
Gráfico 39. Cafeína de los tratamientos de Café Tostado y Molido	125
Gráfico 40. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Cafeína de Café Tostado y Molido	128
Gráfico 41. Resultados de Evaluación de la Taza	130

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Planta de Café.....	5
-------------------------------	---

Imagen 2. Estructura de un fruto de café.	7
Imagen 3. Variedad SL-28	12
Imagen 4. Escala Pantone para Café Verde	19
Imagen 5. Estados de maduración de la cereza de café como una función de la masa.....	21
Imagen 6. Estados de Maduración	21
Imagen 7. Tipos de Tostado	27
Imagen 8. Escala Agtron	36
Imagen 9. Determinación de Tamaño	55
Imagen 10. Pesado de Materia Prima	56
Imagen 11. Tostado de Café.....	56
Imagen 12. Enfriado de café	57
Imagen 13. Pesado de café tostado.....	57
Imagen 14. Molido de café.....	58
Imagen 15. Empacado de café.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.	146
Anexo B.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Molecular de la Cafeína	17
--	----

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Procesamiento de Café	59
---	----

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo evaluar los parámetros de tiempo, temperatura y variedad de Café Arábica (*Coffea arábica* Caturra Amarillo y SL-28) en el proceso de tostado, en función de estandarizar el mencionado proceso ya que existe un escaso conocimiento en esta área. Las muestras de café de las dos variedades se obtuvieron en la provincia del Carchi en la parroquia Jacinto Jijón y Caamaño. El estudio fue de tipo campo, en el que se determinaron las características fisicoquímicas y sensoriales en los granos verdes de las variedades Caturra Amarillo y SL-28. Posteriormente, se evaluó los efectos de tiempo y temperatura de tostado y variedad de café sobre las características físicas (densidad y humedad) y sensoriales (color y olor) del producto obtenido. Finalmente, se determinó las características fisicoquímicas y sensoriales en el café molido en las variedades Caturra Amarillo y SL-28. Como resultado se encontró que para café verde la variedad Caturra Amarillo superó a la otra variedad en composición química (pH, acidez, proteína, sólidos totales, polisacáridos, sacarosa y minerales Ca, P, Mg, Na), en cuanto al tamaño en ambas variedades el tostado generó un aumento de esta propiedad, adicionalmente disminuyó la humedad y la densidad, además el producto presentó cambios en el color y olor con respecto a la materia prima. Mientras tanto para el café molido, la evaluación de los atributos evaluados (aroma, acidez, cuerpo y sabor), otorgaron como el mejor tratamiento al T6 (18 min/190 °C/ Caturra Amarillo) por su alto contenido de: proteína, lípidos, polisacáridos, azúcares reductores, sacarosa y cafeína, en donde al realizar la evaluación de la taza fue el más puntuado (81,30/100 puntos).

De esta manera se concluye que el tiempo y la temperatura de tostado, influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Caturra Amarillo y SL-28.

Palabras clave: café arábica, tostado, caturra amarillo, sl-28, grano de café.

SUMMARY

The aim of this research was evaluating the parameters of time, temperature and variety of the Arabica Coffee (Arabica Yellow Caturra Coffee and SL-28) in the roasting process due to there is a limited knowledge of the parameters to coffee roasting, for this reason, arise the necessity to establish the criterions in order to standardize this process. The coffee samples of the two varieties were obtained in the urban area of Jacinto Jijón y Caamaño, Carchi Province. The research was implemented in the camp where it determined the physicochemical and sensory characteristics in the green grains of the varieties Yellow Caturra and SL-28. After that, were evaluated the effects of time, temperature and variety of roasted coffee on physical (density and humidity) and sensory characteristics (color and odor). Finally, it determined physicochemical and sensory characteristics of roasted and ground coffee in the varieties Yellow Caturra and SL-28. As a result, to green coffee Yellow Caturra overcame another assortment in chemical composition (pH, acidity, protein, total solids, polysaccharides, sucrose and minerals Ca, P, Mg, Na) and the roasted coffee increased in size. Additionally, there were a decreased of humidity and density and also it showed changes in the raw material specifically in color and odor. In the meantime, to roasted ground coffee the characteristics evaluated (fragrance, acidity, body and flavor) conferred as the best treatment to T6 (18 minutes/190° C/ Yellow Caturra) by its high content of protein, lipids, polysaccharides, reducing sugars, sucrose and caffeine which obtained the highest score (81,30/100 points).

In conclusion, the time and temperature of the roasting process influence in the physicochemical and sensory characteristics of the varieties Arabica Yellow Caturra Coffee and SL-28.

Key words: arabica coffee, roasted, yellow caturra, SL-28, coffee bean.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La provincia del Carchi, está ubicada dentro de las zonas cafetaleras del país, contando con un área de 146 ha de producción de café. El café de ésta provincia en el año 2014 pasó a poseer la categoría de Café Gourmet, ya que se llevó a cabo el concurso de la “Taza Dorada”, en donde los catadores, analizaron la calidad de la bebida mediante una evaluación sensorial, obteniendo puntuaciones altas que oscilan entre 80 a 86 puntos sobre 100, determinando que el café de la zona tiene suficiente potencial como para ser catalogado café *Gourmet*.

En esta zona se encuentra la asociación “Bosque Nublado Golondrinas” que se especializa en la producción y comercialización de café orgánico, y las actividades que realiza son el acopio, clasificación y venta de café en estado pergamino. Los productores han visto la necesidad de sacar al mercado el café tostado y molido, para esto el estudio del presente trabajo buscó estandarizar el proceso de tueste determinando así, tiempos y temperaturas óptimas de tostado para que los productores realicen el proceso completo de industrialización de café, con la finalidad de vender un producto terminado al consumidor, más no como una materia prima.

1.1 PROBLEMA

El café, es la bebida más consumida en el mundo y el Ecuador no es la excepción, en este país se cultivan las dos especies más comerciales de café, tanto la especie arábica como la robusta, donde se estima que el 55,00% de la producción es café arábica. Las provincias productoras de café arábica, en orden de importancia son: Manabí, Loja, Azuay, Cañar, Pichincha, Imbabura y Carchi. Mientras, las provincias de la Amazonía Orellana y Sucumbíos producen café de la variedad robusta.

En la provincia del Carchi, el cultivo de café inició a partir del año 2008, donde la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” dispone un área de cultivo de seis hectáreas, en fase de producción. La materia prima es comercializada en pergamino a intermediarios con precios bajos, debido al escaso conocimiento del proceso y parámetros bajos de tostado, que no permiten agregar valor y obtener mayor rentabilidad a los productores.

La operación de tostado en la industrialización del café, es el proceso 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 comercializar un café de calidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el Ecuador ha logrado ser reconocido a nivel mundial por producir un café con alta calidad y con magníficos sabores, potenciando cada vez más las exportaciones de café. Por esta razón, la elaboración del presente proyecto es una estrategia que la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” se ha propuesto para mejorar la calidad de su café.

Con la investigación a realizarse, la asociación de caficultores “Bosque Nublado Golondrinas” además de identificar la maquinaria adecuada para la realización de un buen tostado de café, estandarizará los parámetros adecuados de tiempo y temperatura de dicho proceso, para obtener un producto de calidad, que permita una mejor comercialización y posicionamiento del producto en el mercado.

Además, en la Agenda de Desarrollo Productivo territorial de la Zona 1 de planificación, el café es la cadena priorizada 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

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros tiempo, temperatura y variedad de Café Arábica *Coffea Arábica* Caturra Amarillo y SL-28 en el proceso de Tostado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas y sensoriales (color y olor) en los granos de café verde en las variedades Caturra Amarillo y SL-28.
- 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 y molido en las variedades Caturra Amarillo y SL-28.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Hi: El tiempo y temperatura del proceso de tostado influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Caturra Amarillo y SL-28.

1.4.2 HIPÓTESIS NULA

Ho: El tiempo y temperatura del proceso de tostado no influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Caturra Amarillo y SL-28.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CAFÉ

La bebida de café en muchos lugares del mundo es la más consumida y popular debido a sus propiedades refrescantes y estimulantes; además, tiene una destacada importancia económica a nivel mundial (Rojo, 2014; Meenakshi & Jagan , 2007). Por otra parte, el cafeto es un arbusto tropical, que crece en zonas de 600 a 1.200 m.s.n.m. de altitud; comprende dos especies Arábica y Robusta, de donde se derivan diferentes variedades. El fruto es dicotiledóneo, carnoso, rojo o púrpura y la semilla es de color verde (Gotteland & Saturnino, 2007). En la Imagen 1, se observa la planta de café de la especie Arábica.



Imagen 1. Planta de Café
(Ortega , 2015)

2.2 TAXONOMÍA DEL CAFÉ

El café pertenece al género *Coffea* y a la familia rubiácea, en la Tabla 1 se observa la taxonomía de la planta de café.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Café.

Reino:	Vegetal
Subreino:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiácea
Género:	<i>Coffea</i>
Especies:	<i>Coffea Arábica L</i> <i>Coffea Canephora Pierre ex froehner</i>

(Pozo, 2015)

2.3 BOTÁNICA

Entre las características botánicas el café según Durán (2011), está la presencia de raíz central pivotante, tronco recto y liso, hojas verdes, perennes y con color brillante. La flor es de color blanco y el fruto de color rojo que contiene dos semillas en su interior, este último está formado por: piel, pulpa, pergamino, mucílago, película plateada, grano o semilla y embrión. A continuación se detalla cada componente del fruto de café de acuerdo a la Norma NTE INEN 0283:2001 y en la Imagen 2 se aprecia el fruto con sus respectivas partes.

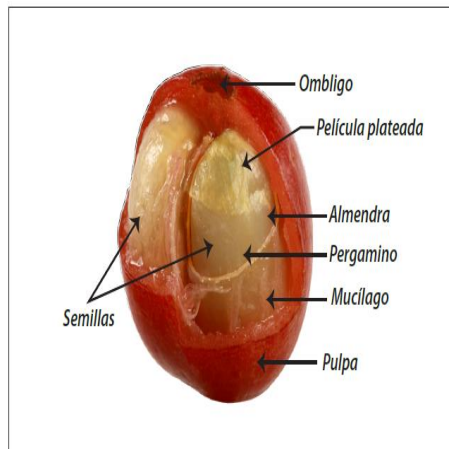


Imagen 2. Estructura de un fruto de café.

(Ramos , Sanz & Oliveros, 2010)

La pulpa es la parte del café cereza que se ha eliminado mediante el despulpado y está compuesta por el exocarpio y la mayor parte del mesocarpio. El pergamino considerado como el endocarpio del fruto del café. El mucílago es la parte del mesocarpio que, después del proceso de fermentación, se elimina mediante la operación de lavado. La película plateada representa el grano con envoltura seca, generalmente con un color plateado o cobrizo. La semilla de café corresponde al óvulo de la flor fecundado y maduro.

El ciclo de vida del cafeto según Pulgarín (2008), es de 20 hasta los 25 años, cabe recalcar que depende de las condiciones del sistema de cultivo utilizado. La planta al cumplir un año de edad, inicia a producir frutos, entre los seis a ocho años de edad alcanza su máxima productividad, a medida que los años avanzan el nivel de productividad de la planta disminuye.

2.4 ORIGEN

Etiopia es el país de origen de la especie de café arábica, donde los peregrinos musulmanes que viajaban a la Meca, probablemente fueron los que llevaron las plantas a la India y Arabia (Vega, Reyes, De León, Bonilla, & Franco ,2014). Por otra parte, Durán (2011), señala que en 1560 inició el consumo en Europa. Finalmente, en

el siglo XVIII empezó su cultivo en Centro y Sudamérica, donde Brasil y Colombia son los mayores productores.

2.5 PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN ECUADOR

Del total de la caficultura en Ecuador, sólo un 15,00% está tecnificada con rendimientos altos de 750,00 kg de café oro/ha, mientras que el 85,00% restante se lleva a cabo de manera tradicional, ocasionando rendimientos bajos de 250,00 kg café oro/ha (Consejo Nacional Cafetalero, 2013). En la Tabla 2, se puede observar la producción de café Arábica en Ecuador desde el año 2010 hasta el 2015; evidenciando un descenso en la producción y rendimiento para este último año.

Tabla 2. Producción de Café Arábica

Año	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Producción sacos 60kg	Rendimiento (t/ha)
2010	144,931	31,347	522,446	0.22
2011	149,411	45,000	750,000	0.30
2012	149,411	35,000	583,333	0.23
2013	108,411	17,300	283,333	0.16
2014	108,411	17,000	283,333	0.16
2015	108,411	17,000	283,333	0.16

(SINAGAP, 2013)

Según el Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual (2014), los primeros cultivos de café en Ecuador fueron en 1860, con miras a la exportación. Sin embargo, los cantones Jipijapa y Manta iniciaron en 1900 las exportaciones a Europa. El Ecuador progresivamente se convirtió en uno de los grandes exportadores logrando así enviar casi dos millones de sacos a inicios de la década de los noventa.

Actualmente, el café cultivado en Ecuador representa una fuente de divisas y de empleo para aproximadamente 500.000 ecuatorianos; además es uno de los 17 países exportadores que producen las dos especies comerciales de café arábica y robusta (COFENAC, 2013). En la Tabla 3, se presenta las provincias que conforman la zona

cafetalera del Ecuador, clasificadas de acuerdo a la provincia que presenta mayor superficie y área de producción.

Tabla 3. Superficie Cafetalera del Ecuador

CAFÉ ARÁBICA (Hectáreas)		
Provincias	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 (Hectáreas)	136.385	102.89

(COFENAC , 2013)

2.6 CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CAFÉ.

Un cafetal debe cumplir con las siguientes condiciones, la altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 m.s.n.m., con precipitaciones anuales de 1800-3000 mm/año, temperaturas entre los 17 y 23°C, humedad relativa entre 70,00 y 85,00% como un valor normal para evitar enfermedades fungosas, terreno plano, protegido del efecto de los vientos y con disponibilidad de agua de riego, vientos de 5 a 7 km/h, un brillo solar de 140 a 280 horas/mes, el suelo debe ser: fértil, profundo, franco de estructura granular con buena aireación, permeabilidad moderada y con buen drenaje (Centro de Investigaciones en Café, 2011; Zuluaga, 1990).

2.7 FACTORES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL CAFÉ

“La calidad de los cafetales y la calidad física y organoléptica de los cafés, están en función de los factores genético, ecológico y manejo de cultivo” (Duicela , Guamán, & Farfán, 2015), a continuación se describirá en mayor detalle cada uno de estos aspectos.

2.7.1 GENÉTICO

Duicela et al. (2015), afirman que el factor genético, comprende las variedades puras que son: Bourbon, Tipica, Gesha y Mokka e híbridos como Sarchimor, Catimor, Catucaí, Tabi que se implementan en nuevas siembras o a su vez en la renovación de cafetales; cada una con sus particularidades que las diferencian fenotípicamente. La mejor calidad en taza, se presenta en la variedad Arábica tetraploide que está ubicada en el suroeste de Etiopía (Anthony et al. 2002).

2.7.2 ECOLÓGICO

El factor ecológico está relacionado con el lugar en donde se practica la caficultura, abarca los elementos físicos (altitud, latitud, longitud, suelo, temperatura) organismos vivos macroscópicos (maleza, plagas) y microscópicos (hongos, bacterias).

Al mismo tiempo, los elementos principales que tienen incidencia directa sobre las variaciones de la calidad organoléptica son: altitud que se relaciona con el aumento de la acidez hasta los 1500 m.s.n.m, la temperatura media óptima debe ser entre 19 y 23 °C en donde se obtiene un buen grado de acidez, bajas temperaturas propician un desarrollo lento y una maduración de frutos tardía, no obstante altas temperaturas aceleran el envejecimiento de los frutos, disminuyen la fotosíntesis, reducen el crecimiento y producción (Duicela et al. 2015; Monroig, 1999).

2.7.3 MANEJO DE CULTIVO

El manejo del cultivo hace referencia a la habilidad de conocimientos, tradiciones y prácticas técnicas que desarrollan los agricultores en los cafetales aplicando buenas

destrezas agrícolas que se fundamentan en el conocimiento y experiencia en cada proceso que atraviesa el café, controles en la cosecha y pos-cosecha, fertilización y control de plagas y finalmente, identificando posibles deficiencias de macro y micronutrientes (Duicela et al. 2015; Puerta, 2006; Lambot et al.2015).

Asimismo, algunos aspectos que afectan la calidad de los granos son: las enfermedades como la broca daña los atributos organolépticos del café, la deficiencia de minerales, la madurez del fruto, punto de fermentación, el beneficio, condiciones de secado y almacenamiento; por consecuencia influyen negativamente en la calidad de la bebida.

2.8 ESPECIES COMERCIALES DE CAFÉ

Las dos especies más importantes a nivel mundial desde el punto de vista económico son: Coffea Arábica (Café Arábica) con el 65,00% de producción y Coffea Canephora (Café Robusta) con el 33,00% de la producción mundial (Duicela et al. 2010; Rojo, 2014).

2.8.1 CAFÉ ARÁBICA

La especie de café Arábica, es originaria de las montañas sur occidentales de Etiopía, en elevaciones que fluctúan entre los 1.350 y 2.000 metros de altitud, su estructura genética es diferente a otras especies de café, al ser tetraploide con 44 cromosomas en lugar de 22. Es un árbol pequeño, liso, de hojas pequeñas, ovaladas y lustrosas y flores fragantes de color blanco. En Ecuador, el café Arábica se cultiva en las vertientes occidentales y orientales del sistema montañoso. Sus variedades más conocidas son: Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Colombia, que se cultivan en zonas húmedas y altas entre 600 y 1.200 m.s.n.m. en Colombia, México y Perú (Durán, 2011; Rojo, 2014; Quiliguango, 2013).

La especie de café arábica, basada en la Norma NTE INEN 285:2006 , se clasifica en: Café Grado 1 (Special grade), Café Grado 2 (Premium grade), Café Grado 3 (Exchange Grade) y Grado 4 (Arábica Natural).

2.8.1.1 Caturra Amarillo

La variedad Caturra fue descubierta en Minas Gerais, Brasil y probablemente es mutación de la variedad Bourbon, comprende dos cultivares: “Caturra rojo” y “Caturra amarillo” debido a la coloración de los frutos. En Ecuador, la variedad Caturra se empezó a cultivar en el año de 1956 (Quiliguango, 2013).

Según Ortega (2015), la variedad caturra, se caracteriza por poseer entrenudos cortos, tronco grueso poco ramificado, ramas laterales cortas y abundantes con ramificaciones secundarias, lo que proporciona a la planta un aspecto vigoroso y compacto. Las hojas son más grandes, anchas y oscuras que el Bourbon y los frutos son mayores.

2.8.1.2 SL-28

Ortega (2015), menciona que la variedad SL-28 es originaria de Kenia. Se diferencia de otras variedades, ya que presenta sus hojas anchas, de color bronceado claro y unidas al tronco en ángulo agudo, sus cosechas son uniformes y se destaca ligeramente en la calidad de la taza con respecto a la variedad Típica. En la Imagen 3, se observa un ejemplar de la variedad SL-28 cultivada en la zona de donde fueron recolectadas las muestras para la investigación.



Imagen 3. Variedad SL-28
(Ortega , 2015)

2.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CAFÉ VERDE

2.9.1 TAMAÑO

“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).

El tamaño del grano de café verde depende de la variedad, híbrido o clon, de la fertilidad del suelo y grado de madurez al momento que se cosecha, además un lote de café se caracteriza por la homogeneidad de los granos, misma que otorga un indicio de calidad en el café (INFOCAFES, 2015; Duicela et al. 2015).

Según Organización Internacional del Café ICO (2013), a través de las Normas Colombianas, el café es clasificado según el tamaño, contenido de humedad, defectos, olor, color y sabor en taza. Las clasificaciones resultantes son las siguientes: la designación *Premium* para el grano que muestra tamaño de criba número 18, con tolerancia del 5,00% en criba 14; la calificación *Supremo* presenta tamaño de criba número 17, con tolerancia del 5,00% en criba 14; la denominación *Extra* exhibe tamaño de criba número 16 con tolerancia del 5,00% en criba 14; la designación *Excelso* para grano con tamaño de criba número 14, con tolerancia del 1,50% en criba 12 y la denominación *Caracol* presenta tamaño de criba número 12, con tolerancia de hasta el 10,00% de granos planos.

2.9.2 HUMEDAD

La humedad presente en los granos de café verde, debe ser menor a 12,00%, el rango aceptado oscila entre 10,00 a 12,00%, con la finalidad de mantener su estabilidad química y microbiológica, evitar daños en la trilla y obtener buenas características organolépticas en la tostación de café, de este modo se garantiza la calidad de café. Los granos con valores mayores al 12,00% presentan desarrollo de sabores a moho y en el caso contrario valores menores al 10,00% el grano tiende a romperse, en el tostado se quema más rápido y hay alteraciones en el sabor. Además, el contenido de

humedad está relacionado con el color del grano (INFOCAFES, 2015; Duicela et al. 2015).

El tiempo de secado y la humedad relativa del almacén, afectan al contenido de humedad del grano. El equipo para determinar la humedad ya sea en pergamino o en oro, debe estar correctamente calibrado (Duicela et al. 2015).

2.9.3 DENSIDAD

Mediante la densidad, es posible conocer el origen y edad del café. Un café de altura presenta una estructura más densa, mientras que un café de menor altura, resulta ser menos denso y se denominada café viejo (INFOCAFES, 2015).

La densidad del café arábica, es menor en comparación al café robusta, densidades que sobrepasan los $645,00 \text{ kg/m}^3$ son consideradas altas en granos de café. Además, la densidad varía en función del estado de madurez, ataque de patógenos y alteraciones de los tejidos. Adicionalmente, los rangos de la densidad aparente del café verde son de $645,00$ a $750,00 \text{ kg/m}^3$ (Prieto, 2002 ; Duicela et al. 2015).

2.10 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ VERDE

“La composición química del grano verde varía de acuerdo a la especie, origen y método analítico” (Wei & Tanokura, 2015).

Los principales constituyentes del grano de café verde especie *Arábica* son los carbohidratos, lípidos y proteínas. Mientras, los componentes menores son cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos y sacarosa; los mismos que son responsables del aroma del café (Wei & Tanokura, 2015). En la Tabla 4, se aprecia la composición química de la especie de café arábica.

Tabla 4. Composición Química del Café Verde

Componente	Café Verde (%)
Minerales	3,00-4,20
Cafeína	0,90-1,20
Trigonelina	1,00-1,20
Lípidos	12,00-18,00
Ácidos Clorogénicos	5,50-8,00
Ácidos Alifáticos	1,50-2,00
Carbohidratos	60,00
Oligosacáridos	6,00-8,00
Polisacáridos	50,00-55,00
Sacarosa	6,00-9,00
Aminoácidos	2,00
Proteína	11,00-13,00
Azúcares Reductores	1,00

Fuente: (Smith, 1985); (Meenakshi & Jagan , 2007); (Farah, 2012)

2.10.1 CARBOHIDRATOS

Los hidratos de carbono o carbohidratos son los componentes más importantes, presentes en cantidades de 40,00 a 50,00% en base seca en el grano de café verde (Trugo,1985). A su vez, están en forma de monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, donde el 50,00% de polisacáridos pertenecen al manano, el 30,00% al arabinogalactano, un 15,00% celulosa y 5,00% de sustancias pépticas (Puerta, 2011).

Los hidratos de carbono de bajo peso molecular, son degradados durante el tostado, por lo tanto, el contenido de polisacáridos se reduce y se tornan más fáciles de extraer (Meenakshi & Jagan , 2007).

Las funciones que desempeñan los carbohidratos son: contribuyen en el aroma, ayudan a la estabilización de la espuma del café, formación de la sedimentación e incremento de la viscosidad del extracto (Meenakshi & Jagan , 2007).

(Pokorny, Ouyen-Huy Con, Bulantova, & Janicek, 1974) citado por Trugo (1985), señala que el contenido de azúcares reductores (como glucosa) es de 0,50% para una muestra de café arábica colombiano almacenado durante un año a temperatura ambiente.

La sacarosa es el carbohidrato más abundante y simple, representa el 9,00% en base seca en la especie Arábica, su importancia radica en contribuir el aroma y sabor a la bebida. En consecuencia, un contenido alto de sacarosa proporcionará un aroma y sabor superiores (Farah, 2012). La presencia de sacarosa, es mayor en granos de café maduros y sanos que en granos inmaduros y defectuosos (Puerta, 2011). Asimismo, la sacarosa ,es la principal fuente de azúcares reductores libres, que participan en las reacciones de Maillard, Strecker y caramelización durante el tostado de café (Wei & Tanokura, 2015).

2.10.2 LÍPIDOS

El grano de café verde, está constituido por un aceite propio del café que se encuentra en el endospermo y en las capas externas, la sustancia se denomina “cera de café”. También, el café contiene triglicéridos y otros componentes lipídicos característicos del propio aceite (Folstar, 1985). Adicionalmente, el contenido de lípidos presente en el grano de café verde para la especie arábica es de 12,00 a 18,00% y para la especie robusta de 9,00 al 13,00% (Omozoje , 2012).

Los lípidos se oxidan fácilmente por presencia de luz, oxígeno y altas temperaturas, como resultado el olor a rancio. Además, desempeñan un papel importante que es contribuir con el transporte de los aromas y sabores en el café y proporcionan sabor y cuerpo (Puerta, 2011).

2.10.3 PROTEÍNAS

Las proteínas, son sustancias que están compuestas de aminoácidos conectados mediante enlaces peptídicos. La variedad Arábica, presenta menor contenido de aminoácidos libres en comparación con la variedad Robusta (Puerta, 2011).

Por lo tanto, el sabor nitrogenado de los granos de café verde, es otorgado principalmente por proteínas, péptidos y aminoácidos libres (Wei & Tanokura, 2015).

2.10.4 ALCALOIDES

Los alcaloides, son los encargados de proporcionar el sabor amargo al café, y los más importantes son la cafeína y trigonelina (Puerta, 2011).

2.10.4.1 Cafeína

Falcón, Ledea, Fernández, & González (2015), indica que la cafeína es un derivado del grupo de las xantinas, su fórmula química es $C_8H_{10}N_4O_2$. Además, la cafeína no solo está presente en el café sino también en el té, cacao y algunos refrescos.

“Por otro lado, la cafeína es un estimulante metabólico y del sistema nervioso central y un componente en algunos medicamentos como analgésicos” (Falcón et al. 2015).

El carácter amargo en la bebida de café, es determinado por el contenido de cafeína, existe una diferencia entre las dos variedades, siendo así la especie Arábica que contiene aproximadamente 0,60 a 1,20% mientras que la Robusta 2,20 a 2,80% (Wei & Tanokura, 2015). En la Figura 1, se observa la estructura molecular de la cafeína.

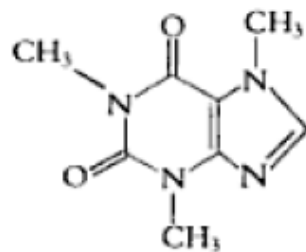


Figura 1. Estructura Molecular de la Cafeína
(Calle, 2011)

2.10.5 ÁCIDOS CLOROGÉNICOS

Los ácidos clorogénicos, son una familia de ésteres formados entre el ácido quínico y ciertos ácidos trans-cinámicos, más comúnmente caffeico, p-cumárico y ácido ferúlico. A su vez, los ácidos más cuantiosos en los granos de café verde son: 5-O-caffeoylquinic ácido (5 - CQA), ácido 4 - O - cafeoilquínico (4 - CQA), y el ácido 3 - O - cafeoilquínico (3 - CQA) (Wei & Tanokura, 2015). Asimismo, el contenido de

ácidos clorogénicos en la especie Arábica es menor que en la especie Robusta (Puerta, 2011).

2.10.6 ÁCIDOS ALIFÁTICOS

Los ácidos alifáticos o ácidos orgánicos más conocidos que están presentes en las almendras de café, son: cítrico, acético, málico y fosfórico. Según la concentración los ácidos presentan diferentes sabores e intensidades (Puerta, 2011).

2.10.7 CENIZAS

Las cenizas del café, contienen los minerales y elementos químicos. Además, el contenido de cenizas, es mayor en el café Robusta que en Arábica. Asimismo, “los minerales encontrados en el café son: el potasio constituye 40,00 a 45,00%, el azufre 7,90%, el magnesio 3,90%, el fósforo 3,40% y el calcio 2,10%; estos cinco elementos conforman el 63,00% del peso de cenizas del café” (Puerta, 2011).

2.10.8 ACIDEZ Y PH

La acidez en el café verde depende de la cantidad de ácidos orgánicos (acético, málico, tartárico, cítrico, fórmico y láctico) y ácidos clorogénicos y quinicos presentes en cada una de las variedades. También, las clases de acidez más comunes son: acidez tartárica con sabor a uva y cereza, acidez málica con sabor a manzana verde y acidez cítrica con sabor a limón (Wei & Tanokura, 2015; Fórum Café, 2018). La acidez mide tanto protones libres como unidos (Wagner, 2005).

El pH mide los protones libres y se expresa en una escala del 0 al 14, donde 0 es el punto más ácido, mientras que el 14 será el más alcalino o básico y esto indica que hay pocos protones libres. El 7, representa las sustancias que cuentan con la propiedad de ser neutras y si el pH es bajo (menos de 7 hasta 1) significa que hay muchos protones libres (Fórum Café, 2017; Wagner, 2005). Además, el pH del café verde tiene relación con el proceso de fermentación. Por lo tanto, los valores de pH de café en baba son ácidos en un rango de 5,20 a 6,70, mientras que los valores disminuyen después de la fermentación (Córdova & Guerrero, 2016).

2.11 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ VERDE

Las características sensoriales del café verde, en efecto son: el color y olor, donde el color es la impresión que produce en la vista los rayos de luz reflejados sobre un cuerpo. Mientras que, el olor es la sensación producida por la incidencia de olores sobre la mucosa nasal, las mismas que dependerán de las características físicas que posee el grano verde.

2.11.1 COLOR

El color del grano de café verde dependerá de dos factores: la zona donde fue cultivado y la humedad. Por lo tanto, un café de altura tendrá un color **gris azulado** y un café de bajura color **verde pálido**, de igual manera si presenta una humedad de 15,00 a 14,00% el color es blancuzco, de 13,00 a 12,00% su tonalidad es verde azulado y de 10,00 a 9,00% verde claro (INFOCAFES, 2015). También, el color está relacionado al tipo de proceso (lavado, semi-lavado o natural), al método de secado, las condiciones y tiempo de almacenamiento (Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala, 2015). El café arábica por lo general presenta una coloración de verde a verde azulado, en la Imagen 4, se detalla los distintos colores de la escala Pantone (Prieto, 2002).



Imagen 4. Escala Pantone para Café Verde
(Instituto Hondureño del Café , 2004)

2.11.2 OLOR

El olor se refiere a la impresión olfativa de los granos verdes, por ello un café limpio y fresco tiene un olor intenso y agradable. El envejecimiento de los granos provoca un olor similar a la madera que se considera “olores ajenos”, que son un indicio de pérdida de calidad, también el olor del café es afectado al momento de ser almacenado y transportado (Duicela et al. 2015).

2.12 COSECHA

El estado de madurez de los frutos de café es el aspecto más importante de la cosecha, donde la madurez fisiológica de los frutos se expresa mediante la intensidad de coloración (Duicela et al. 2015).

Por otra parte, la cosecha se realiza manualmente, por esa razón el café presenta una heterogeneidad en el estado de madurez, cosechándose una mezcla de frutos entre verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos. Esto influye en ciertos procesos de beneficio, trilla, almacenamiento y calidad de la bebida, ya que cada fruto presenta características diferentes físicas y químicas. Por lo tanto, una cosecha homogénea de frutos maduros permite conseguir una mejor bebida. Mientras que, la cosecha de frutos verdes producen defectos en la bebida, como son: defectos en aroma y sabor a fermento y acre (López, Pulgarín, Montoya, & Oliveros, 2003).

2.12.1 ETAPAS DE MADURACIÓN

La maduración del fruto de café consta de cuatro etapas, la primera se inicia desde la formación de la semilla hasta la octava semana, la segunda etapa comprende desde la octava hasta la semana 26, la tercera etapa hasta la semana 32 y la última etapa finaliza en la semana 36 como se observa en la Imagen 5 (Uribe et al. 2017).

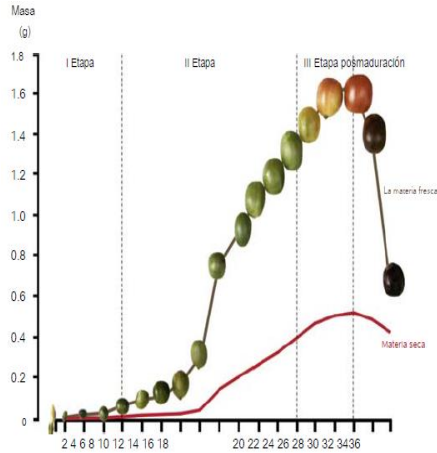


Imagen 5. Estados de maduración de la cereza de café como una función de la masa. (Uribe et al. 2017)

2.12.2 ESTADOS DE MADURACIÓN

En la Imagen 6, se identifican ocho estados de maduración de los frutos de café en la variedad Colombia, presentando diferentes intensidades de color en cada uno de los estados de maduración a partir de los días después de la floración: verde 1 (182), verde 2 (189), verde 3 (196), verde amarillo (203), pintón (210), maduro (217), sobremaduro (224) y seco (231) (López et al. 2003).



Imagen 6. Estados de Maduración (López et al. 2003)

2.13 CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ COSECHADO

La clasificación se realiza manualmente, con el objetivo de separar los frutos maduros, inmaduros y secos (Duicela et al. 2015).

2.14 BOYADO

El boyado es la limpieza que se hace a la cereza, se elimina hojas, ramas, palos y lo primordial en este proceso es la separación de frutos maduros de los vanos y secos, mediante la densidad los frutos maduros quedan en el fondo del recipiente mientras que los otros quedan flotando (Duicela et al. 2015; Pozo, 2015).

2.15 DESPULPADO O DESCEREZADO

Este proceso tiene como objetivo quitarle al grano todas la envolturas exteriores, es decir, el epicarpio y mesocarpio, por medio de una máquina denominada despulpadora; quedando así solo la semilla de café. Una operación correcta es despulpar las cerezas el mismo día de haber realizado la cosecha para evitar a futuro una mala calidad del café en la taza, dicho de otro modo el sabor a fermento (Durán, 2011).

2.16 FERMENTACIÓN

La fermentación es el proceso que facilita la separación del mucílago del grano de café, existe la fermentación natural que consiste en el desprendimiento naturalmente del mucílago del grano y la fermentación mecánica se desase el mucílago a través de maquinaria (Cárdenas & Prado, 2014; Ciriaco, 2013). La fermentación se la ejecuta en tanque de madera, plástico o concreto, pero no en tanques de hierro debido a que manchan el pergamino (Durán, 2011). El tiempo de fermentación se lo hace de acuerdo a la temperatura del lugar, puede durar de 12 a 20 horas (Pozo, 2015).

A lo largo de la fermentación suceden reacciones químicas, básicamente las levaduras y las bacterias del mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan especialmente a los azúcares y producen energía, también provoca un aumento de temperatura y

disminución en el pH que probablemente afecte al sabor del café (Uribe et al. 2017; Puerta , 2012). “El descenso del pH se debe a un aumento de la acidez de la masa, que coincide con la producción de ácidos a partir de los azúcares y del rompimiento de las pectinas presentes en el mucílago de café” (Córdova & Guerrero, 2016).

Al final del proceso de fermentación un pH de 4,60 puede ser un valor óptimo, que indique la finalización de la fermentación evitando así problemas de sobrefermentación en el grano (Córdova & Guerrero, 2016).

2.17 MÉTODOS DE BENEFICIO

“El beneficio del café es el procedimiento para obtener el denominado café oro a partir de las cerezas maduras. En la actualidad se reconocen dos métodos de beneficio, por vía húmeda y por vía seca” (Garay, 2014).

2.17.1 BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA

Según Duicela et al. (2010), “el método de beneficio húmedo es un proceso de transformación del café cereza maduro, en el cual intervienen los siguientes pasos: el boyado, el despulpado, la fermentación y el lavado para obtener el café pergamino húmedo”. En la Tabla 5, se presenta los métodos de beneficio relacionados con el tipo de café comercial. En donde se evidencia cinco métodos de beneficios obteniendo de igual manera cinco tipos de café con características diferentes el uno con el otro.

Tabla 5. Relación entre Métodos de Beneficio y Tipos de Café.

	Métodos de Beneficio				
	Vía Seca	Vía Húmeda	Ecológico o Subhúmedo	Húmedo Enzimático	Semihúmedo
Producto Intermedio	Café “bola seca”	Café pergamino seco	Café pergamino seco	Café pergamino seco	Café pergamino con miel
Producto final: Tipos de café	Café natural	Café lavado	Café lavado	Café lavado	Café semilavado

Fuente: (Duicela et al. 2015)

2.18 SECADO

A continuación del lavado de la almendra se procede al secado del grano, el proceso en el cual se va a disminuir la humedad hasta llegar a 10,00 a 12,00%, rango de humedad en el que se puede evitar afecciones en el grano como son: ataques de mohos, olores y sabores indeseables; debido a que el grano de café es altamente higroscópico. Las maneras de secado pueden ser diferentes en tendales o patios de cemento, entablillados de madera, zarandas de plástico o malla metálica y en marquesinas (Duicela et al. 2010; Durán, 2011).

2.19 PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ

En el proceso de tostado de café, intervienen mecanismos de transferencia de calor y masa, donde los factores responsables que permiten cambios en las propiedades físicas, químicas y sensoriales son el tiempo y temperatura de tostado. De igual manera, el tostado es la operación más importante en el cual se desarrollan sabores complejos que hacen al café una bebida agradable (Prieto, 2002; Wei & Tanokura, 2015).

Asimismo, en el tostado la acción de calor causa la desnaturalización de las proteínas, aquellas que al reaccionar con los carbohidratos impulsan la formación de compuestos volátiles que proporcionan las características de aroma, fragancia, sabor, acidez y amargor, que en conjunto se denomina impresión global en la taza (Tabares, Mejía, & Díaz, 2016).

A lo largo de un tostado tradicional, las temperaturas usadas son entre 180 a 190°C y 220 a 230°C, durante un tiempo de 12 a 15 minutos. Cabe recalcar que la temperatura y tiempo están relacionadas una con otra (Cavaco, Antóanto , Cochicho, Bartolomeu, & Cebola , 2011).

Finalmente, en el tostado los granos sufren reacciones químicas, lo que ocasiona cambios físicos como: disminución de humedad, variación de color del grano, cambios en densidad y volumen (Tabares et al. 2016; Wei & Tanokura, 2015).

2.19.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO.

Según Prieto (2002), en el tostado existen cinco etapas : desecación, crecimiento, disgregación, tostado completo y enfriamiento.

Los primeros cambios del grano inician a los 50°C en las capas superficiales, de esta manera el color varía de verde a amarillo y el olor presente es a pan tostado, además se desprende vapor de agua (Prieto, 2002). A medida que se eleva la temperatura provoca la desnaturalización de las proteínas y continúa la evaporación del agua (Cavaco et al. 2011).

El grano cambia nuevamente su coloración a la temperatura de 120 a 130 °C, ahora es castaña y poco a poco toma coloraciones pardas, también surge un aumento en el volumen, sin embargo, su olor todavía no es característico (Prieto, 2002), es importante mencionar que en ese rango de temperatura se inicia la descomposición de compuestos orgánicos por medio de pirólisis (Cavaco et al. 2011).

Alrededor de los 150 a 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 (Prieto, 2002; Cavaco et al. 2011).

En la etapa de disgregación o descomposición se produce el rompimiento de la estructura celular de los granos a causa de las sobrepresiones internas. Adicionalmente, existe presencia de humo y aparece el aroma a café (Prieto, 2002).

“A los 180 a 200° C, con la disrupción del endospermo, comienza la caramelización, el agrietamiento del grano, aparece un humo azulado y se desarrolla el aroma” (Cavaco et al. 2011).

Finalmente, para evitar que el café continúe tostándose y perder el aroma, es necesario generar un enfriamiento rápido e inmediato de los granos, mediante una corriente de aire frío o por aspersion de agua (Garay, 2014).

2.19.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE TOSTADO

El rango de temperatura en el proceso de tostado, está ubicado entre 185 y 240 °C, siendo la temperatura óptima para la torrefacción la comprendida entre 210 y 230 °C. Si se sobrepasa estos rangos establecidos provoca una carbonización sobre el grano (Peláez, 1995).

2.19.3 INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE TOSTADO

La relación entre tiempo-temperatura es la que determina al final el sabor y aroma del café tostado. Un tostado se puede realizar de 2 a 20 minutos, pero también hay que tomar en cuenta el tipo de tostadora que se va a usar. Por ejemplo, en un tostado convencional el tiempo empleado es de 15 a 20 minutos; mientras que en lecho fluido es de 4 a 6 minutos o en algunos casos menos (Peláez, 1995). Otros autores mantienen que la duración de la torrefacción es aproximadamente de 5 a 12 minutos siempre manteniendo condiciones como son: equipo y cantidad de café verde a procesar.

“El tiempo en el proceso de tostado, está determinado por la reacción pirolítica en el grano; en donde el grano alcanza la totalidad de su expansión celular, desarrolla su sabor y aroma característico” (Peláez, 1995).

2.20 INDUSTRIALIZACIÓN DEL GRANO DE CAFÉ VERDE

2.20.1 DESCASCARILLADO

El trillado o descascarillado es una operación que consiste en desprender el pergamino del grano de café, teniendo un control riguroso en el molino a usarse y verificando la humedad que este en el rango adecuado, para no dañar la calidad del café (Duicela et al. 2010).

“La piladora debe ser revisada y ajustada cuidadosamente para que los granos no se quiebren o maltraten” (Duicela et al. 2010).

2.20.2 TOSTADO

“La tostión es una operación en la cual, por medio de la aplicación de calor al grano durante un determinado período de tiempo, se promueve la transferencia de calor convectiva y conductiva” (Tabares et al. 2016).

2.20.2.1 Tipos de Tostado

En la Imagen 7, se muestra los tres tipos básicos de tostado:



Imagen 7. Tipos de Tostado
(Cafe la Nacional, 2015)

2.20.2.1.1 Tostado Claro

Las características que define a este tostado son: tostión clara con la finalidad de obtener un café suave, sin desarrollar la acidez, y que su cuerpo sea nulo (Cafe la Nacional, 2015).

2.20.2.1.2 Tostado Medio

En este tostado el grano aumenta de tamaño, y lo más significativo es el desarrollo de más de 800 compuestos que proporcionan el aroma y sabor al café (Cafe la Nacional, 2015).

2.20.2.1.3 Tostado Oscuro

En el tostado oscuro el grano tiene un sabor amargo, y esta razón opaca la acidez; hay más desarrollo en el cuerpo, dando como resultado una bebida más fuerte y con más presencia (Cafe la Nacional, 2015).

2.20.3 MOLIENDA DE CAFÉ TOSTADO

Al realizar la molienda del café tostado se corren riesgos como acelerar los procesos de oxidación, debido que al moler se aumenta el área en contacto con el aire, disminuyendo el tiempo de conservación en condiciones ambientales. Los métodos para conservar el café molido son: empaques al vacío, inyección de nitrógeno que no altera el producto (Café la Nacional, 2015).

Por otra parte, la finalidad de la molienda es extraer compuestos solubles y volátiles; dependiendo del grado de tueste el molido presentará un nivel de dificultad distinto, siendo así, en el caso de tueste claro la estructura que presenta el grano es dura; mientras que el tueste oscuro es frágil y quebradizo (Durán, 2011).

Si la molienda es más gruesa mayor será el tiempo de contacto agua-café y viceversa (Peláez, 1995).

De acuerdo a las Normas NTE INEN 1123:2016 y COVENIN 46:2017 la granulometría de café tostado molido se clasifica en: extra fino, fino, mediano y grueso. La granulometría extra fina se utiliza para obtener café expreso, la fina para preparar café en filtro de cafetera, la media para elaborar café en percoladora y la gruesa por lo general se usa en la industrialización del café soluble.

Además, hay que resaltar la importancia de la molienda porque de esta operación depende la bebida de café; en el caso que se molture poco, como consecuencia en la infusión no se extraerán todos los sabores, mientras que el exceso provocará que se disuelvan desmedidamente los componentes menos aromáticos y más amargos y se formará una pasta que dificulta el proceso (INFOCAFES , 2018).

2.21 CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE EL PROCESO DE TOSTADO

Las temperaturas altas son las que provocan cambios físicos y químicos en el grano de café (Farah, 2012).

2.21.1 CAMBIOS FÍSICOS

Los cambios físicos que presentan los granos de café tostados se detallan a continuación en la Tabla 6, además los cambios que ocurren a distintas temperaturas durante el proceso de tostado.

2.21.1.1 Pérdida de Peso

La pérdida de peso es producto de la evaporación del agua que contiene inicialmente el grano, la misma que sucede a dos velocidades: la primera es lenta y se debe a la evaporación del agua del grano, la segunda es rápida y corresponde al proceso de pirólisis. El porcentaje de pérdida de peso para la especie Arábica es entre el 12,00 y 21,00% (Prieto, 2002). Los rangos aceptables de pérdida de peso para cada café son diferentes, por ejemplo para un tostado muy pálido del 3,00%, cafés de tostado claro de 10,00 a 14,00% y para cafés muy oscuros 23,00 a 25,00% (Díaz, 2014).

2.21.1.2 Aumento de Volumen

El café aumenta al doble de su volumen inicial, este aumento se registra a los 180 hasta 220 °C. La expansión del grano se produce por el almacenamiento de CO₂, ejerciendo una presión interna de 5,50 a 8,00 atmósferas; por otra parte, para una expansión correcta del grano depende de factores: humedad del café verde, la calidad de materia prima y la temperatura de tostado (Peláez, 1995; Díaz, 2014).

2.21.1.3 Color

La temperatura influye en el cambio del color del grano durante el tostado y depende de la intensidad y duración del proceso. El color inicialmente de verde, pasa a amarillo conforme la temperatura aumenta la coloración varía, pasando por el color castaño hasta el marrón (Peláez, 1995; Prieto, 2002).

2.21.1.4 Densidad

En el tostado, la densidad del grano puede disminuir a la mitad del café verde, esto se debe a la pérdida de peso y a la formación de gases dentro de la estructura interna del grano (Prieto, 2002).

2.21.1.5 Humedad

Durante el tueste de café, verde hay una reducción de la humedad del 10,00 a 12,00%, finalmente la humedad alcanza de 0,40 a 5,00%, dependiendo del grado de tostado (Prieto, 2002).

Tabla 6. Cambios Físicos que ocurren en el café a distinta Temperatura durante el tostado

Temperatura	Cambio
100 °C	Coloración de verde a amarilla, olor pan tostado y desprendimiento de vapor de agua.
120 - 130 °C	Coloración castaño que pasa de pardo claro a oscuro.
150 °C	Despide olor a semillas tostadas sin apreciarse el aroma característico.
180 °C	El aroma característico del café comienza a desarrollarse. Desprendimiento de CO y CO ₂ . Los gases de combustión aparecen en volutas color blanco azuladas. Los granos adquieren una coloración color marrón y el 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 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: (Garay, 2014)

2.21.2 CAMBIOS QUÍMICOS

Los cambios químicos que presentan los granos de café tostados se enumeran a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Cambios Químicos que ocurren en el grano de café durante el Tostado

Proteínas	Contenidas originalmente en el café verde son influenciadas por el calor y se desnaturalizan y parte de ellas son transformadas en ácidos y carbohidratos.
Carbohidratos	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. La sacarosa inicialmente se deshidrata y luego se hidroliza en azúcares reductores que posteriormente se polimerizan.
Grasas y Aceites	Aumentan durante la tostión y proporcionan una pequeña cantidad de principios volátiles. Sin embargo bajo la influencia del calor las materias grasas son liberadas, evidenciándose. Esta materia grasa sirve como fijador de diversos principios aromáticos y cuando se solidifican hacen que el grano sea más quebradizo, facilitando la molienda.
Ácidos	Subsisten parcialmente tras el tueste, estos se forman principalmente a partir de los carbohidratos y desempeñan un papel importante en el aroma y en el sabor de la bebida.
Minerales	Su principal función es la de catalizar las reacciones de pirólisis y se presentan en el grano en forma de sales orgánicas.

Fuente: (Garay, 2014)

Las reacciones químicas más importantes durante el tostado que afectan a los carbohidratos son: las reacciones de Maillard, la degradación de Strecker, la pirólisis, y caramelización, además ocurre la desnaturalización y degradación de las proteínas.

Asimismo, la formación de gas al interior del grano se genera como resultado de la pirólisis y reacción de Maillard, los gases que se forman son el dióxido de carbono, monóxido de carbono y N_2 , los mismos que se liberan durante el tostado, gran parte queda atrapado en el grano, liberándose en el momento de la molienda. La formación de ácidos volátiles en el tostado, depende de la temperatura, actividad del agua,

presión y transferencia de calor. Por lo tanto, diferentes condiciones de temperatura ambiente en el tueste conducen a perfiles de sabor específicos, obtenidos de la misma materia prima (Schenker & Rothgeb, 2017).

2.22 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL CAFÉ TOSTADO

La calidad del café, se determina durante todo el proceso de producción; desde el cultivo hasta llegar al consumidor final, Batista & Chalfoun (2015), menciona “que para el tostador, la calidad del café depende del contenido de humedad, estabilidad de las características, origen, composición química, calidad organoléptica y precio”.

“La calidad física del grano está determinada por el tamaño, el color y la forma de los granos, pero también por la cantidad de defectos y materias extrañas que se pueden encontrar en el café “(Duicela et al. 2010).

2.22.1 DENSIDAD

El grano verde, es afectado en el proceso de tostado por dos factores; el primero es la pérdida de peso y el segundo la formación de gases que ocasionan la expansión del grano al doble de su volumen inicial; estos factores inducen a que la densidad del café tostado disminuya (Prieto, 2002). La densidad en el café tostado es de 250,00 a 360,00 kg/m³ (Peláez, 1995).

2.22.2 HUMEDAD

La humedad el grano de café tostado puede contener entre 3,50% y 5,00% de agua pero esto dependerá de la humedad, calidad del grano y del grado de tostación (Puerta, 2011).

2.22.3 TAMAÑO

El tamaño del grano tostado de café sufre un evidente cambio, es decir aumenta el volumen al doble de su estado inicial, debido a la expansión de los gases producida por pirolisis (Prieto, 2002).

2.23 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ TOSTADO

La composición química del grano tostado de café se modifica debido a los cambios físicos y químicos que se producen durante el tostado, en la Tabla 8, se detalla el porcentaje de cada componente.

Tabla 8. Composición Química de Café Tostado

Componente	Café Arábica Tostado (%)
Minerales	3,50-4,50
Cafeína	Aprox. 1,00
Trigonelina	0,50-1,00
Lípidos	14,50-20,00
Ácidos Clorogénicos	1,20-2,30
Ácidos Alifáticos	1,00-1,50
Oligosacáridos	0,00-3,50
Polisacáridos	24,00-39,00
Aminoácidos	0,00
Proteína	13,00-15,00

Fuente: (Smith, 1985)

2.23.1 CARBOHIDRATOS

De los monosacáridos y disacáridos que tenía el café verde, solo quedan trazas de azúcares libres luego del tostado, también durante la tostación ocurre la degradación de los polisacáridos entre 15,00 y 20,00%, a continuación se descompone y carameliza la sacarosa, de esta manera se generan pigmentos que proporcionan color caramelo y amargo en la bebida; por último hay formación de ácidos fórmico, acético, glicólico, láctico y los furanos como compuestos aromatizantes (Puerta, 2011; Illy & Viani, 2005).

Posteriormente, el 99,00% de los azúcares reductores reaccionan con los aminoácidos en la denominada reacción de Maillard, de este modo, se forman las melanoidinas encargadas de dar el color marrón y sabor a la bebida (Puerta, 2011).

2.23.2 LÍPIDOS

El contenido de lípidos presenta ligeros cambios durante el proceso de tostado, pero no son degradados en su totalidad. En consecuencia, los lípidos insaponificables se

reducen, mientras que los esteroides y la mayoría de triglicéridos permanecen intactos, el nivel de ácidos grasos trans se incrementa y finalmente otros se oxidan formando así aldehídos y compuestos volátiles (Illy & Viani, 2005). Los aceites cumplen con la función de disolver el aroma y actuar como agente aromatizante (Peláez, 1995).

2.23.3 PROTEÍNAS

Fundamentalmente, toda la proteína del café verde se desnaturaliza porque son afectadas por el calor del proceso de tostado, como resultado en el café tostado casi ningún residuo puede encontrarse. Por otra parte, el grado de tostación influye en la magnitud de degradación de las proteínas. Además, las proteínas son los compuestos que otorgan aroma al café, son generados por los aminoácidos que reaccionan en la reacción de Strecker, siendo estos aldehídos, dióxido de carbono y amoníaco. Finalmente, reaccionan con los azúcares en la reacción de Maillard y producen melanoidinas y múltiples compuestos volátiles nitrogenados y azufrados (Puerta, 2011; Illy & Viani, 2005; Prieto, 2002).

2.23.4 ALCALOIDES

La cafeína es estable en la tostación y es soluble en agua (Puerta, 2011). A lo largo del proceso de tostado no existe una pérdida significativa en cuanto a cafeína. "Una taza típica de bebida de café regular contiene 70,00 a 140,00 mg de cafeína, dependiendo de la preparación, mezcla, y tamaño de la taza" (Wei & Tanokura, 2015).

2.23.5 ÁCIDOS CLOROGÉNICOS

Los ácidos clorogénicos en la tostación se unen a las melanoidinas, después se hidrolizan y forman quinolactonas, y éstas a su vez se transforman en catecol, guayacol y pirogalol que poseen olores característicos a humo y quemado (Puerta, 2011).

2.23.6 MINERALES

Se evidencia un incremento en la concentración de minerales, a razón de la pérdida de humedad (Peláez, 1995).

2.23.7 ACIDEZ Y PH

La acidez cambia dependiendo de la intensidad de tueste, los tuestes claros presentan una acidez mayor, a diferencia de los tueste oscuros que su acidez es más débil. Asimismo, la acidez está relacionada con el pH, por lo tanto a mayor acidez de la muestra el valor del pH será menor (Valencia et al. 2015; Díaz & Perdomo , 2015).

Los valores de pH para café tostado oscilan entre 4,90 a 5,20, que es el rango preferido para una “buena taza de café” (Galindo Veliz, 2011). Hay presencia de amargura si el café se excede de 5,20 y es considerada un defecto (Valencia et al. 2015).

2.24 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ TOSTADO

Las características sensoriales del café tostado, en efecto son: el color y olor, donde el color es la impresión que produce en la vista los rayos de luz reflejados sobre un cuerpo y el olor es la sensación producida por la incidencia de los olores sobre la mucosa nasal.

2.24.1 COLOR

Durante el proceso de tostado, la temperatura es la causante que el grano cambie de color. El color del grano va desde amarillo, castaño, marrón hasta llegar a negro; cabe recalcar que cuando finaliza el tostado y se enfrían los granos, en ese momento se acentúa un poco más la tonalidad del color del grano tostado (Prieto, 2002; Schenker & Rothgeb, 2017).

“Las coloraciones para el café tostado se miden por la tonalidad utilizando nombres y números. Estos números se basan en escalas dadas por un colorímetro” (Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala, 2015).

La Speciality Coffee Association (SCAA) ha diseñado una escala de color para el café tostado, en donde el número más alto corresponde al tueste más claro, mientras que el más bajo a un tueste oscuro, como se observa en la Imagen 8.



Imagen 8. Escala Agtron
(Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala, 2015)

2.24.2 OLOR

El olor, es la impresión olfativa de los granos tostados. Se definen dos categorías: olor limpio, se caracteriza por presentar un olor del tueste fresco, fragante y con notas propias del origen o del nivel de tostado, libre de olores extraños. Olor extraño todo olor que provenga de mal almacenamiento, defectos de proceso o contaminaciones (Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala, 2015).

2.25 ANÁLISIS SENSORIAL DE LA BEBIDA DE CAFÉ

La evaluación sensorial o prueba de taza es el método usado para determinar aroma, sabor y la sanidad del café. Al mismo tiempo, por medio de la catación se pueden identificar defectos presentes en la bebida de café, evaluar características de acidez, dulzor, sabor, aroma y determinar mediante una puntuación la calidad del producto. Una buena taza de café se caracteriza por una combinación proporcionada de acidez /

amargor, esto determina un perfil de sabor equilibrado (Puerta , 2009; Schenker & Rothgeb, 2017).

En la Tabla 9, se observa la composición química de la bebida de café, estableciendo el volumen de la bebida y la cantidad de cada componente se refleja en mg de café tostado.

Tabla 9. Composición Química de la Bebida de Café

Componente	Bebida de 75 c.c.
	Café Tostado en mg
Cafeína	31,70
Ácidos Clorogénicos	70,90
Azúcares Reductores	5,60
Otros Carbohidratos	76,50
Péptidos	23,10
Potasio	38,40
Otros Minerales	52,20
Ácidos	66,40
Trigonelina	19,80
Volátiles	Menor a 0,04

Fuente: (Peláez, 1995)

2.25.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

“La calidad organoléptica del café se relaciona con las propiedades intrínsecas: acidez, aroma, sabor, cuerpo e impresión global de la bebida; y los defectos en la taza causados por inadecuados procesos de beneficio” (Duicela et al. 2010).

2.25.1.1 Acidez

La acidez describe la impresión gustativa provocada por ácidos que están presentes en la bebida como el cítrico y tartárico (Duicela et al. 2010).

2.25.1.2 Aroma

“El aroma describe la impresión olfativa general de las sustancias volátiles de un café. Esta cualidad se relaciona con la fragancia que desprende la bebida. Un aroma delicadamente fino, fragante y penetrante es la manifestación de una calidad superior “ (Duicela et al. 2010) .Los compuestos químicos están relacionados con los aromas

en los grano de café tostados, y se pueden encontrar diversas clases de aromas entre dulces, cítricos, frutales y cocinado, pero también desagradables como a tierra, ahumados y fétidos (Puerta, 2011).

Según (Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala, 2015) la valoración olfativa tiene las siguientes fases:

Aroma en seco: Esto es la fragancia de los granos recién molidos.

Aroma húmedo: Esto se refiere a los vapores que se sueltan al contacto con el agua.

Aroma retronasal: Esto hace referencia a los vapores sueltos dentro de la boca al momento de saborear.

Gusto residual: Son los vapores y residuos que permanecen en el paladar después de haber saboreado.

2.25.1.3 Sabor

El sabor se refiere al gusto en combinación del aroma, los cuales se pueden percibir en la bebida al momento de realizar la catación (Duicela et al. 2010).

2.25.1.4 Cuerpo

Según Duicela et al. (2010), menciona que “el cuerpo se determina mediante la cantidad de sólidos solubles presentes en la bebida, resulta de la combinación de varias percepciones captadas durante la catación como la sensación de plenitud y consistencia”.

2.25.1.5 La impresión global de la bebida

Es la característica organoléptica que consiste en apreciar el conjunto de cualidades como son: aroma, acidez, sabor y cuerpo (Duicela et al.2010). En la Tabla 10, se puede visualizar el efecto en las características sensoriales que ciertos componentes químicos le proporcionan a la bebida.

Tabla 10. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café.

Compuesto Químico	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 expreso.
Sacarosa	Amargo, sabor, color, acidez, aroma
Azúcares reductores	Color, sabor, aroma
Lípidos	Contribuyen al transporte de los aromas y sabores y en el expreso dan sabor y cuerpo
Proteína	Contribuyen al amargo y sabor y en el expreso, a la formación de la espuma, según el grado de tostación
Cafeína	Amargor
Trigonelina	Contribuye al amargo, los productos de su degradación al aroma
Ácidos clorogénicos	Dan cuerpo, sabor amargo y astringencia a la bebida
Ácidos alifáticos	Acidez, cuerpo, aroma

(Puerta, 2011)

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

La fase experimental se llevó a cabo en las Unidades Eduproductivas de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial, en la Tabla 11 se muestra las condiciones meteorológicas del lugar de experimento. Los análisis de café verde y tostado en el laboratorio de análisis físicos, químicos y microbiológicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA).

Tabla 11. Ubicación y datos meteorológicos del lugar de experimento

Provincia:	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Parroquia:	El Sagrario
Temperatura promedio:	18 °C
Humedad relativa promedio	68%
Altitud	2.247 metros
Latitud	0° 20' 2 "N

(INAMHI, 2013)

3.1.1 LOCALIZACIÓN MATERIA PRIMA

La materia prima se obtuvo de la zona norte del país, en la provincia del Carchi, cantón Mira, parroquia Jacinto Jijón y Caamaño, en la asociación “Bosque Nublado las Golondrinas”. La parroquia Jacinto Jijón limita al Norte con las parroquias Chical

y Tobar Donoso, al Sur parroquias la Carolina y Lita, al Este parroquias el Goaltal y la Concepción y al Oeste con las parroquias Tobar Donoso y Lita. Sus coordenadas geográficas abarcan desde los 78° 10' 21" hasta 78° 27' 33" longitud oeste; y, 00° 42' 26" hasta 00° 57' 32" latitud norte. El rango altitudinal es de 480-2280 m.s.n.m.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

La materia prima fueron granos verdes de Café Arábica en las variedades Caturra Amarillo y SL-28.

3.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

3.2.2.1 Materiales

Entre los materiales utilizados en esta investigación se encuentran

- Bandejas
- Bolsas PET de 500 gr y 1 kg
- Columna C18 para Cromatografía Líquida de Alta Eficacia
- Crisoles
- Embudos de filtración
- Estándar de cafeína 250 mg
- Filtro de jeringa, micro-jeringa para cromatografía
- Filtros de membrana, tamaño de poro 0,45um
- Guantes de calor
- Guantes de látex
- Guarda columna C18
- Lunas de reloj
- Material de Vidrio
- Recipientes herméticos
- Soporte universal
- Zarandas

3.2.2.2 Equipos de Laboratorio

Entre los equipos utilizados para desarrollar la investigación se encuentran

- Balanza analítica
- Balanza gramera
- Cafetera
- Cromatógrafo Líquido de Alta Eficacia
- Cronómetro
- Molino de café
- Potenciómetro
- Termómetro
- Tostadora de café
- Trilladora para café

Características de la Tostadora de Café: está fabricada en acero inoxidable AISI 304, creada para satisfacer una demanda de 1000 gr de café por lote. La máquina se encuentra equipada con un alimentador manual de producto, control de flujo de aire controlado, barril giratorio de producto, resistencias de calentamiento 2kw- 3kw, filtro de aire y gases; el modelo en cuestión equipa control electrónico avanzado para manejo de temperaturas, tiempos, recetas y etapas de trabajo.

3.2.2.3 Reactivos

Los reactivos utilizados fueron

- Acetonitrilo grado HPLC
- Carrez 1 y 2
- Hidróxido de sodio al 10,00%
- Solución de Luff
- Agua destilada
- Ácido bórico al 3,00%
- Ioduro de potasio
- Ácido sulfúrico
- Tiosulfato de sodio
- Solución de almidón
- Sulfato de cobre
- Solución estándar (teofilina)

3.3 METODOLOGÍA

El diseño que se utilizó en la investigación tuvo como objetivo principal el experimento de tres parámetros, debido a ello se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^3 ; donde A representa tiempo de tostado en los granos de café, B representa la temperatura de tostado y finalmente C representa la variedad de Café Arábica.

3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

FACTOR A: Tiempo de tostado en los granos de café.

A1: Tiempo de tostado en los granos de café (12 min)

A2: Tiempo de tostado en los granos de café (18 min)

FACTOR B: Temperatura de Tostado.

B1: Temperatura de Tostado (190 °C)

B2: Temperatura de Tostado (210 °C)

FACTOR C: Variedad de Café Arábica.

C1: SL-28

C2: Caturra Amarillo

3.3.2 TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Con el arreglo factorial que se empleó se obtuvo ocho tratamientos en el cual se combinó los tres factores, como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12. Descripción de Factores en estudio del Tostado de Café Arábica.

Tratamientos	Combinaciones	Descripción
1	A1B1C1	12 min, 190 °C, SL-28
2	A1B1C2	12 min, 190 °C, Caturra Amarillo
3	A1B2C1	12 min, 210 °C, SL-28
4	A1B2C2	12 min, 210 °C, Caturra Amarillo
5	A2B1C1	18 min, 190 °C, SL-28
6	A2B1C2	18 min, 190 °C, Caturra Amarillo
7	A2B2C1	18 min, 210 °C, SL-28
8	A2B2C2	18 min, 210 °C, Caturra Amarillo

3.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Número de repeticiones	Tres (3)
Número de tratamientos	Ocho (8)
Número de unidades experimentales	Veinte y cuatro (24)

El número de unidades experimentales se obtuvo a partir de la multiplicación de los tratamientos y el número de repeticiones, obteniendo una unidad experimental de veinte y cuatro.

3.3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

El tamaño de la unidad experimental estuvo conformado por 250 gr de café verde de las dos variedades (Caturra Amarillo y SL-28).

3.3.5 ANÁLISIS DE VARIANZA

Una vez definido el diseño experimental, las repeticiones y las unidades experimentales, se estableció las características del análisis de varianza, las cuales se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Esquema del Análisis de Varianza

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	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

3.3.6 ANÁLISIS FUNCIONAL

Para los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5,00% y para los factores Diferencia Mínima Significativa (DMS).

3.4 VARIABLES EVALUADAS

Los granos de café oro fueron sometidos a los respectivos análisis físicos, químicos y sensoriales, tanto en la materia prima, café tostado y café molido como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Variables Físicas, Químicas y Sensoriales evaluadas.

VARIABLES A EVALUAR	CAFÉ VERDE	CAFÉ TOSTADO	CAFÉ MOLIDO
	MÉTODO DE ANÁLISIS		
Tamaño	Método Granulométrico INEN 0290: 2006	Método Granulométrico INEN 0290: 2006	Método Granulométrico INEN 0290: 2006
Densidad	Método de caída libre NTE INEN-ISO 6669:2013	Método de caída libre NTE INEN-ISO 6669:2013	Método de caída libre NTE INEN-ISO 6669:2013
Humedad	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294	Método Gravimétrico NTE INEN-ISO 11294
Contenido de Cenizas	Método Gravimétrico		Método Gravimétrico
Contenido de pH	Método MO-LSAIA-29		Método MO-LSAIA-29
Contenido de Acidez	Método Volumétrico		Método Volumétrico
Contenido de Proteína	Método de Kjédahl		Método de Kjédahl
Contenido de Lípidos	Método de Soxhlet		Método de Soxhlet
Contenido de Sólidos Totales	Método Gravimétrico		Método Gravimétrico
Azúcares Reductores	MAL-53/Pearson		MAL-53/Pearson
Contenido de Polisacáridos	Método de Fehling		Método de Fehling
Contenido de Sacarosa	Cálculo		Cálculo
Contenido de Minerales (Ca, Mg, P, Na)	Método MO-LSAIA-03		Método MO-LSAIA-03
Contenido de Cafeína	Método Cromatográfico (HPLC)		Método Cromatográfico (HPLC)
Color	Examen visual NTE INEN 288 1978-02/Escala Patone	Speciality Coffee Association SCAA	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
Aroma			Evaluación de la Taza

3.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.5.1.1 Tamaño

El tamaño del grano de café verde se determinó mediante la Norma NTE INEN 0290:2006, efectuando primeramente el pesaje de la muestra preparada, colocándola sobre la primera zaranda del juego de zarandas, cabe mencionar que el orden de las zarandas es de mayor a menor desde la N° 20 hasta la N° 11, luego se procedió a agitar durante tres minutos, y finalmente se pesó el contenido de grano que se retuvo en cada zaranda.

El porcentaje de granos de café retenido por cada criba se calcula mediante la siguiente ecuación (1):

$$GR = \frac{m}{3} \quad (1)$$

Donde:

GR: granos de café retenidos, en porcentaje de masa,

m: masa de la muestra retenida por cada criba, en gr.

En la Tabla 15, se muestra la descripción de los tamices usados para el análisis granulométrico.

Tabla 15. Clasificación del grano de café según su tamaño

Forma del grano	Nº de la criba	Diámetro del agujero (mm)	Tamaño del grano de café
Normal	20	8,00	Muy grande
Aplanado	19	7,50	
	18	7,10	Grande
	17	6,70	
	16	6,30	Mediano
	15	6,00	
	14	5,60	Pequeño
	13	5,00	Muy pequeño
	12	4,75	
	11	4,36	

Fuente: (INEN 290, 1978)

3.5.1.2 Densidad

La densidad aparente del grano se relaciona como la masa de café verde y el volumen que ella ocupa, se determinó mediante la Norma NTE INEN 6669:2013; la prueba consiste en llenar un recipiente de medición logrando que los granos de café estén compactos y evitando los espacios, se registró el peso, y finalmente se calculó mediante la ecuación (2) que a continuación se detalla; las unidades pueden ser: gr/l o kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{gr/kg}{l/m^3} \quad (2)$$

Donde:

ρ: densidad

m: masa

v: volumen

3.5.1.3 Humedad

Para determinar la humedad presente en el grano verde de café se realizó por medio del Método Gravimétrico AOAC 925.10, el cual se calculó por la diferencia de peso y se expresó en porcentaje de humedad (gr de H₂O /100 gr de muestra). Se procedió a pesar aproximadamente cinco gr de muestra en crisoles usando la balanza analítica, las muestras fueron transportadas en el desecador hacia la estufa que estuvo a una temperatura de 105 ° C, finalmente en un lapso de 24 horas el análisis concluyó. Se realizó el cálculo mediante la ecuación (3).

$$\%H = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Peso de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (3)$$

3.5.1.4 Cenizas

El método gravimétrico AOAC 923.03 se usó para determinar los residuos inorgánicos que presentó el grano de café verde, y se expresó en porcentaje. Para este análisis se usó las muestras resultantes del análisis de humedad, que consistió en coger las muestras que salieron de la estufa y llevarlas a la mufla en donde se elimina por completo la presencia de agua y solamente quedan los minerales. Se realizó el cálculo mediante la ecuación (4).

$$\%Cenizas = \frac{(\text{Peso de cápsula} + \text{cenizas}) - (\text{Peso de cápsula vacía}) * 100}{\text{Peso de cápsula} + \text{muestra} - \text{Peso de cápsula vacía}} \quad (4)$$

3.5.1.5 Potencial de Hidrógeno pH

Utilizando el método AOAC 981.12 se determinó el Potencial de Hidrógeno de las variedades de Café Arábica Caturra Amarillo y SL-28, se añadió a la muestra molida 30 ml de agua destilada, luego se agitó durante 30 min, y posteriormente se midió directamente mediante la inmersión de los electrodos del potenciómetro en la solución, automáticamente el equipo registró el dato.

3.5.1.6 Acidez Titulable

La acidez titulable se determinó según el método AOAC 954.07 en donde se preparó la muestra con 30 ml de agua destilada dejando reposar por 30 min, continuando con la titulación con hidróxido de sodio 0.097 N y añadiéndole tres gotas de fenolftaleína, una vez que el color cambie a negro se suspende el paso de hidróxido de sodio, se anota el volumen final, para que posteriormente se realice el cálculo con la ecuación (5):

$$\% \text{ Ácido Máfico} = \frac{VxNx67,04x100}{\text{peso de la muestra (gr)}} \quad (5)$$

Donde:

V: Volumen de solución de Hidróxido de Sodio Na (OH)

N: Normalidad de la solución de Hidróxido de Sodio Na (OH)

3.5.1.7 Proteína

Para la determinación de proteína se aplicó el Método de Kjédahl AOAC 920.87, el cual se divide en tres etapas; mineralización o etapa de digestión con Ácido Sulfúrico, la segunda etapa es la destilación que se realiza en el destilador por arrastre de vapor con Ácido Bórico al 3,00% y con hidróxido de sodio, finalmente la etapa de titulación. El contenido de proteína se calcula con la siguiente ecuación (6):

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(Vf - Vi)xNx0,014 x 6,25x100}{\text{muestra (gr)}} \quad (6)$$

Donde:

Vf: Volumen Final

Vi: Volumen Inicial

N: Normalidad del Ácido Sulfúrico

3.5.1.8 Lípidos

El Método Soxhlet AOAC 920.85 se aplicó para determinar el extracto etéreo, el equipo que se usó en el análisis fue SOXTEST marca Trade Raypa, con capacidad para seis muestras, se procedió a pesar con aproximadamente 0,5 gr de muestra, a la muestra se le añadió 50 ml de éter de petróleo y se llevó al equipo para el respectivo proceso que dura dos horas, transcurrido el tiempo se pesó los casos para a continuación calcular con la ecuación (7):

$$\%Lípidos = \frac{(Peso\ extracto\ etéreo - Peso\ caso) \times 100}{muestra\ (gr)} \quad (7)$$

3.5.1.9 Sólidos Totales

La cantidad de sólidos totales se realizó aplicando la siguiente ecuación (8):

$$\% ST = 100 - \%H \quad (8)$$

3.5.1.10 Azúcares Reductores

El análisis se realizó basándose en el método MAL-53/PEARSON el cual se fundamenta en preparar la muestra triturar, moler y homogenizar; se transfirió la cantidad pesada de muestra a un balón de 100 ml, se disolvió con agua destilada completamente y llevar a volumen. Se pipeteó una alícuota (entre uno y 25 ml) en erlenmeyers de boca esmerilada de 250 ml, se añadió 25 ml de solución luff y agua destilada hasta completar 50 ml en total. Se llevó a reflujo hasta que hierva, por un tiempo de dos minutos, se bajó la intensidad del calor y dejó calentando por 10 minutos más, se enfrió inmediatamente en chorro de agua por tres minutos. Se incorporó tres gramos de Ioduro de Potasio y 25 ml de Ácido Sulfúrico lentamente evitando la formación de espuma. Se tituló inmediatamente con Tiosulfato de Sodio hasta obtener una coloración café clara, finalmente se añadió dos ml de solución de almidón y continuó titulando hasta obtener un color blanco.

3.5.1.11 Polisacáridos

El análisis se realizó con el reactivo de Fehling que consta de dos disoluciones que se mezclan a partes iguales en el momento de su utilización. La solución I está formada por Sulfato de Cobre CuSO_4 al 7,00% en agua y la solución II por tartrato sódico-potásico al 35,00% en Hidróxido de Sodio NaOH al 10,00% en agua. En un tubo se disolvió 500 mg de la sustancia a ensayar en cinco ml de agua. Se procedió de igual manera con otros tubos que contengan azúcares reductores y no reductores conocidos. A continuación se añadió a todos los tubos cinco ml del reactivo de Fehling. Finalmente se sometió a ebullición en baño de agua durante cinco minutos. La reacción debe considerarse positiva si se forma un precipitado rojo de óxido cuproso.

3.5.1.12 Sacarosa

El contenido de sacarosa se definió por medio de cálculo, donde previamente se debía obtener los resultados de azúcares totales y reductores, mediante la ecuación (9):

$$\%Sacarosa = (T1 - B1) \times 0,95 \quad (9)$$

Donde:

T1: Azúcares Totales

B1: Azúcares Reductores

3.5.1.13 Minerales

Se usó el método de espectrofotometría de absorción atómica el que consistió en colocar las cenizas de cada muestra en un balón de 100 ml y aforar, posteriormente se llevó al equipo el cual proporcionó los resultados finales.

3.5.1.14 Cafeína

El método MO-LSAIA-30 se aplicó para determinar cafeína, se usó el equipo cromatográfico de alta eficacia HPLC de marca Agilent Technologies, modelo Infinitely 1200, se inició pesando aproximadamente 0,30 gr de muestra, se agregó 90 ml de agua grado HPLC más 10 ml de solución estándar (teofilina) y se colocó en

erlenmeyers , las muestras pasaron a una plancha de calor hasta concentrarse; continuando con el proceso se filtró y añadió 1 ml de carrez uno y dos, se aforó en balones de 100 ml, se inyectó 10 ml en el vial y finalmente se inyectó los viales en el inyector del equipo, el mismo que previamente ya está programado y calibrado para realizar el análisis respectivo. Mediante la ecuación 10 se calculó el porcentaje de cafeína.

$$\%Cafeína = \frac{Concentración\ ppm\left(\frac{mg}{L}\right) \times Volumen\ Final\ (L)}{Peso\ de\ la\ muestra\ (gr)} \quad (10)$$

3.5.1.15 Color

El color se determinó basándose en el examen visual NTE INEN 288 1978-02, además se usó la escala Pantone para café verde y AGTRON para café tostado que es usado por la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA).

3.5.1.16 Olor

El olor se determinó basándose en el examen olfativo NTE INEN 288 1978-02 para café verde y café tostado.

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES EN EL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

Para la determinación de atributos sensoriales en la bebida de café se usó el protocolo de catación de la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA, 2015), el mismo que incluye ciertas etapas que son: lugar, materiales, preparación de las muestras, características a evaluar y procedimiento para la catación.

3.5.2.1 Características del Lugar

Se necesitó un cuarto con buena iluminación, sin aromas o perfumes, silencioso, tranquilo, sin ruidos de interferencia, temperatura confortable, sin distracciones, teléfono, timbres, espacio suficiente y facilidad para lavar.

3.5.2.2 Materiales

Los materiales utilizados para la evaluación de la taza fueron balanza, tazas (120 ml de preferencia), cucharas de catación (plata o acero), mandiles, vasos para escupir, muestras de café verde, mandiles y molino.

3.5.2.3 Preparación de las muestras

Se seleccionó las muestras quitando los defectos si es necesario. Luego se tostó la muestra al nivel requerido para catación (claro-medio-oscuro). A continuación, se pesó el café tostado 8,25 gr para cada taza, y se preparó cinco tazas por cada muestra. Después, se molió individualmente para cada taza (purgando siempre el molino para evitar contaminación). Se colocó el café molido en cada taza. Se realizó la evaluación en seco. Y finalmente se añadió el agua a cada taza y se procedió a evaluar.

Condiciones que deben cumplir las muestras:

- El café que se va a catar no debe estar molido más de 15 minutos, si esto no es posible hay que colocarlo en envases con tapa para que no se oxigene la muestra.
- Las muestras deben tener por lo menos ocho horas tostadas y no más de 24 horas.
- La molienda adecuada para la infusión en la catación es término medio.
- La concentración ideal de café vs agua debe ser de 8,25 gr por 150 ml de agua; se debe utilizar 0,055 gr de café por ml de agua.
- El agua debe tener entre 125 y 175 ppm, es la concentración de sólidos del agua.
- La temperatura correcta de agua es 93 °C al inicio de la catación.

3.5.2.4 Características a evaluar en la Catación

Fragancia: Olor de la muestra en seco. Intensidad y calidad.

Aroma: Olor de la muestra en mojado. Intensidad y calidad, mediante la Norma NTE INEN-ISO 6668:2012.

Sabor: Se califica que tan intenso o que tan agradable es el sabor, mediante la Norma NTE INEN-ISO 6668:2012.

Sabor Residual: Es el pos gusto, el sabor que queda en la boca después de probar la bebida.

Acidez: se califica intensidad y calidad de acidez, mediante la Norma NTE INEN-ISO 6668:2012.

Balance: Miden la complementación entre los atributos ya calificados, que tan bien interactúan.

Dulzura: Se evalúa la dulzura, si existe o no por cada taza.

Uniformidad: Se castiga si no hay uniformidad entre las tazas de la misma muestra, por dos puntos menos por cada taza diferente.

Limpieza: Se castiga si existe un defecto en alguna o varias tazas. Si todas las tazas tienen esa cualidad, no se la considera un defecto sino una característica de ese café.

Puntaje del Catador: Es la calificación que el catador le da a ese café de acuerdo a su criterio muy personal.

Puntaje Total: Se suman los puntajes totales y se califica sobre 100 puntos.

En la Tabla 16, se observa la escala de calidad que cuenta con 16 puntuaciones, que va desde la más baja que es 6.00 (buena) hasta la más alta que es 9.00 (excepcional), a cada atributo evaluado se le asigna un puntaje.

Tabla 16. Escala de Calidad

Escala de Calidad			
6.00 (Buena)	7.00 (Muy Bien)	8.00 (Excelente)	9.00 (Excepcional)
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

(SCAA, 2015)

3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.6.1 RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El café verde sin pergamino, es decir, café oro después de ser trillado, se lo trasladó al laboratorio donde se realizó la fase experimental de la investigación, en este estado está listo para iniciar el proceso de tostado.

3.6.2 DETERMINACIÓN DE TAMAÑO

Es necesario que se realice la determinación del tamaño de grano, para que la muestra a procesar resulte uniforme y por ende un tostado homogéneo; además se elimina granos secos, pequeños y quebrados. Usando una cantidad de 100 gr de muestra se procede a zarandear la muestra en el juego de mallas como se observa en la Imagen 9.

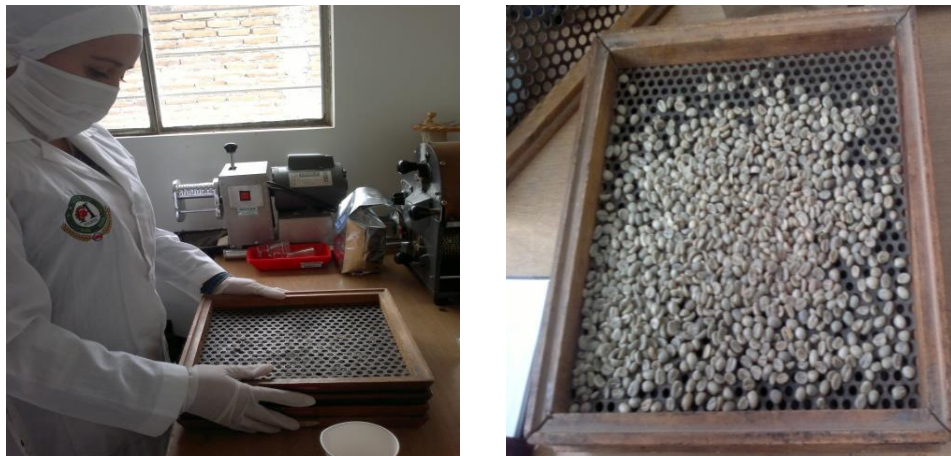


Imagen 9. Determinación de Tamaño

3.6.3 PESAJE

La materia prima de tamaño uniforme se procedió a pesar, 250 gr por cada variedad con el objetivo de tener un registro de la cantidad a ser procesada como se visualiza en la Imagen 10.



Imagen 10. Pesado de Materia Prima

3.6.4 TOSTADO

La cantidad de materia prima (250gr) previamente pesado, ingresa por la tolva de la tostadora como se aprecia en la Imagen 11, la misma que con anterioridad se programó (la temperatura), esperando que se cumpla el tiempo de tostado que se estableció para cada tratamiento, de esta manera el proceso de tostado del café finaliza.



Imagen 11. Tostado de Café

3.6.5 ENFRIADO

Al finalizar el tiempo de tostado, los granos de café comenzaron a salir del tambor mediante el movimiento rotatorio constante que generan las aspás, y salieron hacia el recipiente donde son enfriados como se observa en la Imagen 12.



Imagen 12. Enfriado de café

3.6.6 PESADO

Se realiza el pesaje del grano como se visualiza en la Imagen 13 para conocer el porcentaje de pérdida durante el tostado y luego se procedió a empacar en bolsas plásticas para su conservación. El porcentaje de pérdida en los tratamientos fue del 11,60 al 20,00%.



Imagen 13. Pesado de café tostado

3.6.7 MOLIDO

El molido se usó para inmediatamente preparar la bebida, pero el tiempo de conservación es menor que conservar en grano. El molido se realizó individualmente por cada tratamiento con la finalidad de no mezclar los tratamientos como se aprecia en la Imagen 14.



Imagen 14. Molido de café

3.6.8 EMPACADO

Luego de moler el café de cada tratamiento, se procedió a empacar en bolsas plásticas y codificadas de acuerdo al tratamiento correspondiente. Se almacenó el café tostado en grano y también café tostado molido como se observa en la Imagen 15.



Imagen 15. Empacado de café

3.7 PROCESAMIENTO DE CAFÉ

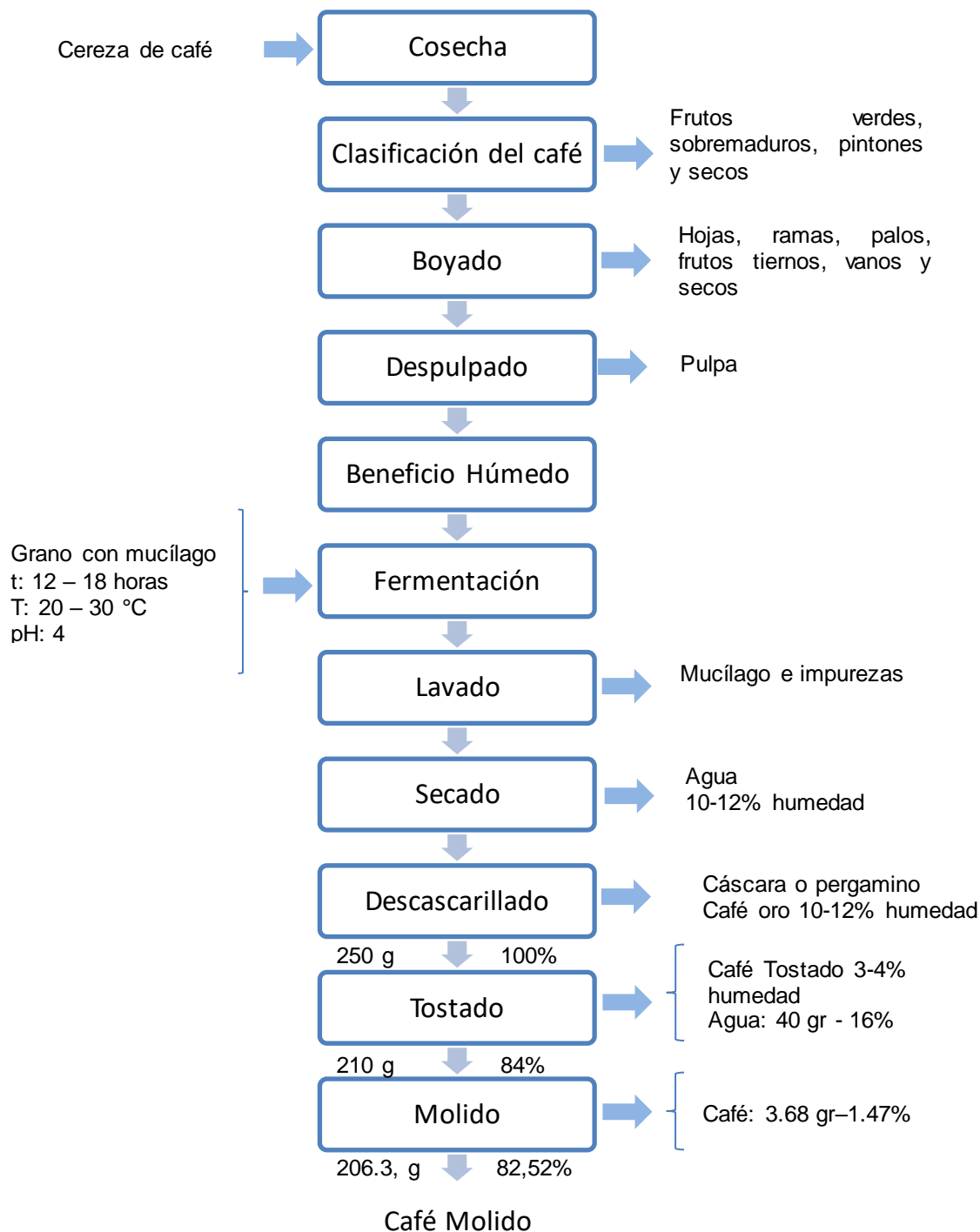


Diagrama 1. Procesamiento de Café

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación, después de realizados los análisis respectivos, obtuvo los siguientes resultados expresados en este capítulo, se presenta inicialmente las propiedades obtenidas de la materia prima, luego del café tostado, seguido del café molido y las propiedades de la bebida cada análisis con su detalle estadístico así:

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (CAFÉ VERDE)

La materia prima que se usó para la fase experimental tuvo un grado de madurez de 217 días después de la floración (ddf), con beneficio húmedo; cultivada a 1350 m.s.n.m, temperatura promedio de 23 °C y humedad relativa de 75%.

4.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las muestras de café de las variedades Caturra Amarillo y SL-28 cosechadas en la parroquia El Goaltal fueron trilladas para eliminar la capa de pergamino y proceder a realizar el análisis de tamaño, contenido de humedad y densidad, como se indica en la Tabla 17.

Tabla 17. Propiedades Físicas del Café Verde en las variedades de Café Arábica

Variables Cuantitativas Físicas	Unidad	Caturra Amarillo	SL-28
Tamaño (diámetro)	mm	6,00	7,10
Humedad	%	10,26	10,40
Densidad aparente	(kg/m ³)	735,20	748,00

El grano verde de la variedad SL-28 presentó un mayor tamaño de 7,10 mm con relación a los 6,00 mm que presentó la variedad Caturra Amarillo. Sin embargo, en la variedad Caturra Amarillo el 85,00% del grano analizado fue de tamaño de 6,00 mm. Mientras, en el grano de la variedad SL-28 el 90,00% tuvo un tamaño de 7,10 mm. Según (INFOCAFES, 2015; Duicela et al. 2015), el tamaño del grano depende de la variedad, fertilidad del suelo y del índice de madurez a la cosecha. Además, la variedad SL-28 pertenece a la designación “*Premium*” para el grano verde que muestra mayor tamaño de criba 18, del mismo modo la variedad Caturra Amarillo recibe la denominación “*Extra*” que exhibe un tamaño menor de criba 16, de acuerdo a (ICO, 2013; Instituto Hondureño del Café 2004). Por consiguiente, es beneficioso obtener un tamaño grande de grano verde para cumplir los requisitos de calidad de exportaciones nacionales e internacionales.

El contenido de humedad en el grano verde fue de 10,40% en la variedad SL-28 y 10,26% en la variedad Caturra Amarillo, como se observa en la Tabla 20. Por lo tanto, la humedad en grano verde de las variedades de café estuvo dentro del rango establecido de 10,00 a 12,00%, estos resultados guardan relación con los establecidos por INFOCAFES (2015) y Duicela et al. (2015). Asimismo, se establece que en humedades mayores al 12,00% hay desarrollo de moho y a humedades inferiores el grano tiende a romperse, en el tostado se queman de manera rápida y afectan el sabor.

La densidad aparente que reportó la variedad SL-28 fue mayor ($748,00 \text{ kg/m}^3$) en relación a la variedad Caturra Amarillo que presentó una densidad de $735,20 \text{ kg/m}^3$; la diferencia de valores obtenidos con respecto a la densidad aparente del grano verde están relacionados directamente con las características propias de cada variedad (Factor Genético). Duicela et al. (2015); Buenaventura & Castaño (2002), expresan que la densidad del grano verde puede variar dependiendo del estado de madurez, altitud del lugar de cultivo y alteraciones de los tejidos del grano.

Por ello es claro que la densidad aparente reportada de las variedades de café verde analizadas están dentro del rango de 645,00 a 750,00 kg/m³ que señala y presentan alta densidad (Prieto, 2002).

4.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

A las muestras de café de las variedades Caturra Amarillo y SL-28 obtenidas en la parroquia El Goaltal previamente trilladas, se les realizaron los análisis de ceniza, pH, acidez, proteína, lípidos, sólidos totales, azúcares reductores, polisacáridos, sacarosa y minerales (Ca, P, Mg, Na) para evaluar sus propiedades químicas, la Tabla 18 muestra los resultados obtenidos de estos análisis.

Tabla 18. Composición Química del Café Verde en las variedades de Café Arábica

Variables Cuantitativas Químicas	Unidad	Caturra Amarillo	SL-28
Cenizas	%	3,48	3,78
pH	---	7,16	6,92
Acidez (como ácido málico)	%	1,14	1,36
Proteína	%	12,58	10,68
Lípidos	%	7,78	7,59
Sólidos Totales	%	89,74	89,60
Azúcares Reductores	%	0,10	0,18
Polisacáridos	%	51,00	49,20
Sacarosa	%	7,56	6,99
Cafeína	%	0,88	0,99
Calcio	mg/l	270,00	173,00
Fósforo	mg/l	323,13	273,50
Magnesio	mg/l	330,00	280,00
Sodio	mg/l	16,46	11,12

El grano verde de la variedad SL-28 presentó un mayor contenido de cenizas de 3,78% con respecto a la variedad Caturra Amarillo que presentó 3,48%, se puede concluir que los valores reportados se asemejan a los encontrados por Puerta (2011) y Bolívar & Gallego (2017), donde los resultados de cenizas en café verde variaron de 3,34% a 5,79%. Asimismo, a una altitud mayor a los 1600 m.s.n.m menor será la cantidad de cenizas, no obstante el contenido de minerales para la variedad SL-28 fue menor con respecto a la variedad Caturra Amarillo que mostró un mayor contenido de minerales.

El grano verde de la variedad Caturra Amarillo presentó un pH mayor (7,16) con relación al grano de la variedad SL-28 que presentó un pH menor (6,92) los dos

valores en la escala de pH corresponde a un pH neutro es decir sin presencia de protones libres Wagner (2005); asimismo, el grano verde de la variedad Caturra Amarillo mostró una acidez mayor de 1,14% como ácido málico con relación a la variedad SL-28 que presentó una acidez de 1,36% cumpliéndose la relación que establece que a mayor acidez menor será el pH y viceversa, estos valores dependerán de los procesos de postcosecha y del tipo de beneficiado del café verde (Uribe et al. 2017; Puerta , 2012; Córdova & Guerrero, 2016).

El contenido de sólidos totales de la variedad Caturra Amarillo fue mayor de 89,74%, en comparación a la variedad SL-28 que mostró 89,60%. Estos valores demuestran que el grano está dentro de un estado óptimo si se contrasta con la humedad establecido en la Norma Mexicana (Norma Oficial Mexicana NOM-169-SCFI, 2007).

El contenido de proteína que reportó la variedad Caturra Amarillo fue mayor (12,58%) en relación a la variedad SL-28 que arrojó 10,68%. Estos valores se asemejan con los encontrados por Smith (1985), en donde el autor menciona que el porcentaje de proteína en café verde varía del 11,00 a 13,00% , sin embargo solo la variedad Caturra Amarillo se encuentra dentro del rango mencionado.

El contenido de lípidos que mostró la variedad Caturra Amarillo fue mayor (7,78%) con semejanza a la variedad SL-28 que reportó un contenido menor de 7,59%. Estos valores difieren con los encontrados por Farah (2012), que encontró valores entre 15,00% y 17,00% en cuanto a composición química de la especie Arábica, de igual manera Puerta (2011) registra un promedio de lípidos para la variedad Borbón de 15,27%, concluyéndose que los datos arrojados en la investigación no concuerdan con otras investigaciones ya que no existe antecedentes con respecto a las variedades estudiadas por lo cual no hay valores para comparar con lo obtenido.

La cantidad de azúcares reductores encontrados en la variedad SL-28 fue mayor (0,18%) en relación a la variedad Caturra Amarillo que fue de 0,10%. Cumpliendo con los valores descritos por (Puerta, 2011) la variedad Caturra Amarillo.

El contenido de polisacáridos que presentó la variedad Caturra Amarillo fue mayor (51,00%) en comparación con la variedad SL-28 que mostró 49,20%. Los valores encontrados están dentro o cercanos al rango de 50,00 a 55,00% que indica (Smith, 1985).

El contenido de sacarosa que reportó la variedad Caturra Amarillo fue mayor (7,56%) con respecto a la otra variedad que mostró un valor de 6,99%. Los datos encontrados son similares a los registrados por Farah (2012), que establece que el contenido de sacarosa en café verde representa hasta el 9,00% del peso seco en la especie Arábica.

Los polisacáridos, azúcares reductores y sacarosa son los componentes encargados de aportar con el aroma, sabor, color, acidez, amargo y formación de espuma en la bebida, por lo tanto es beneficioso contar con cantidades que cumplan los siguientes rangos, una cantidad de (50,00 a 55,00%) polisacáridos, un porcentaje de azúcares reductores de (0,10) y sacarosa de (9%).

El contenido de cafeína en la variedad SL-28 fue mayor (0,99%) con relación a la variedad Caturra Amarillo que presentó el 0,88%. El dato reportado para la variedad SL-28 se encuentra dentro del rango de 0,90 a 1,20% concordando con Farah (2012), sin embargo sucede lo contrario para la variedad Caturra Amarillo que registra un valor menor al rango establecido, estos datos dependerán de la variedad de café.

La variedad Caturra Amarillo fue superior en las características evaluadas, como son: pH, lípidos, proteína, sólidos totales, polisacáridos, sacarosa y minerales (Ca, P, Mg, Na). Mientras, que la variedad SL-28 fue superior en contenido de cenizas, acidez, azúcares reductores y cafeína.

4.1.3 PROPIEDADES SENSORIALES

Las muestras de café de las variedades Caturra Amarillo y SL-28 cosechadas en la parroquia El Goaltal – Carchi fueron previamente trilladas y sometidas al análisis de color y olor sensorial, como se indica en la Tabla 19.

Tabla 19. Propiedades Sensoriales del Café Verde en las variedades de Café Arábica

Variables Cualitativas	Caturra Amarillo	SL-28
Color	Verde Claro	Verde Claro
Olor	limpio	limpio

Las características sensoriales de color y olor de los granos verdes de café en las variedades Caturra Amarillo y SL-28 presentaron igual color y olor. Donde, el color en las dos variedades fue verde claro que corresponde a 5793 C en la escala Pantone. El color tiene relación con el contenido humedad y altura de procedencia del grano verde, donde las tonalidades de color varían desde verde claro hasta blancuzco a partir de una humedad del 9,00 al 15,00%. Mientras, el cambio de tonalidad del color en función de la altura de procedencia del grano varía desde color gris azulado en la zona alta (>1000 msnm) a color verde pálido en la zona baja (<1000 msnm), según (INFOCAFES, 2015). Por lo tanto, el color del grano de café verde de las dos variedades en estudio presentó un color verde claro, ya que la zona de cultivo está a 1350 m.s.n.m.

Asimismo, el atributo del olor es considerado limpio propio de café verde, sin presencia de olores extraños a químicos o madera y sin contaminación. Esto se debe a una correcta postcosecha y a la edad joven de las plantas de seis años, al no presentar un olor a madera de plantas viejas (INFOCAFES, 2015).

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DEL GRANO DE CAFÉ TOSTADO

4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En las muestras de café tostado de las variedades Caturra Amarillo y SL-28, se realizaron los análisis de tamaño, contenido de humedad y densidad aparente a los ocho tratamientos en estudio.

4.2.1.1 Tamaño del grano de Café Tostado.

En la Tabla 20, se indican los valores iniciales y finales del tamaño de grano de café y el porcentaje de crecimiento para cada uno de los tratamientos.

Tabla 20. Crecimiento del grano de café

Variedad	Tratamiento	Tamaño grano verde	Tamaño grano tostado	Crecimiento (mm)	Crecimiento (%)
SL-28	T7	7,10	8,00	0,90	12,68
	T5	7,10	7,50	0,40	5,63
	T3	7,10	7,50	0,40	5,63
	T1	7,10	7,10	0,00	0,00
Caturra amarillo	T8	6,00	7,10	1,10	18,33
	T6	6,00	6,30	0,30	5,00
	T4	6,00	6,30	0,30	5,00
	T2	6,00	6,00	0,00	0,00

En el Gráfico 1, se observa los resultados del tamaño del grano tostado de los ocho tratamientos.

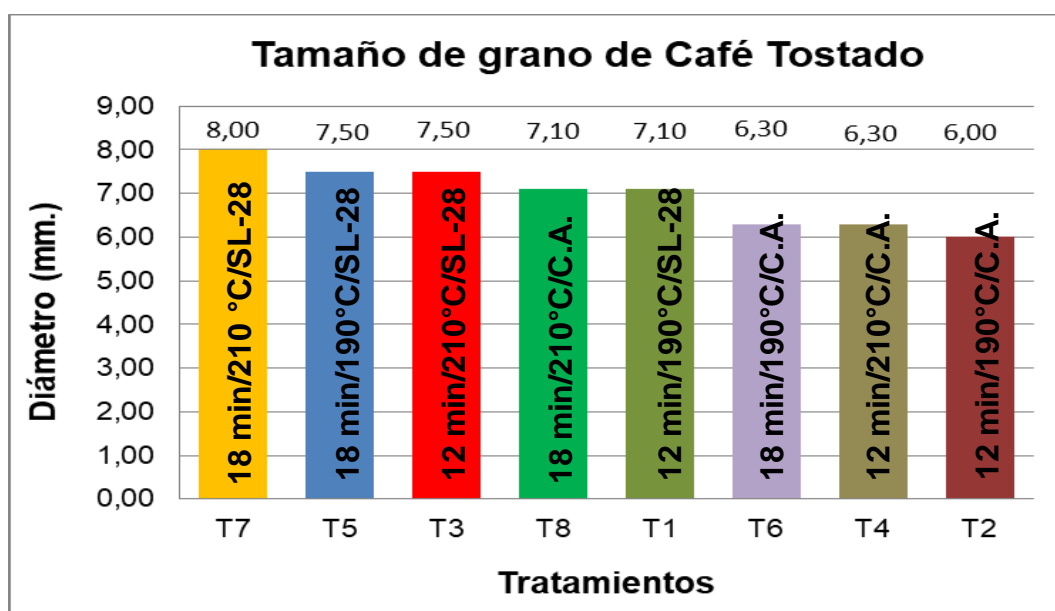


Gráfico 1. Tamaño del grano de Café Tostado

El tratamiento T8 de la variedad Caturra Amarillo obtuvo un mayor incremento de tamaño, de 6,00 mm de tamaño inicial en grano verde a 7,10 mm en grano tostado que representa el 18,33%; por el contrario los tratamientos T1 y T2 no presentaron incremento en su tamaño debido a que fueron sometidos a menor tiempo y temperatura de tostado.

Se determinó que los factores tiempo y temperatura influyen directamente con el tamaño del grano como se puede observar en los tratamientos T7 y T8 que a

mayor temperatura y tiempo existe una mayor generación de gases de combustión (CO y CO₂) que aumentan la presión interna en el grano dando como resultado el aumento de su tamaño (Díaz, 2014). Sin embargo para los tratamientos T1 y T2 no existió un aumento de tamaño porque fueron sometidos a temperaturas y tiempos bajos donde no se permite la formación de gases que ejercen presión provocando el hinchamiento del grano y el aumento del volumen.

4.2.1.2 Densidad Aparente del grano de Café Tostado

En la Tabla 21, se observan los datos del análisis físico de densidad aparente en de café tostado de los ocho tratamientos, expresados en (kg/m³).

Tabla 21. Datos experimentales de Densidad Aparente (kg/m³) de Café Tostado

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	481,640	479,840	481,700	1443,180	481,060
T2	527,700	527,900	527,200	1582,800	527,600
T3	354,380	354,650	354,950	1063,980	354,660
T4	382,170	382,140	382,080	1146,390	382,130
T5	410,085	409,915	410,000	1230,000	410,000
T6	440,930	441,990	441,880	1324,800	441,600
T7	343,450	343,150	343,780	1030,380	343,460
T8	349,900	351,330	349,970	1051,200	350,400

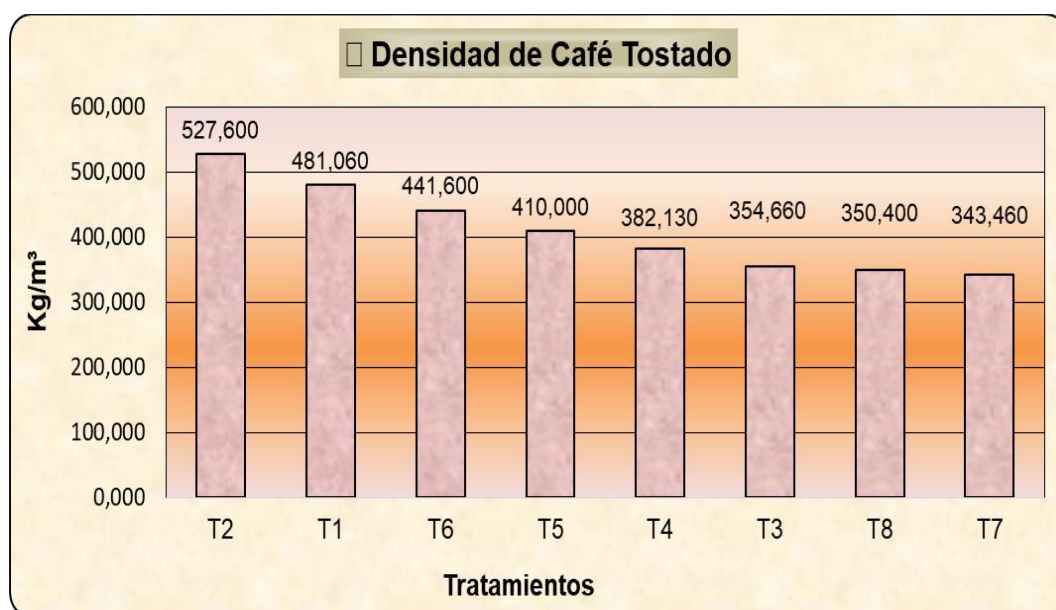


Gráfico 2. Densidad Aparente de los tratamientos de Café Tostado

En el Gráfico 2, se observa que los tratamientos T1 y T2 presentaron mayor densidad aparente, mientras que los tratamientos T7 y T8 mostraron un descenso significativo en la densidad aparente. Esto demuestra la relación inversa existente entre la temperatura y tiempo con la densidad aparente; es decir que a mayor tiempo y temperatura de tostado la densidad aparente disminuirá y viceversa.

También se determinó la relación inversa presente entre el tamaño del grano y la densidad aparente, ya que a menor tamaño del grano mayor será la densidad aparente, esto debido a que los granos con menor crecimiento durante el proceso de tostado al haber sido tratados con temperaturas y tiempos menores no eliminaron una cantidad considerable de humedad ni generaron la cantidad de gases de combustión necesarios para la expansión del grano (Prieto, 2002) ocurriendo lo contrario al someter al grano a temperaturas y tiempos de tostado elevados como en el caso de los tratamientos T7 y T8.

Tabla 22. Análisis de varianza de la Densidad Aparente Café Tostado

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	95050,701				
Tratamientos	7	95045,848	13577,978	44761,490 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	14998,500	14998,500	49444,416 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	69211,782	69211,782	228165,225 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	4750,313	4750,313	15659,998 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	4884,621	4884,621	16102,760 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	471,795	471,795	1555,332 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	717,117	717,117	2364,066 **	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	11,718	11,718	38,630 **	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	4,853	0,303			
CV=		0,017 %				

** : Altamente significativo

En la Tabla 22, se muestra el análisis de varianza de la densidad aparente en los tratamientos de café tostado, donde se estableció diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) tanto para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura), factor **C** (variedad) y las interacciones AB, AC, BC y ABC.

Al existir diferencia altamente significativa se realizó la prueba de Tukey para tratamientos.

Tabla 23. Prueba de Tukey para Densidad Aparente de Café Tostado

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T2	527,60	a
T1	481,06	b
T6	441,60	c
T5	410,00	d
T4	382,13	e
T3	354,66	f
T8	350,40	g
T7	343,46	h

En la Tabla 23, se visualiza el análisis funcional a la densidad aparente de los granos de café tostado mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontró ocho rangos con comportamiento diferente, donde los rangos **f**, **g** y **h** corresponden a los mejores tratamientos: T3 (12 min, 210 °C, SL-28), T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo) y T7 (18 min, 210 °C, SL-28) ya que de acuerdo a Peláez, (1995) el rango óptimo de densidad para café tostado es de 250,00 a 360,00 kg/m³. Se determinó que los tratamientos tostados a temperatura de 210° C y tiempo de 18 min presentaron una disminución en la densidad aparente como resultado de las pérdidas de peso por la evaporación del agua durante el proceso de tostado, existiendo una relación que a mayor temperatura y tiempo la densidad aparente disminuye.

El análisis funcional a las medias de densidad aparente de los factores **A** (tiempo), **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre la densidad aparente del café tostado, como se puede apreciar en las Tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	436,36	a
A2	386,36	b

Tabla 25. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	465,06	a
B2	357,66	b

Tabla 26. Diferencia Mínima Significativa de Densidad de Café Tostado Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C2	425,43	a
C1	397,29	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A, B y C permitió observar que a un tiempo de tostado de 18 min, temperatura de 210 °C y con la variedad SL-28, en estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto en la disminución de la densidad aparente de café tostado con relación a los tratamientos de la variedad Caturra Amarillo que fueron sometidos a bajas temperaturas y tiempos.

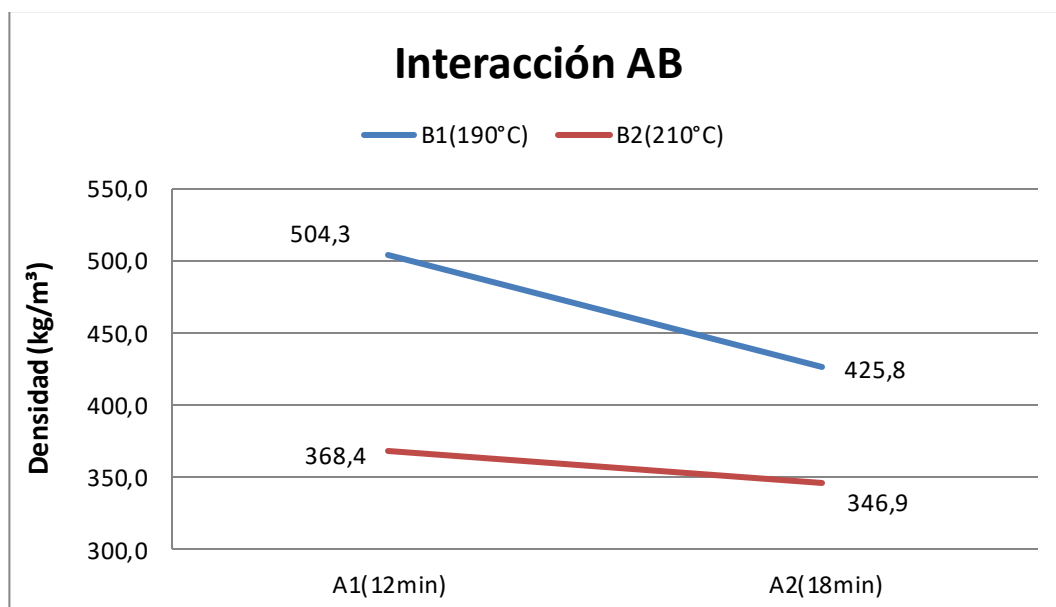


Gráfico 3. Interacción de los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Densidad Café Tostado.

En el Gráfico 3, se puede observar que la densidad del café tostado disminuye a medida que aumenta el tiempo de tostado de 12 a 18 min y la temperatura de 190

°C a 210 °C; debido a que a mayor tiempo de procesamiento y mayor temperatura de tostado mayor es la pérdida de peso por evaporación del agua, así como mayor será la generación de gases CO y CO₂ en el interior del grano que provocan la expansión del mismo (Prieto, 2002; Peláez, 1995).

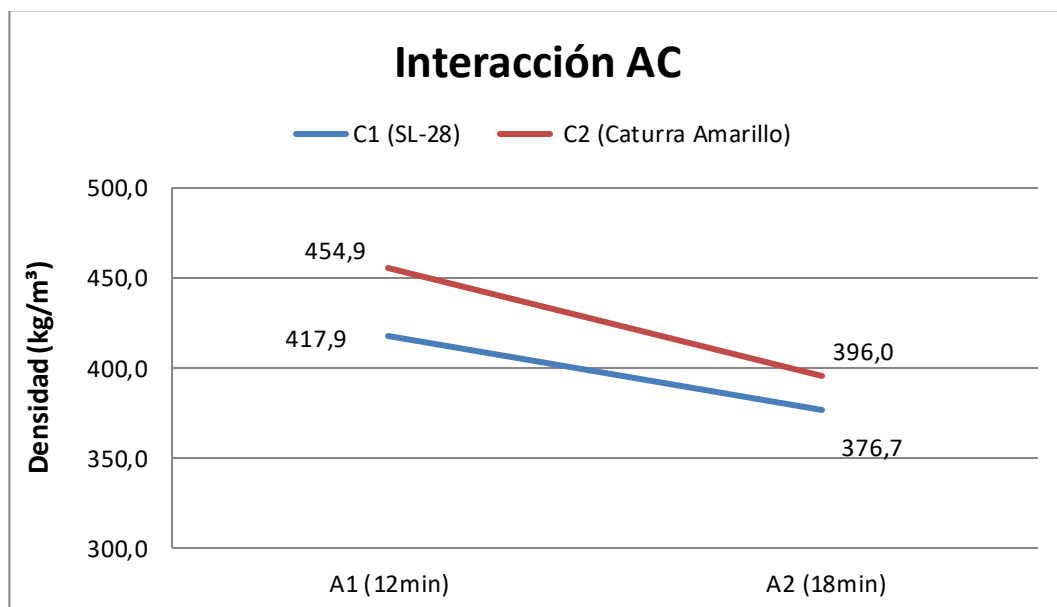


Gráfico 4. Interacción de los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Densidad Café Tostado.

En el Gráfico 4, se evidencia un comportamiento similar en ambas variedades y es que la densidad aparente disminuye a medida que es mayor el tiempo de procesamiento, sin embargo las curvas nunca se cruzan debido a que se están evaluando dos variedades diferentes, lo cual hace que las mismas sean completamente independientes, este comportamiento puede observarse de la misma manera en la interacción de los factores B y C, que se presenta en el Gráfico 5.

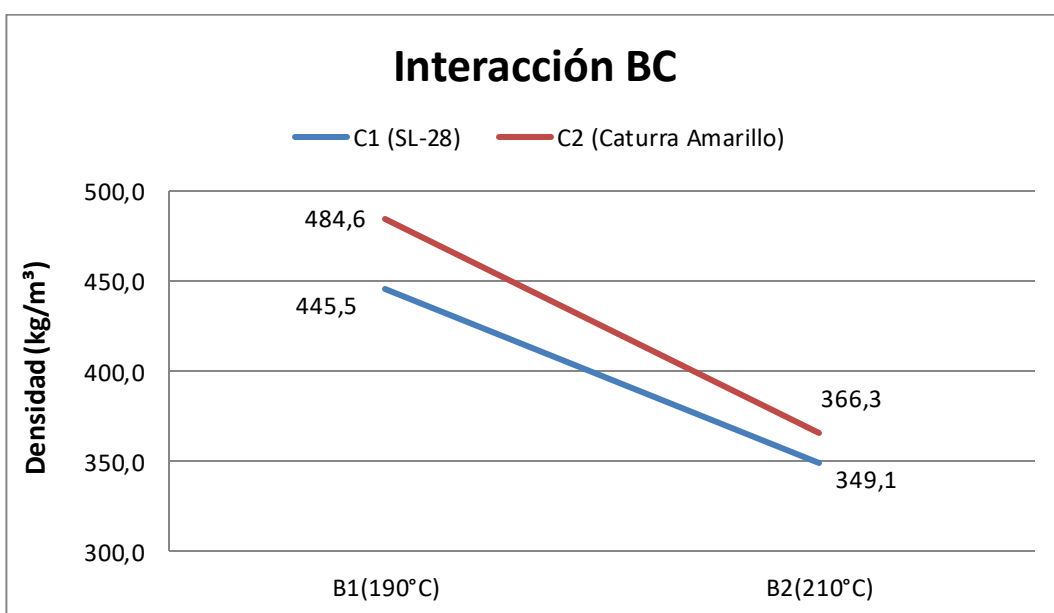


Gráfico 5. Interacción de los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Densidad Café Tostado.

4.2.1.3 Contenido de Humedad en el grano de Café Tostado

En la Tabla 27, se observan los datos del análisis físico de humedad en (%) de los ocho tratamientos que se sometieron al proceso de tostado.

Tabla 27. Datos experimentales de Humedad (%) de Café Tostado

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	1,870	1,810	1,790	5,470	1,820
T2	1,700	1,950	1,850	5,500	1,825
T3	1,600	1,990	1,780	5,370	1,795
T4	1,620	1,990	1,830	5,440	1,805
T5	1,700	1,760	1,730	5,190	1,730
T6	1,780	1,690	1,740	5,210	1,735
T7	1,550	1,810	1,690	5,050	1,680
T8	1,690	1,650	1,660	5,000	1,670

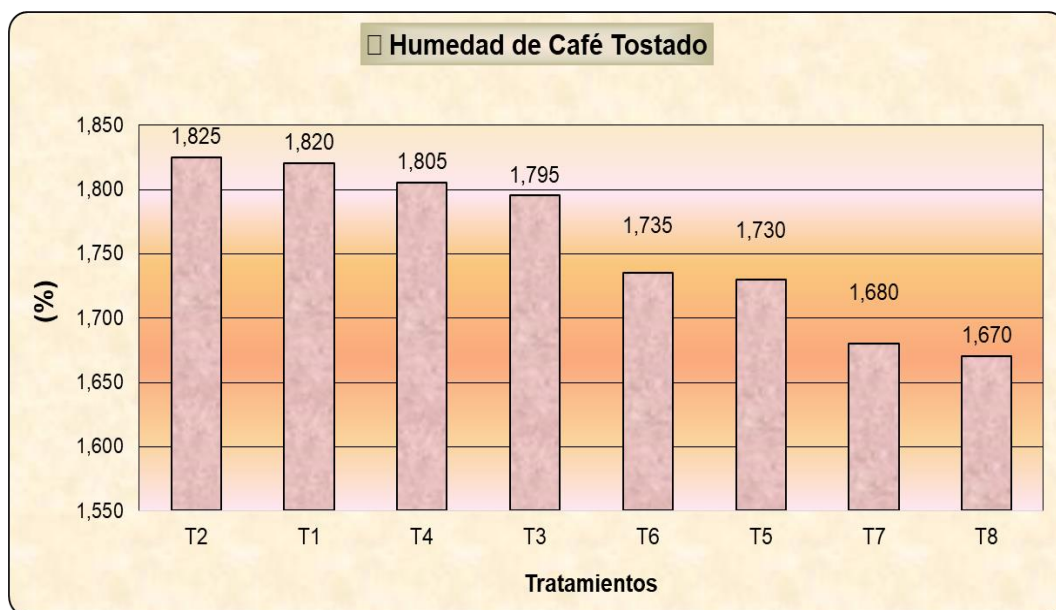


Gráfico 6. Humedad de los tratamientos de Café Tostado

En el Gráfico 6, se observa el contenido de humedad de los ocho tratamientos que se encuentran dentro del límite máximo según la Norma NTE INEN 1123-2016. Sin embargo, hubo tratamientos que disminuyeron unos más que otros y todo esto se debe al tiempo de tostado, por ejemplo los tratamientos sometidos a 18 min (T6, T5, T7, T8) disminuyeron la humedad en mayor proporción esto quiere decir que se eliminó más cantidad de agua que en los tratamientos sometidos a tostado por 12 min (T2, T1, T4, T3).

Asimismo, todos los tratamientos presentaron un menor contenido de humedad a causa de la evaporación del agua durante el proceso de tostado donde se elimina de 10,00 al 12,00% de humedad Sánchez et al. (2007), el porcentaje de humedad perdido en el proceso de tostado depende del tipo de tueste que se haya realizado, a medida que más oscuro sea menor humedad presentará el café tostado.

Tabla 28. Análisis de varianza de la Humedad de Café Tostado

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,308				
Tratamientos	7	0,087	0,012	0,906 ^{N.S}	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,074	0,074	5,341 [*]	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,011	0,011	0,785 ^{N.S}	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,000	0,000	0,015 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,002	0,002	0,109 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,001	0,001	0,051 ^{N.S}	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,000	0,000	0,003 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,001	0,001	0,037 ^{N.S}	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,221	0,014			
CV=		0,835 %				

*: Significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 28, se presenta el análisis de varianza de la humedad de café tostado, donde se encontró significación estadística ($p < 0.01$) para factor **A** (tiempo). Por lo tanto, se realizó la prueba Diferencia Mínima Significativa para factor **A**.

El análisis funcional a las medias de humedad de los factores **A** (tiempo), mediante la prueba de Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre la humedad del café tostado.

Tabla 29. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	1,81	a
A2	1,70	b

En la Tabla 29, se puede apreciar la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para el factor **A**; es decir el tiempo de tostado 18 min fue el único factor que influyó en mayor proporción en la disminución de la humedad del café tostado y hubo una pérdida significativa que a 12 min de tostado.

El contenido de humedad de los tratamientos de las variedades Caturra Amarillo y SL-28 disminuyó en comparación de la materia prima, esto se debe a que se sometió al grano de café a un proceso térmico que al elevar el tiempo del mismo

causa la evaporación del agua contenida en el grano y por ende la disminución de la humedad y peso.





4.2.2 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

Se procedió a realizar el análisis sensorial de color y olor a las muestras de café tostado de las variedades Caturra Amarillo y SL-28, para conocer los cambios producidos durante el proceso de tostado. Cabe recalcar que el color y olor obtenido luego del proceso de tueste se conservará después de realizarse el proceso de molienda.

4.2.2.1 Color y Olor del Café Tostado

En la Tabla 30, se observa el color y olor que presentaron los ocho tratamientos.

Tabla 30. Color y Olor de Café Tostado

Tratamientos	Color	Agtron (SCAA)	Olor
T1 y T2	Canela	 Agtron 75	Carne cruda
T3 y T4	Full City	 Agtron 45	Humo, caucho y cuero
T5 y T6	Medio o City	 Agtron 55	Carne asada y dulce
T7 y T8	Oscuro	 Agtron 35	Humo, caucho y cuero

El color cambia durante el proceso de tostado, varía desde verde claro a marrón oscuro, debido principalmente al incremento de tiempo y temperatura al que fue sometido el grano de café esto genera la producción de melanoidinas que le dan el color oscuro al grano (Puerta, 2011). Se determinó que el color del grano está relacionado directamente con el tiempo y temperatura, es decir que a mayor temperatura y tiempo de tostado el grano se torna más oscuro, y sucede lo opuesto al disminuir el tiempo y la temperatura los granos presentan una coloración clara.

El cual es determinado mediante un colorímetro que trabaja con una numeración de acuerdo al tipo de tueste, donde las puntuaciones más altas son para tuestes claros y las más bajas para tuestes oscuros.

El olor es diferente en los tratamientos dependiendo del grado de tostación, debido a la formación de los ácidos aromáticos y clorogénicos, que contribuyen en la fragancia con mayor efectividad en ciertos tratamientos. El análisis organoléptico determinó que existe una relación directa entre el tiempo y temperatura de tostado con respecto al olor del grano; lo que indica que a mayor tiempo y temperatura de tostado mayor será la formación de compuestos aromáticos (furanos piridinas, aminas, aldehído, cetonas, alcoholes, etc.)

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN EL GRANO DE CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En el presente trabajo se evaluó las características físicas como tamaño, densidad y humedad del café tostado y molido en ocho tratamientos, los cuales se combinaron con tres factores: tiempo, temperatura y variedad de Café Arábica.

4.3.1 TAMAÑO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

La granulometría que se usó para todos los tratamientos fue de tres (mm), con la finalidad de mantener una igualdad al momento de realizar los análisis químicos no vayan a ser afectados los resultados, y además en el momento de preparación de la bebida se requiere homogeneidad, como establece Guevara & Castaño (2005), a mayor tamaño de partícula menor será el área de contacto entre el agua y café. Existe una clasificación de acuerdo al tamaño de la partícula y cada granulometría es usada para preparar un diferente tipo de café (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1978).

4.3.2 DENSIDAD CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 31, se evidencian las densidades en (kg/m^3) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 31. Datos experimentales de Densidad (kg/m^3) de Café tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	460,000	475,000	480,000	1415,000	471,677
T2	510,000	510,000	505,000	1525,000	508,333
T3	345,000	350,000	345,000	1040,000	346,667
T4	380,000	385,000	365,000	1130,000	376,667
T5	400,000	405,000	400,000	1205,000	401,667
T6	435,000	430,000	445,000	1310,000	436,667
T7	335,000	345,000	330,000	1010,000	336,667
T8	330,000	350,000	335,000	1015,000	338,333

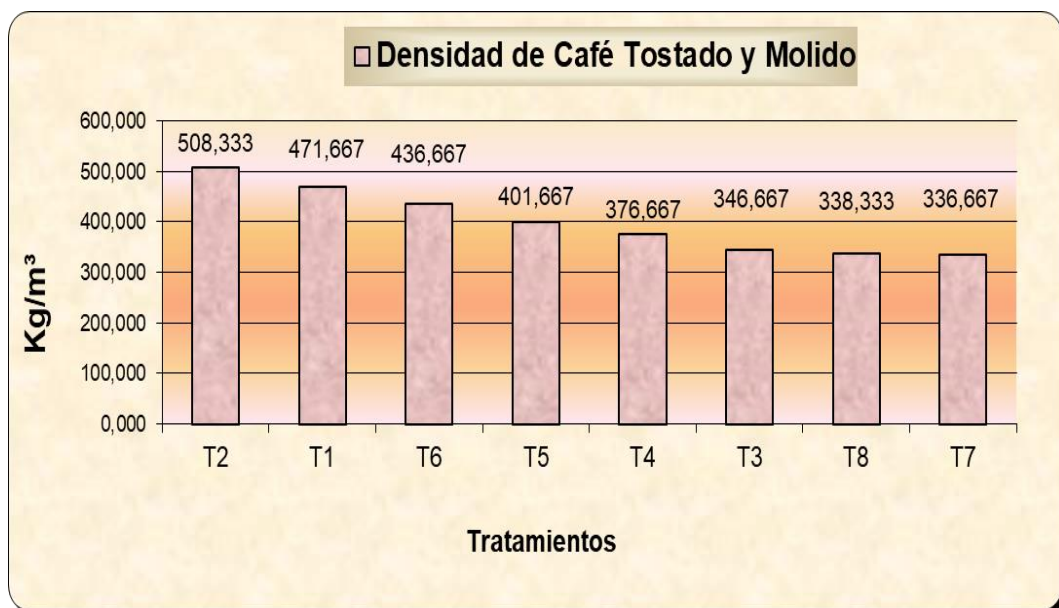


Gráfico 7. Densidad de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 7, se muestra que los tratamientos T1 y T2 reportaron mayor densidad aparente a lo contrario de los tratamientos T8 y T7 presentaron un descenso en la densidad aparente. Con esta conducta en los tratamientos se expone la relación que existe entre la temperatura con la densidad aparente en donde a mayor tiempo de tostado la densidad aparente disminuye y viceversa; de acuerdo a investigaciones por parte de Díaz, (2014) la disminución de la densidad se debe principalmente a la evaporación del agua contenida en el grano de café que provocó la pérdida de peso.

Tabla 32. Análisis de varianza de la Densidad de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	89095,833				
Tratamientos	7	88162,500	12594,643	215,908 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	13537,500	13537,500	232,071 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	66150,000	66150,000	1134,000 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	4004,167	4004,167	68,643 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	3266,667	3266,667	56,000 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	337,500	337,500	5,786 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	600,000	600,000	10,286 **	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	266,667	266,667	4,571 *	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	933,333	58,333			
CV=	1,900 %					

** : Altamente significativo, * : significativo.

En la Tabla 32, se aprecia el análisis de varianza que estableció alta significación estadística ($p < 0.01$), para: tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura), factor **C** (variedad) y las interacciones AB, AC, BC y significación para la interacción ABC.

Al existir diferencia altamente significativa se realizó la prueba de Tukey para tratamientos.

Tabla 33. Prueba de Tukey para Densidad de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T2	508,33	a
T1	471,67	b
T6	436,67	c
T5	401,67	d
T4	376,67	e
T3	346,67	f
T8	338,33	f
T7	336,67	f

En la Tabla 33, al realizar la prueba Tukey ($\alpha < 0.05$), se determinaron seis rangos con comportamiento diferente, donde el rango **f** corresponde a los mejores tratamientos: T3 (12 min, 210 °C, SL-28), T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo) y T7 (18 min, 210 °C, SL-28); en consecuencia los mismos que se encuentran

dentro de los límites de aceptación de 250 a 360 kg/m³ según menciona (Peláez, 1995). Debido a que la densidad del grano tostado y molido depende del grado de torrefacción, grado de molienda y contenido de humedad, como indica (Cuéllar & Castaño, 2001).

El análisis funcional a las medias de densidad de los factores **A** (tiempo), **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre la densidad del café tostado y molido, como se puede observar en las Tablas 34, 35, y 36.

Tabla 34. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido

Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	425,83	a
A2	378,33	b

Tabla 35. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido

Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	454,58	a
B2	349,58	b

Tabla 36. Diferencia Mínima Significativa para Densidad de Café Tostado y Molido

Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C2	415,00	a
C1	389,16	b

Las pruebas de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A, B y C arrojan dos rangos, donde el mejor rango (**b**) corresponde a un tiempo de tostado de 18 min, temperatura 210 °C y variedad SL-28, ya que afectaron en mayor proporción la disminución de la densidad. Es favorable tener mayor disminución de la densidad porque existe el desarrollo completo de las reacciones químicas, la formación de gases de combustión en su totalidad y la disminución de la humedad que permite el desarrollo de los atributos sensoriales como son aroma, acidez, sabor y cuerpo característico del café tostado.

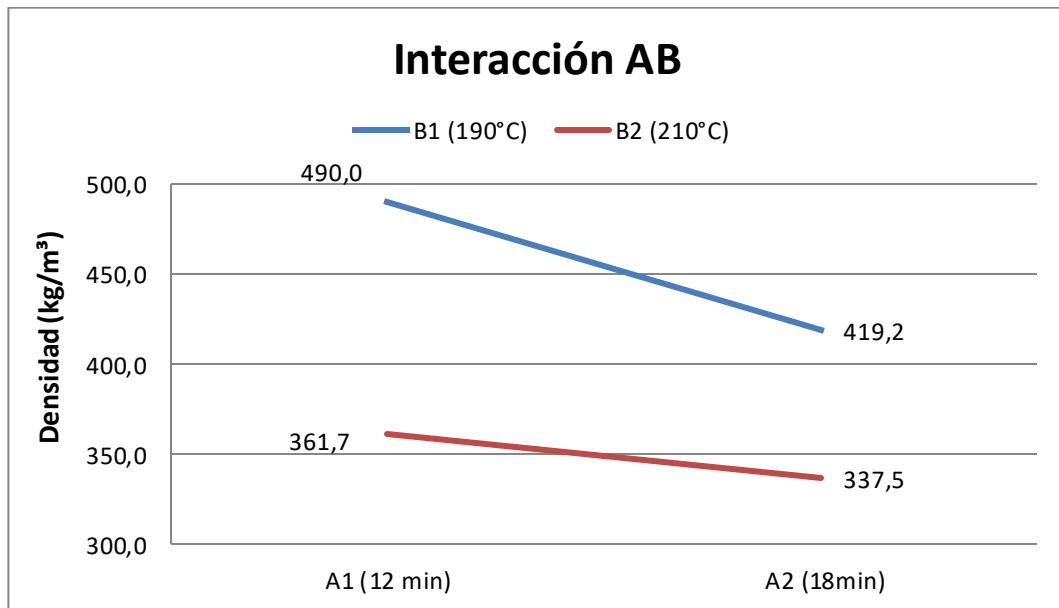


Gráfico 8. Interacción de los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Densidad de Café Tostado y Molido.

En el Gráfico 8, se puede observar que la densidad del café tostado y molido se reduce a medida que se aumenta el tiempo de 12 a 18 min y la temperatura de 190 a 210 °C; debido a la mayor pérdida de peso por la evaporación del agua y la generación de CO y CO₂ los gases que causan la expansión del grano (Prieto, 2002; Peláez, 1995). Según el Gráfico 8 se evidencia un comportamiento de las rectas en donde sí se aumenta el tiempo de procesamiento pueden cruzarse, esta interacción puede representar el punto óptimo entre el tiempo de procesamiento y temperatura de tostado para la variable de respuesta (densidad aparente).

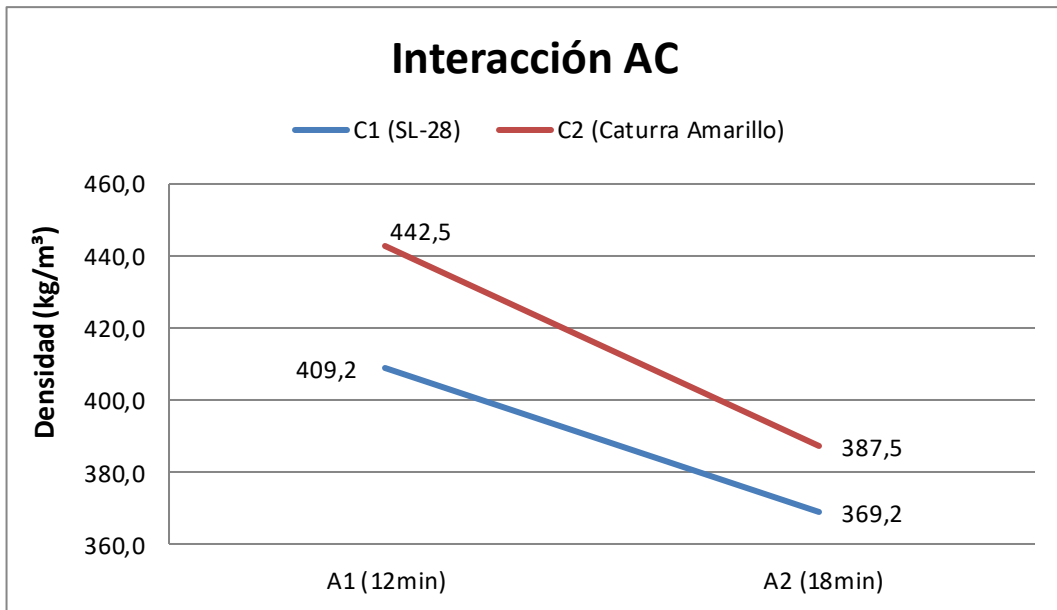


Gráfico 9. Interacción de los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Densidad de Café Tostado y Molido.

En el Gráfico 9, se puede apreciar que la densidad de café tostado y molido disminuye a medida que se aumenta el tiempo de 12 a 18 min con la variedad Caturra Amarillo que presenta una reducción en una proporción mayor que la variedad SL-28, sin embargo en la gráfica no existió interacción entre los factores tiempo y variedad porque se están evaluando dos variedades diferentes las mismas que presentan comportamientos independientes entre sí, esta conducta también se refleja en el Gráfico 10.

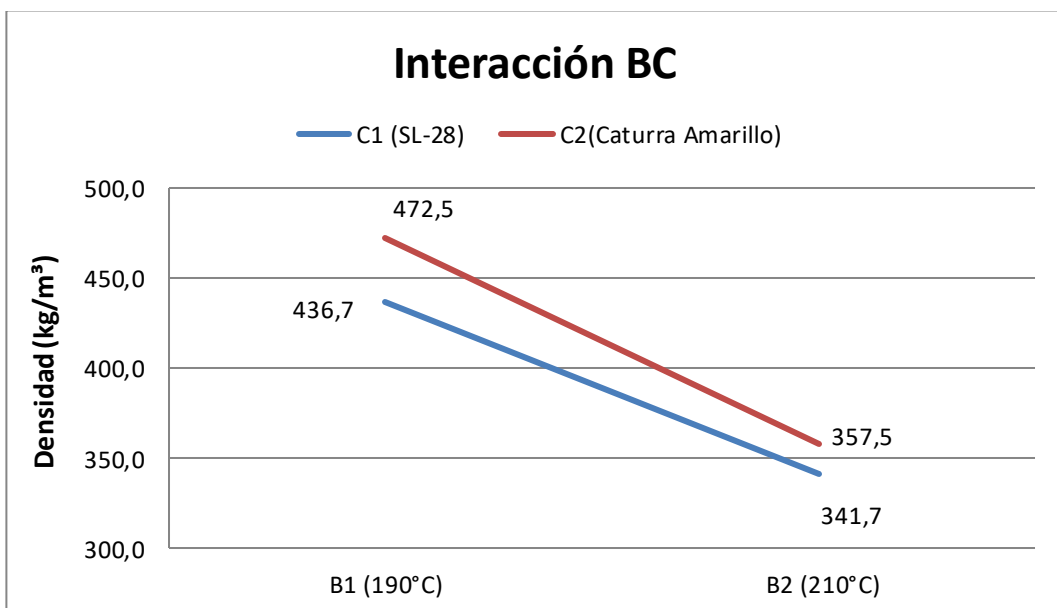


Gráfico 10. Interacción de los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Densidad de Café Tostado y Molido.

4.3.3 HUMEDAD CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 37, se evidencia el contenido de humedad en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 37. Datos experimentales de Humedad (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	1,980	1,930	1,950	5,860	1,953
T2	1,970	1,960	1,980	5,910	1,970
T3	1,810	1,840	1,820	5,470	1,823
T4	1,860	1,810	1,840	5,510	1,837
T5	1,490	1,450	1,440	4,380	1,460
T6	1,420	1,440	1,430	4,290	1,430
T7	1,380	1,390	1,370	4,140	1,380
T8	1,340	1,350	1,360	4,050	1,350

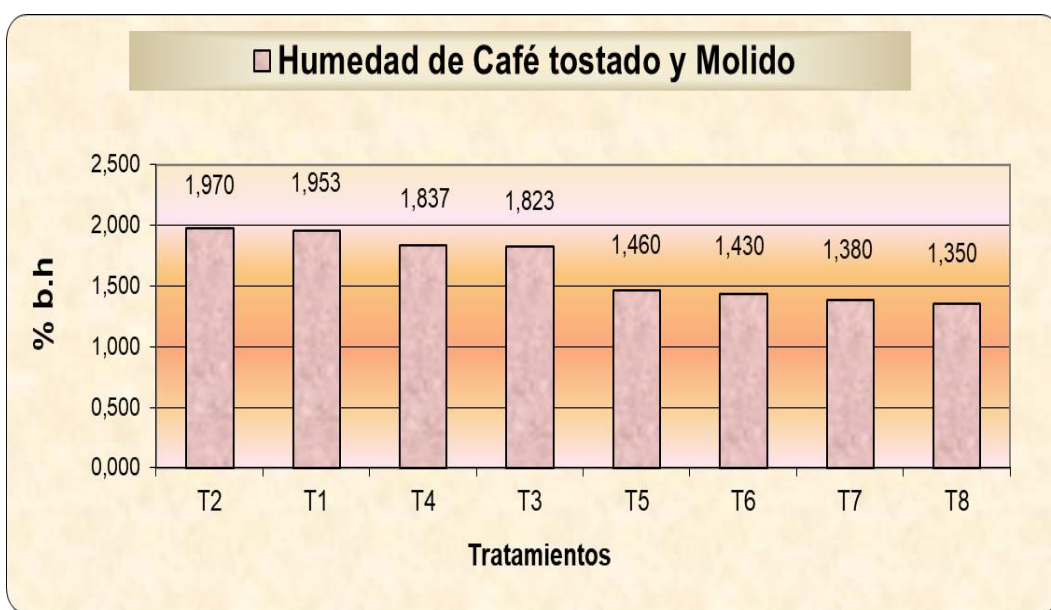


Gráfico 11. Humedad de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 11, se observa el contenido de humedad de los ocho tratamientos que se encuentran dentro del límite máximo según la Norma NTE INEN 1123-2016. No obstante, hubo tratamientos que disminuyeron la humedad unos más que otros y esto se debe al tiempo de tostado, por ejemplo los tratamientos sometidos a 18 min (T5, T6, T7, T8) disminuyeron la humedad en mayor proporción esto quiere decir que se evaporó más cantidad de agua, mientras que los sometidos a 12 min (T2, T1, T4, T3) también disminuyeron pero en menor proporción. Esto

demuestra la relación inversa que existe entre el tiempo y la humedad, en donde a mayor tiempo de tostado menor cantidad de humedad. Además, todos los tratamientos tostados y molidos presentaron un menor contenido de humedad a causa de la evaporación del agua durante el proceso de tostado donde se elimina alrededor de 10,00 al 12,00% de su humedad inicial como menciona Sánchez et al. (2007) en su investigación, el porcentaje de humedad perdido en el proceso de tostado depende del tipo de tueste que se haya realizado, a medida que más claro sea mayor humedad presentará el café tostado y molido.

Tabla 38. Análisis de varianza de Humedad de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	FT. 5%
Total	23	1,525				
Tratamientos	7	1,520	0,217	668,174 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	1,445504	1,445504	4447,705 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,067204	0,067204	206,782 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,000338	0,000338	1,038 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,004004	0,004004	12,321 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,003038	0,003038	9,346 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,000004	0,000004	0,013 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,000004	0,000004	0,013 ^{N.S}	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,005200	0,000325			
CV=	1,092					

** : Altamente significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 38, se muestra el análisis de varianza que se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$) para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura) y las interacciones AB y AC. Al existir alta significación se realizó la prueba de Tukey para tratamientos.

Tabla 39. Prueba de Tukey para Humedad de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T2	1,97	a
T1	1,95	a
T4	1,83	b
T3	1,82	b
T5	1,46	b
T6	1,43	b
T7	1,38	b
T8	1,35	b

En la Tabla 39, se observa el análisis funcional a la humedad de café tostado y molido mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$) se encontró dos rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **a** y **b** se localizaron los mejores tratamientos T2 (12 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T1 (12 min, 190 °C, SL-28), T4 (12 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T3 (12 min, 210 °C, SL-28), T5 (18 min, 190 °C, SL-28), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T7 (18 min, 210 °C, SL-28) y T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo); los valores de la humedad en café molido son más altos debido a que existe una mayor área de contacto de la partícula y a la actividad higroscópica que tiende a adoptar la humedad del ambiente, sin embargo se encuentran dentro del rango según la Norma NTE INEN 1123-2016, en la que se establece que el valor máximo de humedad aceptado es de 3,50%, la importancia del contenido de humedad radica en que valores más altos de lo permitido pueden acelerar el deterioro del producto, incitando el desarrollo de microorganismos como los hongos; asimismo el deterioro de los lípidos presentes (Valencia, Pinzón, & Gutiérrez, 2015).

El análisis funcional a las medias de humedad de los factores **A** (tiempo) y **B** (temperatura), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde a los niveles de cada factor que tuvo mayor efecto sobre la humedad del café tostado y molido, como se puede apreciar en las Tablas 40 y 41.

Tabla 40. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado y Molido Factor

A		
FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	1,89	a
A2	1,40	b

Tabla 41. Diferencia Mínima Significativa de Humedad de Café Tostado y Molido Factor

B		
FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	1,70	a
B2	1,59	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A y B; determinó que rango **b** se comporta de forma diferente pero los

valores están dentro de lo establecido por la Norma NTE INEN 1123-2016, a su vez, los factores tiempo y temperatura (12 min y 210 °C) influyeron en mayor proporción sobre la disminución de la humedad de café tostado y molido, esto quiere decir que es beneficioso que exista una mayor evaporación de agua porque de esta manera se concentraran los compuestos orgánicos.

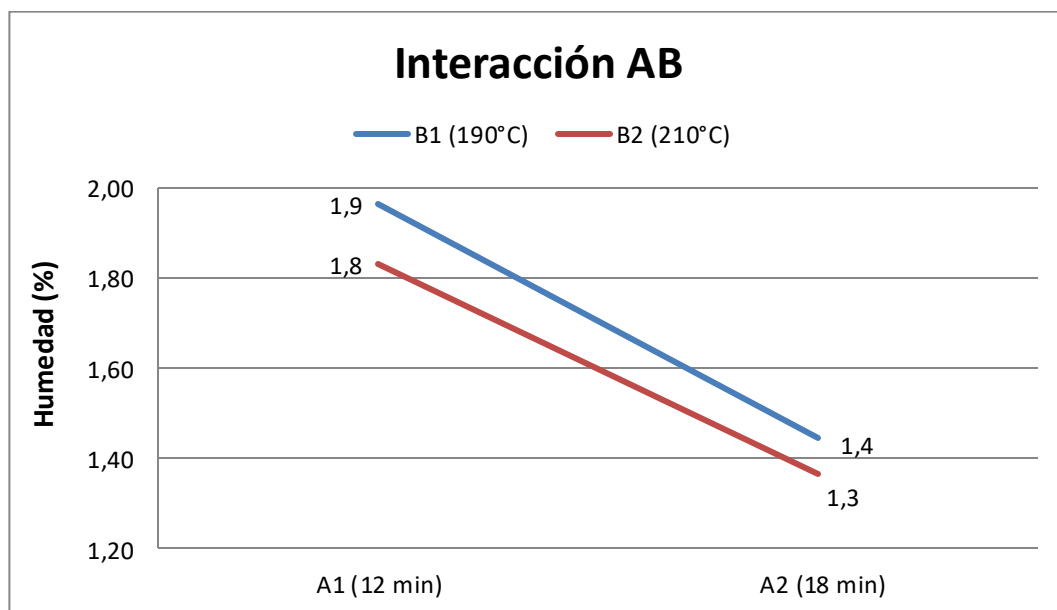


Gráfico 12. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Humedad de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 12, se observa que la humedad del café tostado y molido disminuye a medida que se aumenta el tiempo de 12 a 18 min y la temperatura de 190 °C a 210 ° C; esto es a causa que al grano de café se sometió a un proceso térmico que al elevar la temperatura del mismo causa la evaporación del agua contenida en el grano y por ende la disminución de la humedad y peso. Sin embargo, al no existir la interacción de los factores se considera que no existe una relación entre ellos, es decir que si se aumenta el tiempo o temperatura la tendencia de las rectas continuara paralelas.

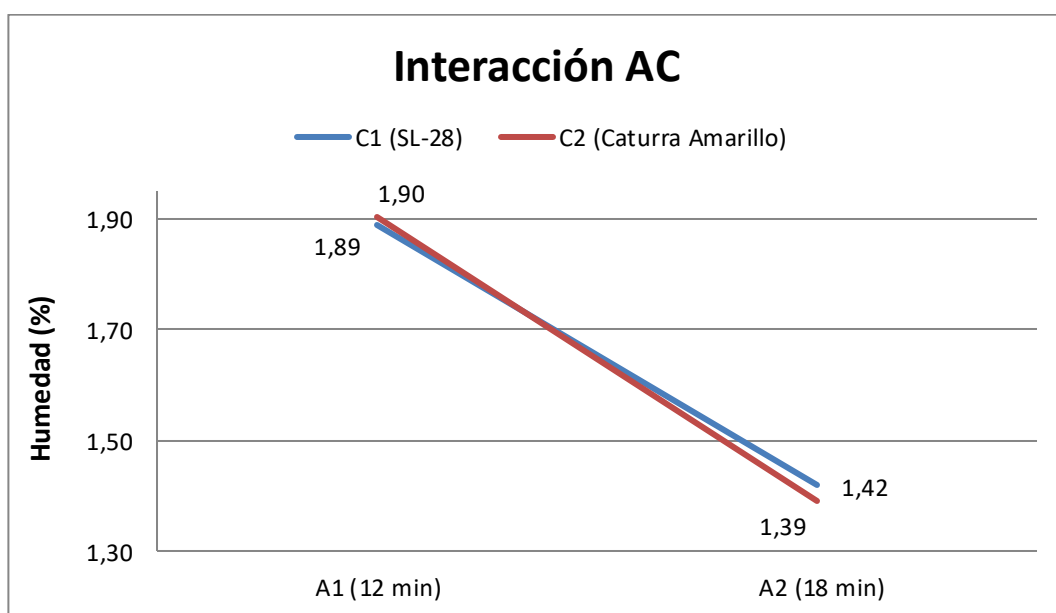


Gráfico 13. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Humedad de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 13, se muestra que la humedad del café tostado y molido disminuye a medida que se aumenta el tiempo de 12 a 18 min para las dos variedades; en función al gráfico se puede determinar que la variedad Caturra Amarillo presenta una mayor reducción de la humedad a medida que aumenta el tiempo, mientras que existe una menor reducción para la variedad SL-28, este comportamiento dependerá de las características propias de cada variedad. Tanto el factor tiempo como variedad mantienen un comportamiento dependiente el uno del otro, es decir que a medida que se aumenta el tiempo disminuirá la humedad, por lo tanto se puede decir que el cruce de las rectas determina el tiempo óptimo en el cual se presencia el descenso máximo de la humedad.

4.4 DETERMINACIÓN DE VARIABLES QUÍMICAS EVALUADAS DE CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En el presente trabajo se evaluó las características químicas como cenizas, pH, acidez, proteína, lípidos, sólidos totales, azúcares reductores, polisacáridos, sacarosa y cafeína que posee el café al haber sido tostado de ocho tratamientos los cuales se combinó con tres factores: tiempo, temperatura y variedad de Café Arábica.

4.4.1 CENIZAS Y MINERALES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 42, se muestra el contenido de cenizas en (%) que corresponde a cada uno de los tratamientos evaluados.

Tabla 42. Datos experimentales de Cenizas (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	5,060	5,030	5,050	15,140	5,047
T2	4,400	4,100	4,000	12,500	4,167
T3	5,140	5,110	5,100	15,350	5,117
T4	4,670	4,660	4,670	14,000	4,667
T5	5,030	5,000	5,030	15,060	5,020
T6	4,570	4,560	4,580	13,710	4,570
T7	5,160	5,150	5,140	15,450	5,150
T8	4,720	4,700	4,710	14,130	4,710

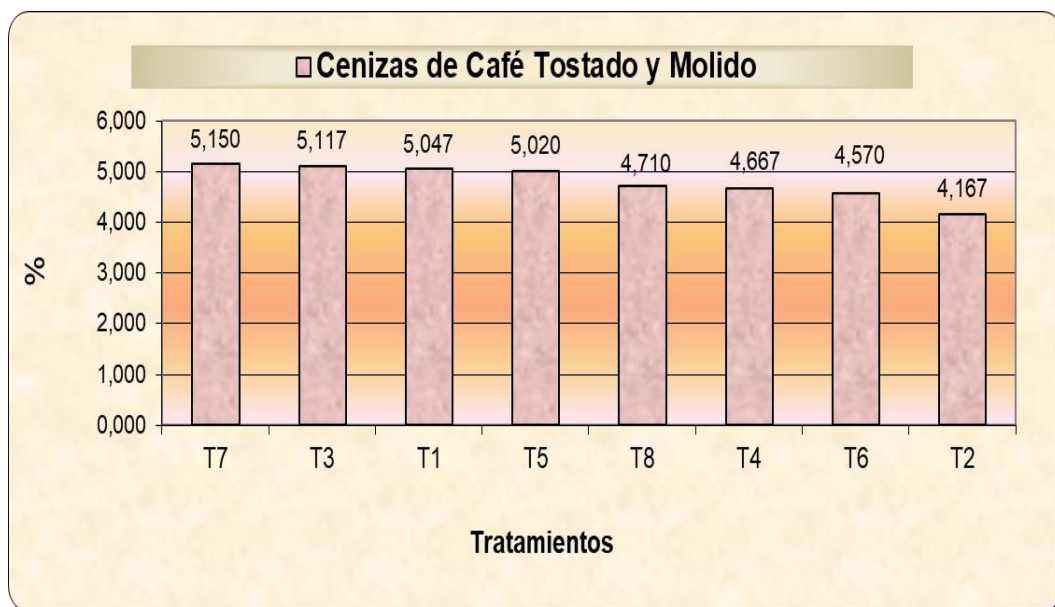


Gráfico 14. Cenizas de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 14, se puede observar que los resultados del análisis de cenizas de los ocho tratamientos cumplieron con los requisitos que establece la Norma NTE INEN 1123-2016. Se evidencia un comportamiento diferente entre variedades y se establece que los tratamientos de la variedad SL-28 (T7, T5, T3, T1) fueron los que presentaron mayor concentración de cenizas en comparación con la variedad Caturra Amarillo (T8, T4, T6, T2), esto es a causa del porcentaje inicial de cenizas para la variedad SL-28 fue superior por consecuencia la cantidad en masa de cenizas se mantiene. Además, para el tratamiento T7 el incremento fue mayor

debido a que se le sometió a temperatura de 210 ° C mientras que lo opuesto sucede para el tratamiento T2 a 190°C, determinando que a mayores temperaturas la concentración de cenizas será mayor y viceversa, a razón de la pérdida de humedad en el proceso de tostado.

Tabla 43. Análisis de varianza de Cenizas de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	2,524				
Tratamientos	7	2,435	0,348	62,347 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,077	0,077	13,813 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,265	0,265	47,426 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	1,848	1,848	331,259 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,034	0,034	6,049 *	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,073	0,073	13,013 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,073	0,073	13,013 **	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,066	0,066	11,857 **	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,089	0,006			
CV=		1,554 %				

** : Altamente significativo, * : significativo.

En la Tabla 43, se observa el análisis de varianza que estableció diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) tanto para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura), factor **C** (variedad) y las interacciones AC, BC y ABC, además hay significación estadística para la interacción AB.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 44. Prueba de Tukey para Cenizas de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T7	5,15	a
T3	5,11	a
T1	5,04	a
T5	5,02	a
T8	4,71	b
T4	4,66	b
T6	4,57	b
T2	4,16	b

En la Tabla 44, se muestra el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontró dos rangos con comportamiento diferente, donde el rango **b** corresponde a los mejores tratamientos T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T4 (12 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo) y T2 (12 min, 190 °C, Caturra Amarillo), y los cuales se encuentran dentro del rango según la Normas INEN NTE 1123-2016, COVENIN 46. 2017, NMX-F-013-2000, NSO 67.31.02:04 que establecen que el valor máximo de cenizas aceptado es 5,00%, cumpliendo con la afirmación anterior los tratamientos de la variedad Caturra Amarillo y además concordando con afirmaciones Meenakshi & Jagan (2007), que durante el proceso de tostado las cenizas no sufren alteraciones.

El análisis funcional a las medias del contenido de ceniza de los factores **A** (tiempo), **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el contenido de ceniza en el café tostado y molido, como se puede apreciar en las Tablas 45, 46 y 47.

Tabla 45. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A2	4,86	a
A1	4,74	b

Tabla 46. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B2	4,91	a
B1	4,70	b

Tabla 47. Diferencia Mínima Significativa de Cenizas de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C1	5,08	a
C2	4,52	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A, B y C; considerando el mejor rango **b** que corresponde a tiempo de 12 min, temperatura 190 ° C y con la variedad Caturra Amarillo a estas condiciones los factores afectaron en mayor proporción sobre el contenido de cenizas que se

encuentra ubicado dentro del rango establecido por la Norma NTE INEN 1123-2016.

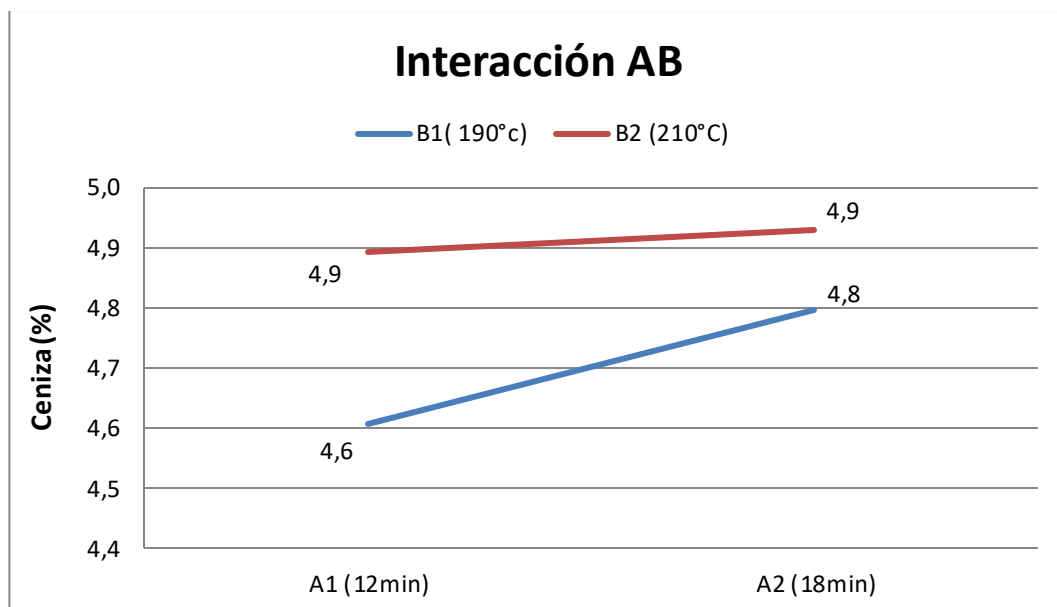


Gráfico 15. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para las Cenizas de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 15, se aprecia que el contenido de cenizas del café tostado y molido aumenta la proporción a medida que se incrementa el tiempo de 12 a 18 min y la temperatura de 190 ° C a 210° C, esto ocasiona una mayor pérdida de humedad y por ende se concentran las cenizas, los factores actúan independientemente y si se aumenta más el tiempo y temperatura es posible que exista una interacción entre estos factores.

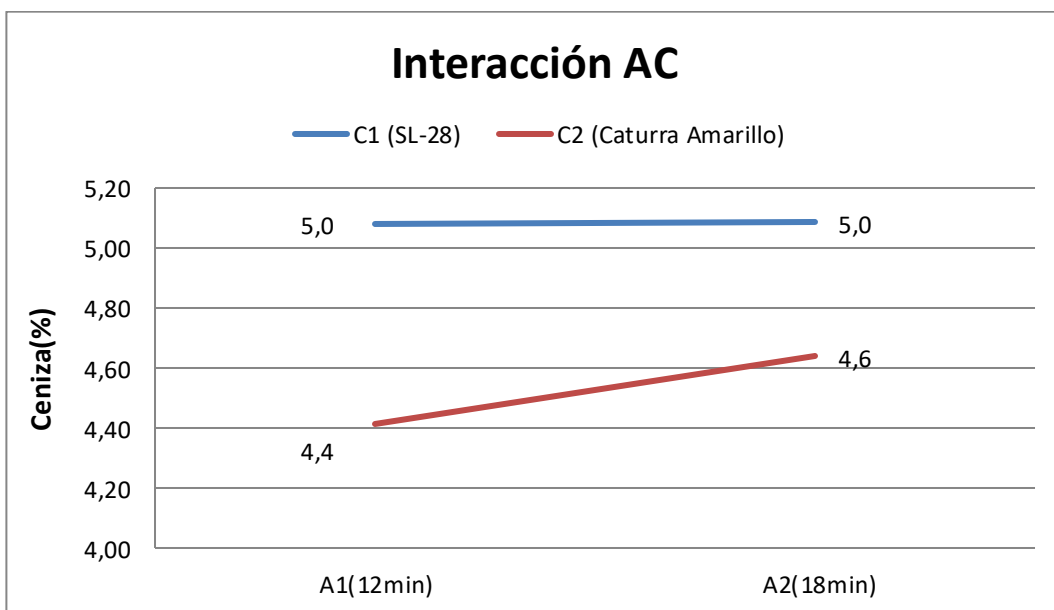


Gráfico 16. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para las Cenizas de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 16, se muestra que el contenido de cenizas del café tostado y molido aumenta a medida que se incrementa el tiempo de 12 a 18 min con la variedad SL- 28, por lo contrario las líneas no se cruzan debido a que se están comparado diferentes variedades, lo que conlleva a que sus comportamientos sean independientes, situación similar se puede observar en la Interacción de los factores B y C en la Gráfica 17.

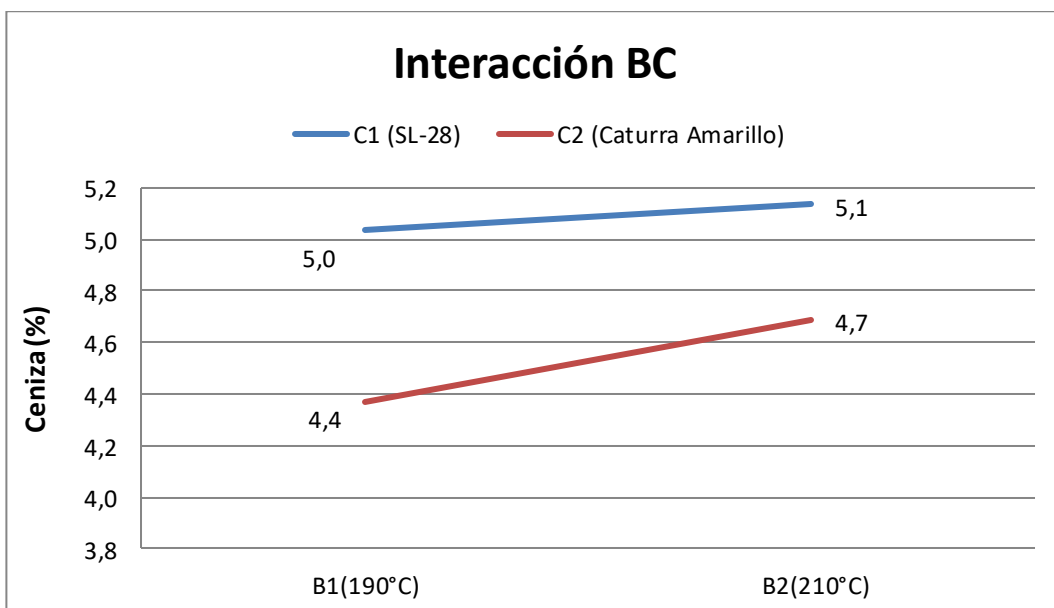


Gráfico 17. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para las Cenizas de Café Tostado y Molido

4.4.1.1 Contenido de Minerales de Café Tostado y Molido

En la Tabla 48, se muestra el contenido de minerales presentes en el grano de café verde y tostado en la que se aprecia los valores reportados de cada elemento químico (Ca, P, Mg y Na), en consecuencia, el contenido mineral se conserva durante la torrefacción y la mayoría se extraen fácilmente (Meenakshi & Jagan , 2007). Es beneficioso contar con elevadas concentraciones de minerales ya que son lo encargado de catalizar las reacciones de pirolisis (Puerta, 2011).

Tabla 48. Datos experimentales de Minerales de Café Tostado y Molido

	Unidad	SL-28 (C.V)	T1	T3	T5	T7
Calcio	mg/l	173,00	235,00	176,00	274,00	314,00
Fósforo	mg/l	273,50	371,00	383,50	361,00	370,00
Magnesio	mg/l	280,00	1380,00	360,00	360,00	430,00
Sodio	mg/l	11,12	15,86	12,14	9,74	12,77
		C.Amarillo (C.V)	T2	T4	T6	T8
Calcio	mg/l	270,00	236,00	363,00	412,00	358,00
Fósforo	mg/l	323,13	338,50	419,00	396,00	391,50
Magnesio	mg/l	330,00	1350,00	410,00	420,00	460,00
Sodio	mg/l	16,46	17,79	10,01	11,99	9,46

*C.V: Café verde

4.4.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 49, se evidencia los valores de pH que corresponden a cada uno de los tratamientos

Tabla 49. Datos experimentales de Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	4,800	4,790	4,770	14,360	4,787
T2	4,850	4,840	4,820	14,510	4,837
T3	5,200	5,170	5,190	15,560	5,187
T4	5,190	5,140	5,160	15,490	5,163
T5	5,030	4,960	4,940	14,930	4,977
T6	4,900	4,900	4,890	14,690	4,897
T7	5,060	5,150	5,160	15,370	5,123
T8	5,110	5,090	5,010	15,210	5,070

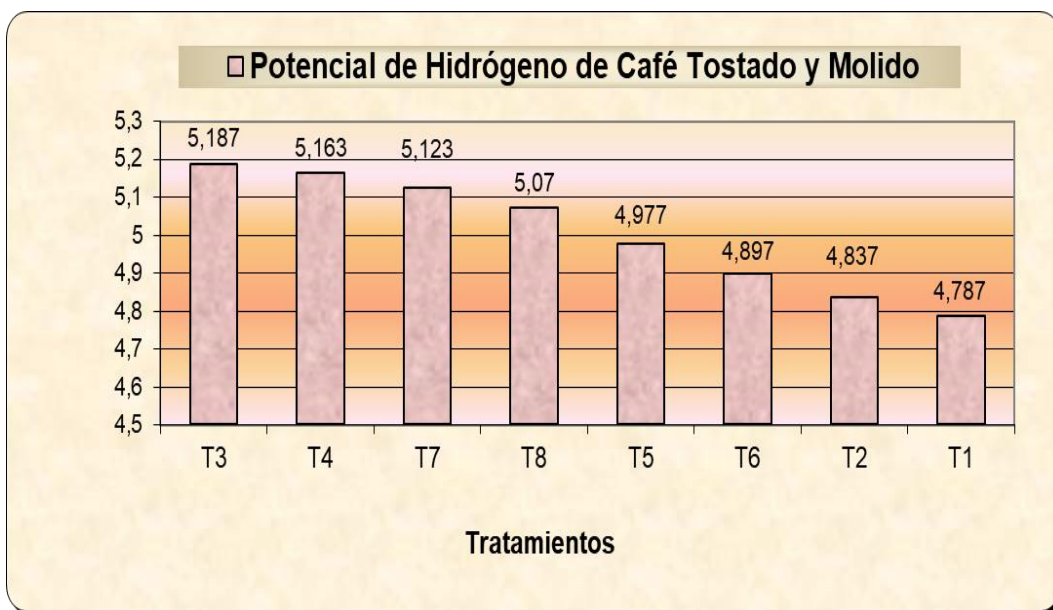


Gráfico 18. Potencial de Hidrógeno de los tratamientos de Café Tostado y Molido

El en Gráfico 18, se observa que en los tratamientos (T3, T4, T7, T8) el pH fue menor a causa de que fueron sometidos a 210 ° C y a esa temperatura los ácidos libres presentes en el café no se pierden y están presentes en menor cantidad, mientras que sucede lo contrario con los tratamientos (T5, T6, T2, T1) a los cuales se empleó 190 ° C y la cantidad de ácidos libres fue mayor (Wagner, 2005). El pH del tratamiento T3 fue menor (5,18) volviéndose menos ácido por la presencia de una menor cantidad de ácidos alifáticos (cítrico, málico, tartárico, etc) los cuales son formados cuando existe un completo desarrollo de las reacciones químicas en el tostado de café (Clifford, 2013). Se determinó que los tratamientos que fueron sometidos a una temperatura alta de 210 ° C tuvieron un menor pH a diferencia de los tratamientos sometidos a una temperatura baja de 190 ° C, es decir que a mayor temperatura el pH disminuirá porque existió mayor degradación de los carbohidratos, sacarosa los cuales se encargan en formar los principales ácidos del café tostado, existiendo una relación inversa entre la temperatura y pH en el proceso de tostado de café arábica (Puerta, 2011).

Tabla 50. Análisis de varianza de Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,513				
Tratamientos	7	0,495	0,071	59,913 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,003	0,003	2,770 ^{N.S}	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,411	0,411	348,396 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,004	0,004	3,618 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,062	0,062	52,594 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,010	0,010	8,141 *	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,001	0,001	0,693 ^{N.S}	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,004	0,004	3,180 ^{N.S}	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,019	0,001			
CV=		0,686 %				

** : Altamente significativo, * : significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 50, se aprecia el análisis de varianza en el cual se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$), para: tratamientos, factor **B** (temperatura) y las interacciones AB, además hay significación estadística para la interacción AC. Por lo tanto se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 51. Prueba de Tukey para Potencial de Hidrógeno de Café Tostado y Molido.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T3	5,18	a
T4	5,16	a
T7	5,12	b
T8	5,07	b
T5	4,97	b
T6	4,89	b
T2	4,83	b
T1	4,78	b

En la Tabla 51, se observa el análisis funcional al potencial de hidrógeno mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron dos rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **a** se localizaron los mejores tratamientos T3 (12 min, 210 °C, SL-28), T4 (12 min, 210 °C, Caturra Amarillo) por lo tanto, se concluye que los valores reportados en los tratamientos se encuentran ubicados dentro del límite de aceptación de 4,90 a 5,20. Si el rango de pH sobrepasa a 5,20 el café es más amargo, mientras que si el pH es inferior a

4,90, el café es más ácido (Valencia et al. 2015). Para los tratamientos T3 y T4 sometidos a (12 min) de tostado hubo menor pH porque existió mayor degradación de los carbohidratos, los mismos que encargados de formar nuevos ácidos en el café, pero no sucedió lo mismo para los tratamientos T7 y T8 ya que a tiempo de (18 min) existen menor cantidad de ácidos alifáticos.

El análisis funcional a las medias de pH del factor **B** (temperatura) mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el pH del café tostado y molido.

Tabla 52. Diferencia Mínima Significativa de pH de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B2	5,13	a
B1	4,87	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para el factor B permitió observar que a una temperatura de 210 °C tuvo mayor efecto con relación a la temperatura de 190 °C, es decir los tratamientos con temperatura elevada presentarán valores altos de pH, como se puede apreciar en la Tabla 52. Es favorable tener un pH de 5,13 ya que me indica mayor presencia de ácidos alifáticos.

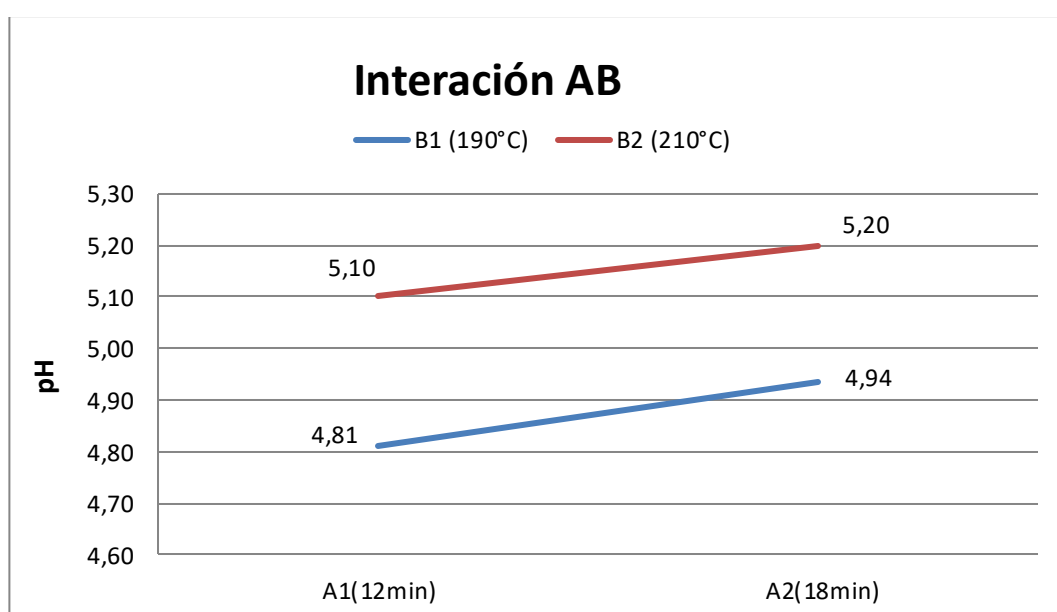


Gráfico 19. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para pH de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 19, se puede apreciar que el pH del café tostado y molido incrementa a medida que el tiempo aumenta de 12 a 18 min y la temperatura de 190 °C a 210 °C, este comportamiento permite determinar que cada factor actúa independientemente con respecto al otro. El aumento de pH ocurre por la presencia de ácidos alifáticos (málico, cítrico, tartárico, etc) que le otorgan al café mayor acidez (Puerta, 2011).

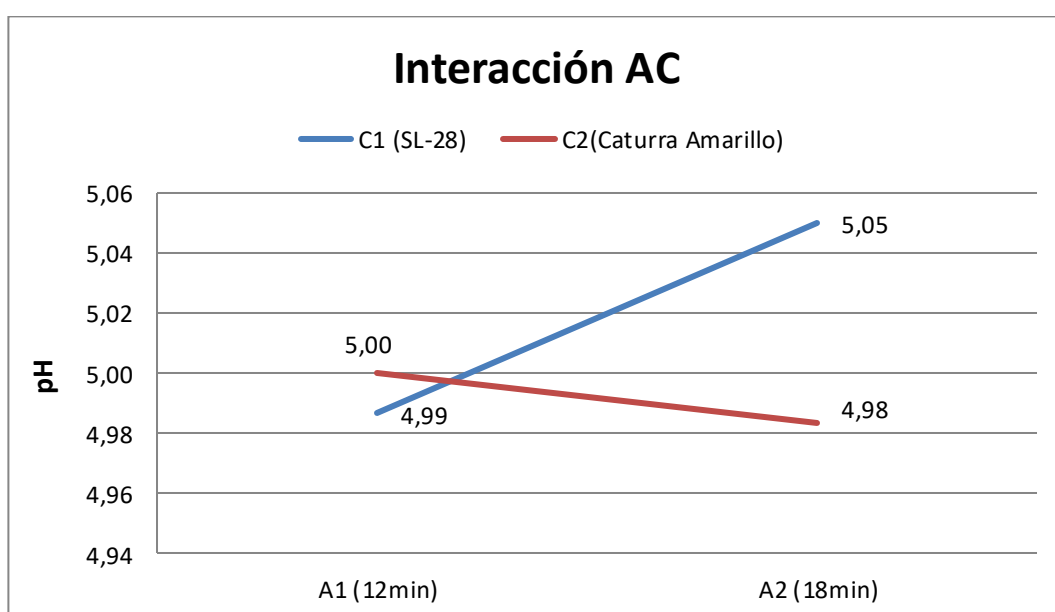


Gráfico 20. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para pH de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 20, se puede observar que el pH del café tostado y molido aumenta a medida que el tiempo se incrementa de 12 a 18 min con la variedad SL-28, determinando así que los factores tiempo y variedad interactúan entre sí, esta interacción depende del factor genético propios de cada variedad (Duicela et al. 2015).

4.4.3 ACIDEZ CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 53, se evidencia los valores de acidez en (%) de ácido málico que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 53. Datos experimentales de Acidez (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	1,170	1,200	1,185	3,555	1,185
T2	1,076	1,020	1,048	3,144	1,048
T3	0,768	0,770	0,785	2,323	0,774
T4	0,784	0,785	0,785	2,354	0,785
T5	0,859	0,860	0,860	2,579	0,860
T6	0,881	0,890	0,886	2,657	0,886
T7	0,837	0,838	0,838	2,513	0,838
T8	0,844	0,850	0,847	2,541	0,847

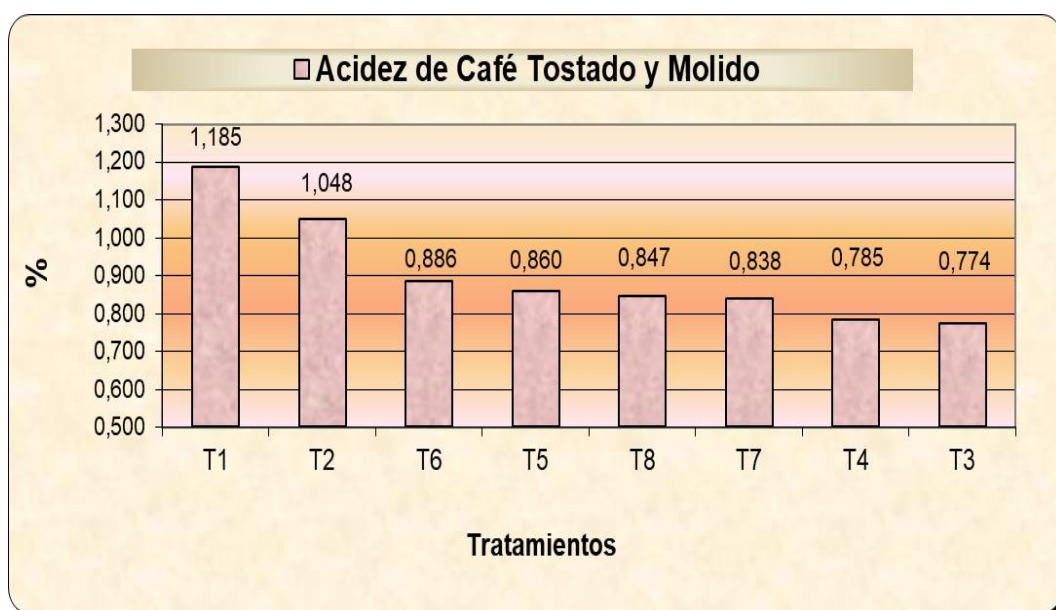


Gráfico 21. Acidez de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 21, se muestra que los tratamientos (T1, T2, T6, T5) reportaron mayor acidez a una temperatura de 190 °C mientras que los tratamientos (T8, T7, T4, T3) sometidos a una temperatura de 210 °C. Esto demuestra la relación inversa que existe entre la temperatura y acidez, es decir que a mayor temperatura de tostado provoca una menor acidez. Comparando la acidez con los valores del pH para los primeros tratamientos que son (T1 con acidez de 1,18% y pH 4,78; T2 con acidez de 1,04 % y pH 4,83; T6 con acidez 0,88 % y pH 4,89, T5 con acidez de 0,86 y pH 4,97) con esto se demuestra la relación existente entre la acidez y el pH que establece que a mayor acidez menor es el pH y viceversa, de igual manera sucede con los tratamientos restantes véase en el Grafico 18.

Tabla 54. Análisis de varianza de Acidez de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,425				
Tratamientos	7	0,4224	0,0603	431,0282 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,0492	0,0492	351,3079 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,2025	0,2025	1446,2675 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,0031	0,0031	22,2609 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,1413	0,1413	1009,1875 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,0099	0,0099	70,4359 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,0064	0,0064	45,8467 **	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,0101	0,0101	71,8912 **	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,0022	0,0001			
CV=	1,311 %					

** : Altamente significativo

En las Tabla 54, se observa el análisis de varianza de la acidez en los tratamientos de café tostado y molido, donde estableció diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) tanto para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura), factor **C** (variedad) y las interacciones AB, AC, BC y ABC.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 55. Prueba de Tukey para Acidez de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T1	1,185	a
T2	1,048	b
T6	0,886	c
T5	0,860	c
T8	0,847	c
T7	0,838	c
T4	0,785	d
T3	0,774	d

En la Tabla 55, se muestra el análisis funcional que se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron cuatro rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **e** se localizó el mejor tratamiento T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo) en consecuencia, la acidez es inversamente proporcional al grado de tostión, esto quiere decir que a mayor temperatura de tostado la acidez disminuye y el amargor aumenta concordando con investigaciones anteriores por Valencia et

al. (2015), de igual manera la acidez está relacionada con el pH, por lo tanto a mayor acidez de la muestra el valor del pH será menor cumpliéndose esta afirmación en esta investigación como se puede observar en el Grafico 18 (Díaz & Perdomo , 2015).

El análisis funcional a las medias de densidad de los factores **A** (tiempo), **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre la acidez del café tostado y molido.

Tabla 56. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	0,94	a
A2	0,85	b

Tabla 57. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	0,99	a
B2	0,81	b

Tabla 58. Diferencia Mínima Significativa de Acidez de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C1	0,91	a
C2	0,89	b

En las Tablas 56, 57 y 58 se observa la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A, B y C; considerando el mejor rango **a** que corresponde a un tiempo de tostado de 12 min, temperatura 190 °C y la variedad SL-28, a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre la acidez de café tostado y molido con relación a los tratamientos de la variedad SL-28 con temperaturas y tiempos prolongados, es favorable que el café presente una acidez elevada para contribuir con los atributos sensoriales en la evaluación de la taza.

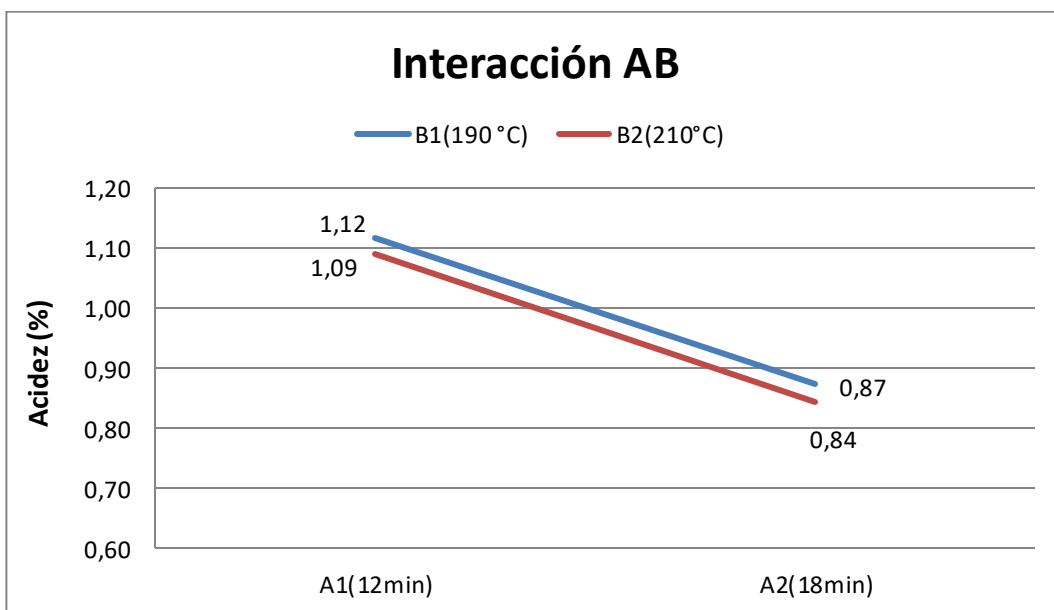


Gráfico 22. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Acidez de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 22, se observa que la acidez del café tostado y molido aumenta a medida que disminuye el tiempo de 18 a 12 min y la temperatura de 210 °C a 190 °C, este comportamiento se debe a la relación que existe entre el grado de tuestión/acidez, que mientras más oscuro sea el tipo de tostado el café va a presentar menor acidez y viceversa (Valencia et al. 2015). La conducta de la gráfica muestra que no existe una interacción entre el tiempo y la temperatura, son factores independientes.

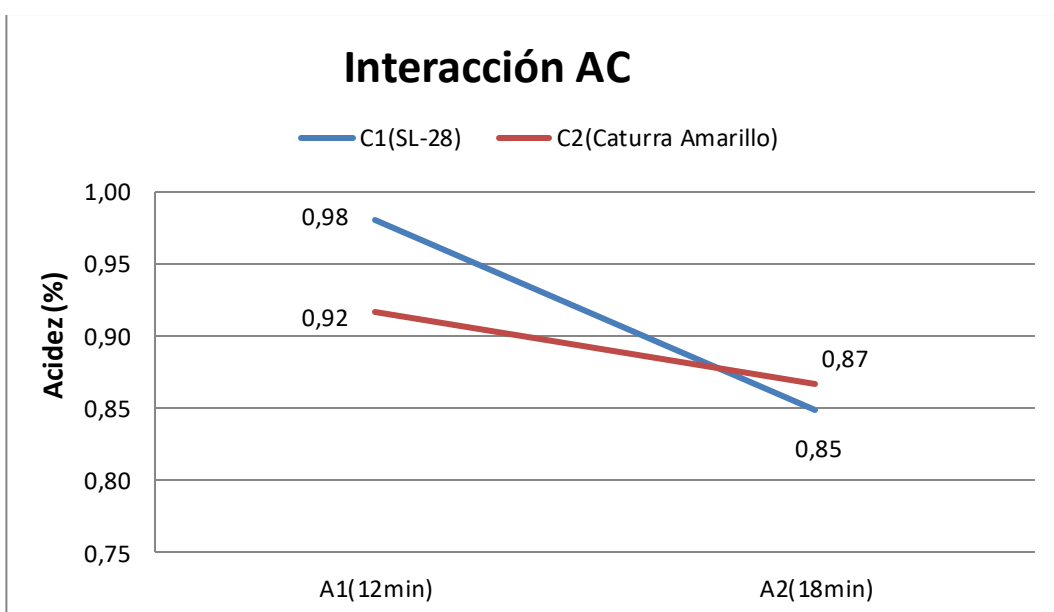


Gráfico 23. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Acidez de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 23, se aprecia que la acidez del café tostado y molido se incrementa a medida que disminuye la temperatura de 18 a 12 min con las variedades Caturra Amarillo y SL-28, esta conducta se debe a la relación que existe entre el grado de tuestión/acidez, que mientras más claro sea el tostado el café va a presentar mayor acidez y viceversa (Valencia et al. 2015). Para el factor tiempo y variedad el cruce de las rectas representa el punto en el cual las dos variedades se comportan de manera similar, este tipo de conducta se repite en la interacción de los factores B y C que se presenta en el Gráfico 24.

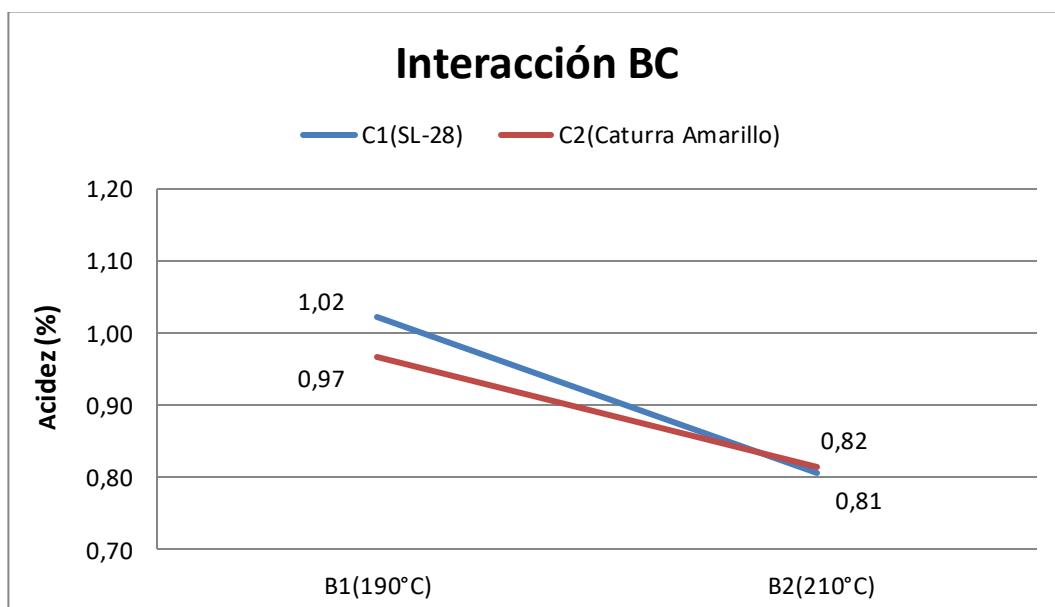


Gráfico 24. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para la Acidez de Café Tostado y Molido

4.4.4 PROTEÍNA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 59, se muestra el contenido de proteína en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 59. Datos experimentales de Proteína (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	14,870	14,780	14,840	44,490	14,830
T2	14,321	14,180	14,150	42,651	14,217
T3	13,510	13,380	13,780	40,670	13,557
T4	13,670	13,150	13,350	40,170	13,390
T5	12,040	12,190	12,342	36,572	12,191
T6	12,660	12,240	12,860	37,760	12,587
T7	11,870	11,160	11,580	34,610	11,537
T8	11,490	11,940	11,510	34,940	11,647

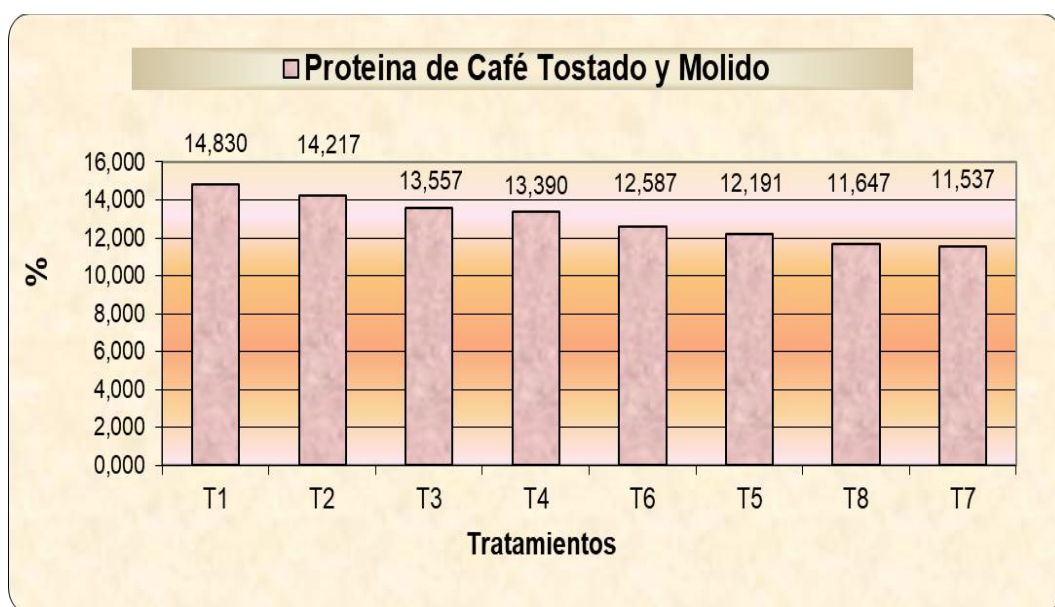


Gráfico 25. Proteína de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 25, se puede apreciar el contenido de proteína para los tratamientos (T1, T2, T3, T4) que se empleó 12 min de tostado presentaron mayor concentración de proteína que los tratamientos que fueron sometidos a 18 min que el incremento de la concentración fue inferior, existiendo una relación inversamente proporcional que a mayor tiempo menor cantidad de proteína y viceversa, porque a tiempos prolongados la proteína se desnatura rápidamente. Determinando un comportamiento diferente entre las variedades, donde la variedad Caturra Amarillo es la que presenta mayor concentración con respecto a la otra variedad (Puerta, 2011; Illy & Viani, 2005; Prieto, 2002).

Tabla 60. Análisis de varianza de Proteína de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	31,143				
Tratamientos	7	30,271	4,324	79,371 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	24,198	24,198	444,138 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	5,118	5,118	93,937 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,028	0,028	0,515 N.S	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,096	0,096	1,765 N.S	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,620	0,620	11,377 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,010	0,010	0,177 N.S	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,201	0,201	3,691 N.S	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,872	0,054			
CV=		1,796 %				

** : Altamente significativo, * : significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 60, se observa el análisis de varianza en donde se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$), para: tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura) y la interacción AC.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 61. Prueba de Tukey para Proteína de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T1	14,830	a
T2	14,217	a
T3	13,557	b
T4	13,390	b
T6	12,587	c
T5	12,191	c
T8	11,647	c
T7	11,537	c

En la Tabla 61, se visualiza el análisis funcional a la proteína mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron tres rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **a** se localizaron los mejores tratamientos T1 (12 min, 190 °C, SL-28), T2 (12 min, 190 °C, Caturra Amarillo), que se encuentran dentro del nivel de 13,00 a 15,00% de contenido de proteína para el café tostado como establece (Smith, 1985). En consecuencia, el grano de café fue influenciado por el calor y la proteína se desnaturizó pero parte de ellas fueron transformadas en ácidos y

carbohidratos que formaron sustancias que ayudan en la formación de aroma y color del café (Garay, 2014; Omozoje , 2012). Es favorable la presencia de una cantidad que se encuentre dentro del rango anteriormente mencionado de proteína para contribuir con el aroma, sabor y formación de espuma en la bebida de café (Puerta, 2011).

El análisis funcional a las medias del contenido de proteína de los factores **A** (tiempo) y **B** (temperatura), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el contenido de proteína del café tostado y molido, como se observa en las Tablas 62, 63 y 64.

Tabla 62. Diferencia Mínima Significativa de Proteína de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	13,99	a
A2	11,90	b

Tabla 63. Diferencia Mínima Significativa de Proteína de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	13,456	a
B2	12,533	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A y B permite observar que a un tiempo de 12 min, temperatura 190 °C y a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre la proteína de café tostado y molido, con relación a los tratamientos que presentaron temperaturas y tiempos prolongados os cuales se desnaturizó casi por completo la proteína.

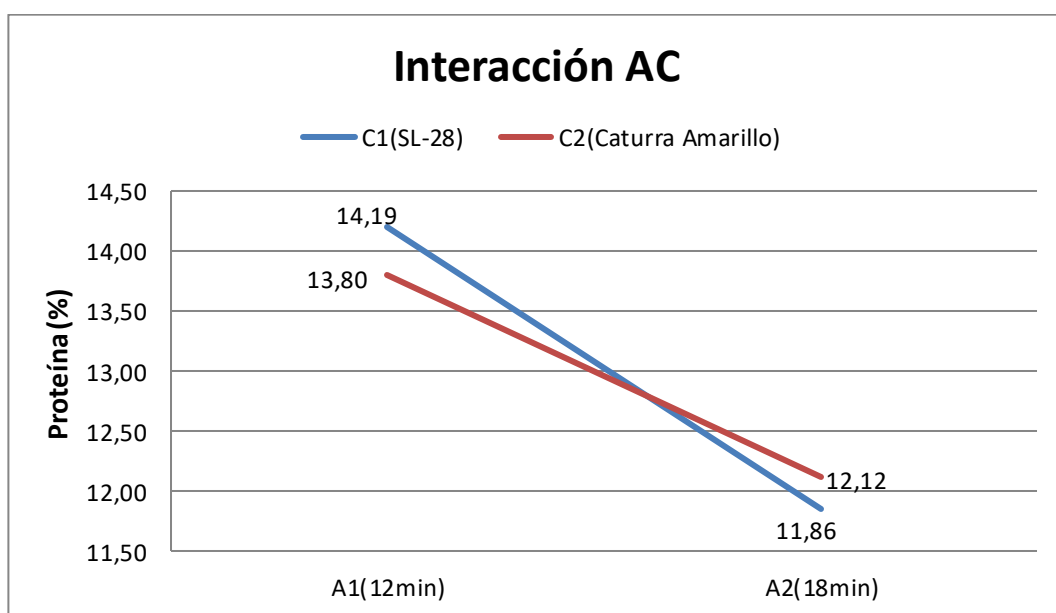


Gráfico 26. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Proteína de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 26, se observa que la concentración de proteína del café tostado y molido aumenta a medida que disminuye el tiempo de 18 a 12 min, evidenciando un comportamiento igual para las dos variedades en estudio y se debe principalmente a que durante el proceso de tostado se desnaturaliza y disminuye el contenido de proteína, pero esta conducta dependerá del grado de tostación al que se someta al grano de café; es decir que a temperaturas bajas la desnaturalización de la proteína es menor mientras que a mayores temperaturas es mayor (Puerta, 2011). El cruce de las rectas determinó la interacción existente de los factores tiempo y variedad, en donde se demostró que en un punto específico las dos variedades se comportan de manera similar.

4.4.5 LÍPIDOS CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 64, se muestra el contenido de lípidos en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 64. Datos experimentales de Lípidos (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	9,190	9,170	9,240	27,600	9,200
T2	9,190	9,340	9,260	27,790	9,263
T3	8,700	8,600	8,800	26,100	8,700
T4	10,290	10,250	9,210	29,750	9,917
T5	10,410	10,050	9,570	30,030	10,010
T6	13,700	13,960	13,800	41,460	13,820
T7	12,300	12,800	12,500	37,600	12,533
T8	11,580	10,450	11,220	33,250	11,083

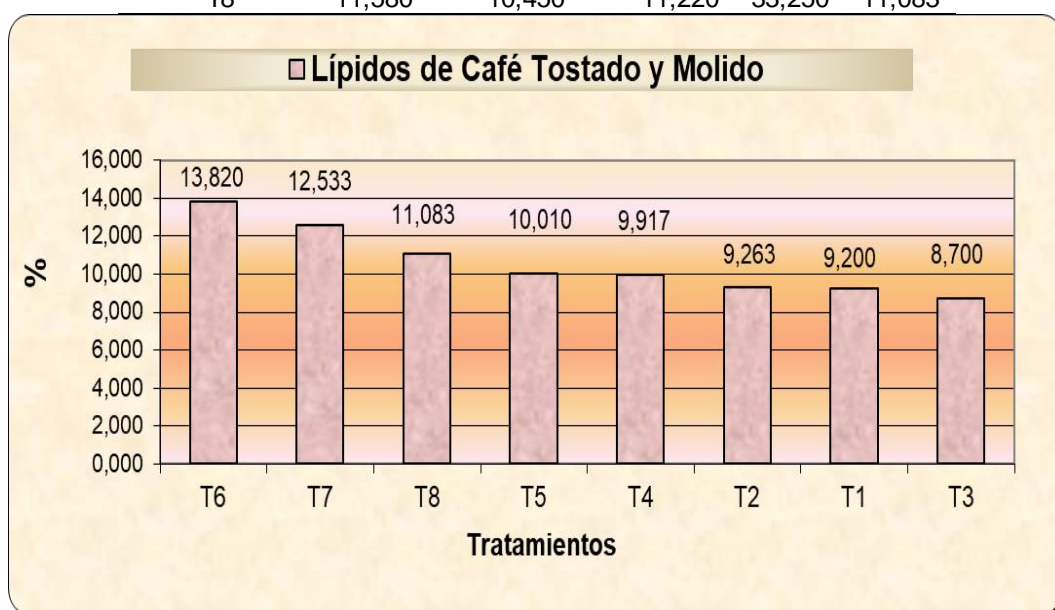


Gráfico 27. Lípidos de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 27, se muestra que el contenido de lípidos en los tratamientos (T4, T2, T1, T3) fue menor con 12 min de tostado, mientras que los tratamientos (T6, T7, T8, T5) que fueron sometidos a un tiempo de tostado de 18 min tuvieron una mayor cantidad de lípidos. La relación que se determinó es que a mayor tiempo de tostado se incrementa la cantidad de lípidos debido a que se generaron de manera eficaz las reacciones químicas en donde los lípidos se degradan a compuestos menores. Es necesario señalar que en esta investigación en todos los tratamientos se dio un incremento en la concentración de lípidos concordando con la investigación de Garay (2014), que menciona que el contenido de lípidos no se degrada sino que algunos ácidos se incrementan y proporcionan una pequeña cantidad de principios volátiles, mismos que sirven de fijadores aromáticos.

Tabla 65. Análisis de varianza de Lípidos de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	69,473				
Tratamientos	7	67,507	9,644	78,466 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	40,300	40,300	327,901 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,001	0,001	0,011 N.S	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	4,969	4,969	40,427 **	8,530	4,490
I (Ax B)	1	0,050	0,050	0,410 N.S	8,530	4,490
I (Ax C)	1	0,437	0,437	3,559 N.S	8,530	4,490
I (Bx C)	1	6,324	6,324	51,457 **	8,530	4,490
I (Ax Bx C)	1	15,424	15,424	125,497 **	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	1,966	0,123			
CV=	3,318%					

** : Altamente significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 65, se observa el análisis de varianza en donde se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$) para tratamientos, factor A (tiempo), factor C (variedad) y las interacciones BC y ABC.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para Factor A y C.

Tabla 66. Prueba de Tukey para Lípidos de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T6	13,820	a
T7	12,533	b
T8	11,083	c
T5	10,010	d
T4	9,917	d
T2	9,263	d
T1	9,200	d
T3	8,700	d

En la Tabla 66, se aprecia el análisis funcional a los lípidos mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron cuatro rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **a** se localizó el mejor tratamiento T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), los datos arrojados concuerdan según el estudio realizado de (Valencia, et al. 2015) que afirma que los lípidos no se degradan durante la tostación, sino que algunos ácidos se incrementan, por lo tanto, un contenido alto de lípidos

contribuye al transporte de aromas y sabores, en el espresso dan sabor y cuerpo a la bebida Puerta (2011), además los datos obtenidos señalaron que se encuentran dentro del rango 9,90 a 15,20%. En los tratamientos (T6, T7, T8, T5) el factor que influyó en mayor grado fue el tiempo, seguido por la variedad y en menor grado la temperatura.

El análisis funcional a las medias de lípidos del factor **A** (tiempo) y factor **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el contenido de lípidos del café tostado y molido.

Tabla 67. Diferencia Mínima Significativa de Lípidos de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A2	11,862	a
A1	9,270	b

Tabla 68. Diferencia Mínima Significativa de Lípidos de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C2	11,021	a
C1	10,111	b

En la Tabla 67 y 68, al efectuar la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para el factor A y C, se puede apreciar que el tiempo de tostado de 18 min en la variedad Caturra Amarillo afectó en mayor proporción sobre el contenido de lípidos, es favorable tener mayor concentración de lípidos para contribuir con los atributos que se evaluaron en la prueba de taza.

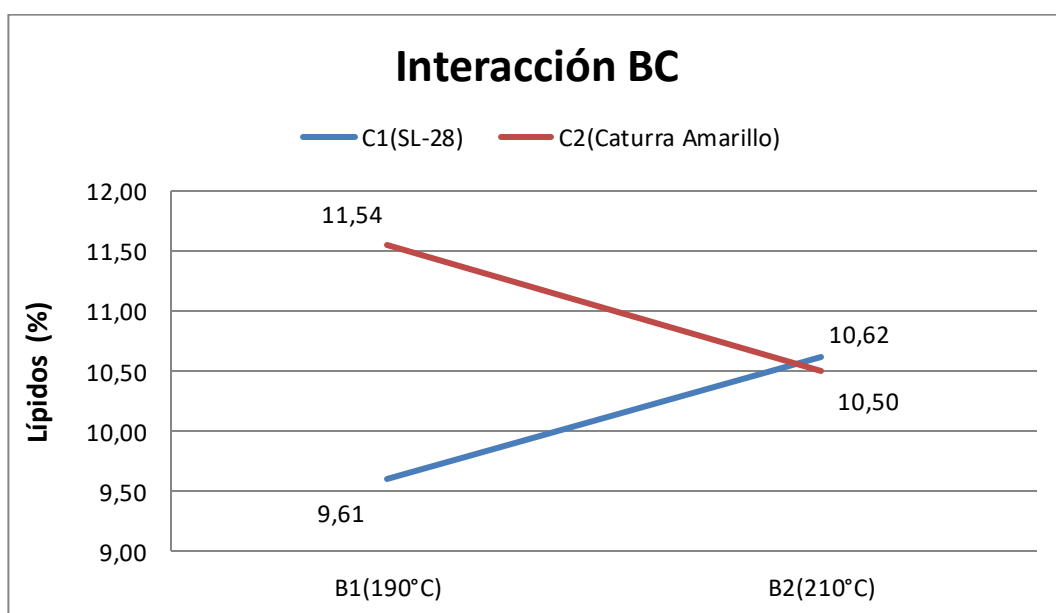


Gráfico 28. Interacción para los Factores B (Temperatura) y C (Variedad) para Lípidos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 28, se aprecia que la concentración de lípidos en el café tostado y molido se incrementa a medida que se aumenta la temperatura de 190 °C a 210 °C para la variedad SL-28, mientras que para la variedad Caturra Amarillo se produce un descenso en la cantidad de lípidos, por lo tanto la temperatura no influyó en la concentración de lípidos pero sí la variedad; la gráfica muestra el punto de interacción de los factores, en donde se crea un punto específico en el cual las dos variedades tiene un mismo comportamiento.

El incremento en la concentración de los lípidos se debe principalmente a la eliminación de agua contenida en el grano durante el proceso de tostado, esto ocasiona que “la mayor parte de los lípidos contenidos en el grano de café no se degradan durante la tostación, aunque algunos ácidos grasos se incrementan, los lípidos insaponificables disminuyen y algunos lípidos se oxidan y forman aldehídos y otros compuestos volátiles” (Puerta, 2011).

4.4.6 SÓLIDOS TOTALES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 69, se presenta el contenido de sólidos totales en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 69. Datos experimentales de Sólidos Totales (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	98,020	98,070	98,050	294,140	98,047
T2	98,030	98,040	98,020	294,090	98,030
T3	98,190	98,160	98,180	294,530	98,177
T4	98,140	98,190	98,160	294,490	98,163
T5	98,510	98,550	98,560	295,620	98,540
T6	98,580	98,560	98,570	295,710	98,570
T7	98,620	98,610	98,630	295,860	98,620
T8	98,660	98,650	98,640	295,950	98,650

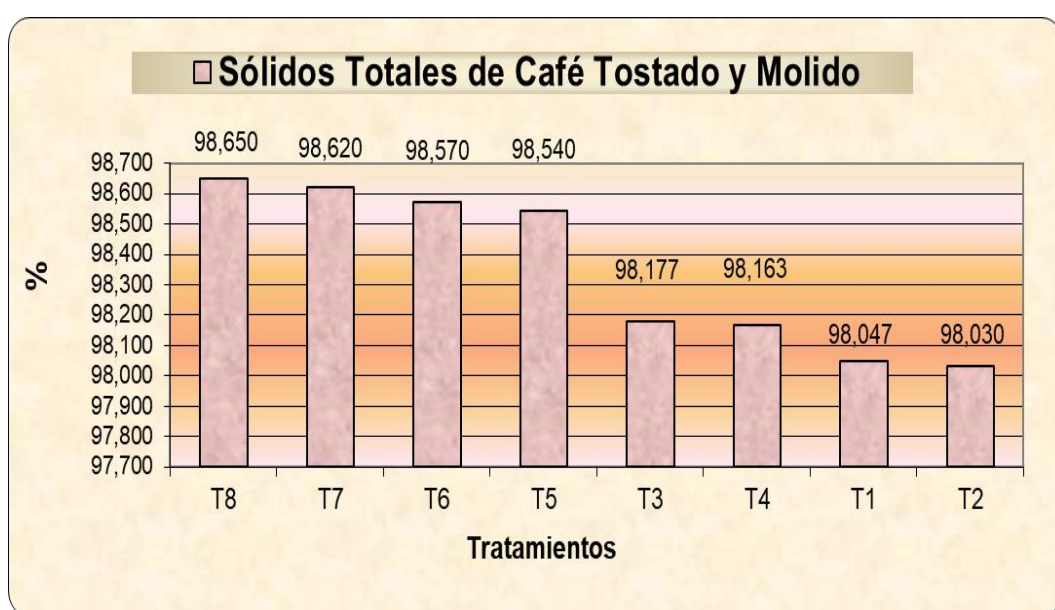


Gráfico 29. Sólidos Totales de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 29, se puede observar que los ocho tratamientos presentan un contenido de sólidos totales alto que va desde 98,65% a 98,03%, estos valores están relacionados directamente con el porcentaje de humedad que presentaron las muestras de café tostado y molido. En los tratamientos (T8, T7, T6, T5) el tiempo de tostado de 18 min ocasionó que la concentración de sólidos totales se incremente, por lo contrario el tiempo de 12 min hizo que los tratamientos (T3, T4, T1, T2) disminuyera la cantidad de sólidos. Se determinó la relación que a mayor tiempo de tostado aumenta los sólidos totales véase en el Gráfico 11 ; al presentar porcentajes bajos de humedad conlleva a tener una cantidad elevada en materia seca con compuestos principales como carbohidratos, proteínas, lípidos y cafeína.

Tabla 70. Análisis de varianza de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	1,525				
Tratamientos	7	1,520	0,217	668,174 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	1,445504	1,445504	4447,705 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,067204	0,067204	206,782 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,000337	0,000337	1,038 N.S	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,004004	0,004004	12,321 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,003038	0,003038	9,346 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,000004	0,000004	0,013 N.S	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,000004	0,000004	0,013 N.S	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,00520	0,00033			
CV=	0,018					

** : Altamente significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 70, se muestra el análisis de varianza se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$) para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura) y las interacciones AB y AC. Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 71. Prueba de Tukey para Sólidos Totales de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T8	98,65	a
T7	98,62	a
T6	98,57	a
T5	98,54	a
T3	98,17	b
T4	98,16	b
T1	98,04	c
T2	98,03	c

En la Tabla 71, se aprecia el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron tres rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **a** se localizaron los mejores tratamientos T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T7 (18 min, 210 °C, SL-28), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T5 (18 min, 190 °C, SL-28) los mismos que presentaron el rango más alto en contenido de sólidos totales, es decir que, mientras más bajo sea el contenido de humedad más alto será el porcentaje de sólidos totales.

El análisis funcional a las medias de sólidos totales de los factores **A** (tiempo) y **B** (temperatura), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor de tuvo mayor efecto sobre el contenido de sólidos totales del café tostado y molido, como se puede observar en las Tablas 72 y 73.

Tabla 72. Diferencia Mínima Significativa de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A2	98,59	a
A1	98,10	b

Tabla 73. Diferencia Mínima Significativa de Sólidos Totales de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B2	98,40	a
B1	98,29	b

En la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A y B se puede observar que a un tiempo de tostado de 18 min y a una temperatura de 210 °C, a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre el contenido de sólidos totales. Es conveniente tener una mayor cantidad de sólidos totales porque de esta manera habrá una cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que favorecerán las características propias del café.

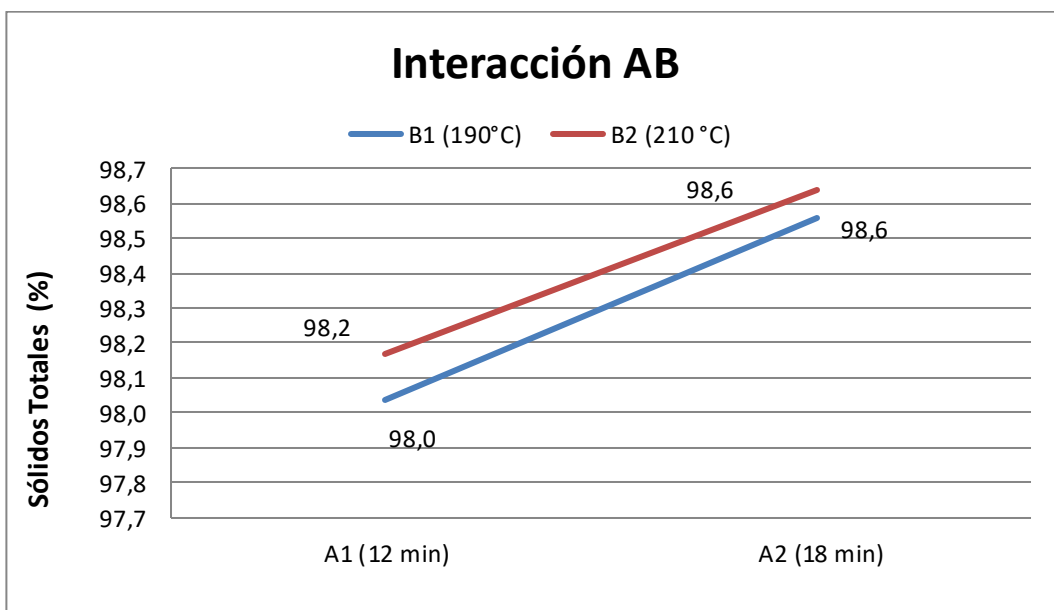


Gráfico 30. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para la Sólidos Totales de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 30, se muestra que el contenido de sólidos totales de café tostado y molido se incrementa a medida que el tiempo y la temperatura aumentan; esto debido a que existe una mayor cantidad de agua que se evaporó en el proceso de tostado, sin embargo se evidencia una conducta de las rectas en donde sí se aumenta el tiempo de tostado pueden llegar a interactuar.

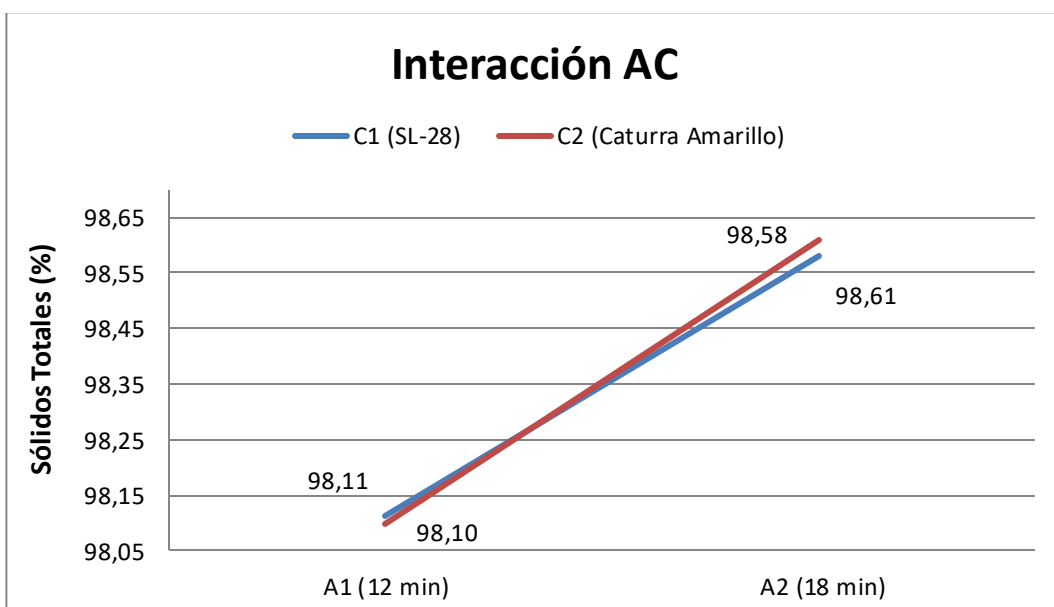


Gráfico 31. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para la Sólidos Totales de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 31, se observa que el contenido de sólidos totales de café tostado y molido aumenta a medida que el tiempo incrementa de 12 a 18 min, además las dos variedades presentan un incremento igual de sólidos totales, este comportamiento muestra el punto en el cual las dos variedades se comportan de la misma manera, además se determinó que el factor tiempo tiene una relación directa con respecto a la concentración de sólidos totales.

4.4.7 AZÚCARES REDUCTORES CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 74, se evidencia los valores reportados de contenido de azúcares reductores en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 74. Datos experimentales de Azúcares Reductores (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	0,322	0,301	0,307	0,930	0,310
T2	0,222	0,201	0,203	0,626	0,209
T3	0,305	0,303	0,306	0,914	0,305
T4	0,201	0,209	0,225	0,635	0,212
T5	0,300	0,310	0,311	0,921	0,307
T6	0,200	0,207	0,211	0,618	0,206
T7	0,360	0,310	0,330	1,000	0,333
T8	0,231	0,208	0,210	0,649	0,216

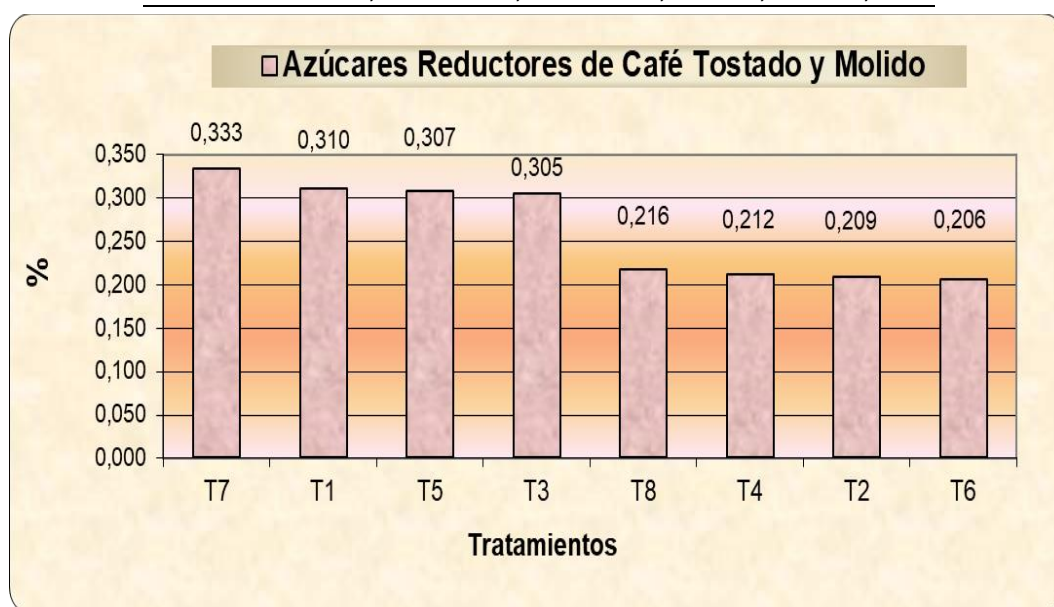


Gráfico 32. Azúcares Reductores de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 32, se observa que los tratamientos de la variedad SL-28 (T7, T1, T5, T3) fueron los que presentaron mayor concentración de azúcares reductores

en comparación con la variedad Caturra Amarillo (T8, T4, T2, T6). La causa del porcentaje inicial de azúcares reductores para la variedad SL-28 fue superior por consecuencia la cantidad en masa de este último se conserva.

Tabla 75. Análisis de varianza de Azúcares Reductores de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,068				
Tratamientos	7	0,066	0,009	59,107 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,000	0,000	1,813 N.S	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,000	0,000	2,792 N.S	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,064	0,064	402,676 **	8,530	4,490
I (Ax B)	1	0,001	0,001	3,602 N.S	8,530	4,490
I (Ax C)	1	0,000	0,000	1,327 N.S	8,530	4,490
I (Bx C)	1	0,000	0,000	0,139 N.S	8,530	4,490
I (Ax Bx C)	1	0,000	0,000	1,402 N.S	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,003	0,000			
CV=		4,799 %				

** : Altamente significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 75, se muestra el análisis de varianza, donde estableció diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para tratamientos y factor C (variedad).

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factor C.

Tabla 76. Prueba de Tukey para Azúcares Reductores de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T7	0,33	a
T1	0,31	a
T5	0,30	a
T3	0,30	a
T8	0,21	b
T4	0,21	b
T2	0,20	b
T6	0,20	b

En la Tabla 76, se visualiza el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), donde se encontró dos rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **b** se localizaron los mejores tratamientos T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T4 (12 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T2 (12 min, 190 °C, Caturra

Amarillo), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), en efecto está de acuerdo con los valores máximos que es 0,30% de azúcares reductores según lo que menciona (Puerta, 2011). Un porcentaje alto de azúcares reductores es beneficioso ya que estos son los encargados de formar las melanoidinas que proporcionan el color marrón y sabor a la bebida de café.

Tabla 77. Diferencia Mínima Significativa de Azucares Reductores de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C1	0,31	a
C2	0,21	b

En la Tabla 77, al efectuar la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para el factor C se muestra que variedad Caturra Amarillo fue el único factor que afectó en mayor proporción sobre el contenido de azúcares reductores.

4.4.8 POLISACÁRIDOS CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 78, se observa el contenido de polisacáridos en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 78. Datos experimentales de Polisacáridos (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	37,000	36,000	38,000	111,000	37,000
T2	35,000	36,000	38,000	109,000	36,333
T3	29,000	28,300	30,000	87,300	29,100
T4	29,000	31,000	28,900	88,900	29,633
T5	35,600	36,100	37,200	108,900	36,300
T6	36,800	37,400	36,500	110,700	36,900
T7	23,800	24,100	22,900	70,800	23,600
T8	22,300	21,800	23,700	67,800	22,600

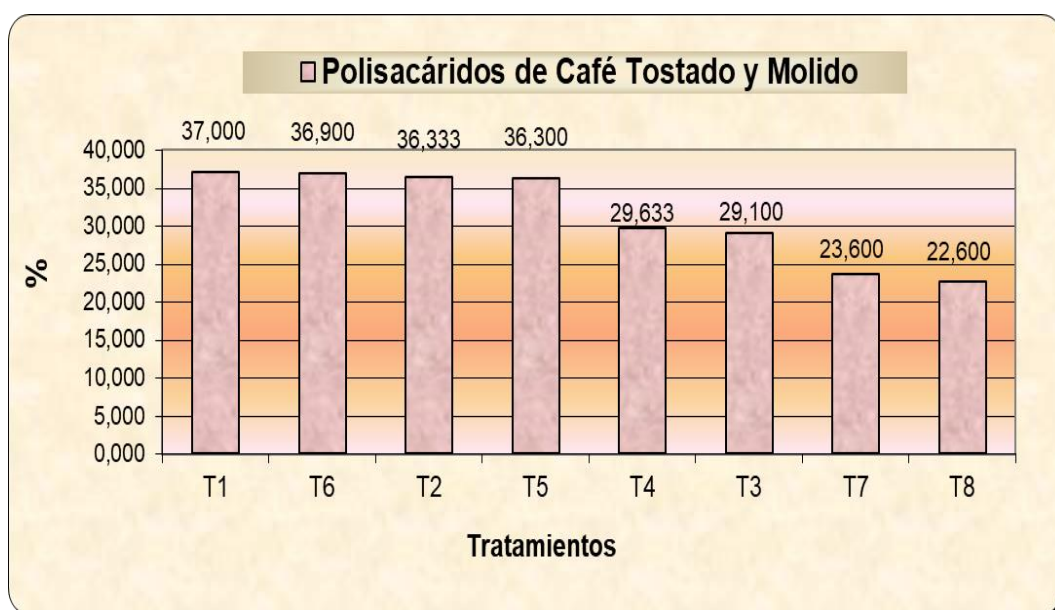


Gráfico 33. Poliacáridos de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 33, se visualiza el contenido de poliacáridos en los tratamientos (T1, T6, T2, T5) fue mayor que se sometieron a una temperatura de tostado de 190 °C, al contrario de los tratamientos (T4, T3, T7, T8) que se usó 210 °C mostraron un descenso de poliacáridos. Esto demuestra la relación inversa existente entre temperatura y poliacáridos; es decir que a una temperatura de 210 °C los poliacáridos se hidrolizan en mayor medida (Garay, 2014) disminuyendo su concentración.

Tabla 79. Análisis de varianza de Poliacáridos de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	785,333				
Tratamientos	7	769,920	109,989	114,175 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	60,167	60,167	62,457 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	648,960	648,960	673,661 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,107	0,107	0,111 N.S	8,530	4,490
I (Ax B)	1	57,660	57,660	59,855 **	8,530	4,490
I (Ax C)	1	0,027	0,027	0,028 N.S	8,530	4,490
I (Bx C)	1	0,060	0,060	0,062 N.S	8,530	4,490
I (Ax Bx C)	1	2,940	2,940	3,052 N.S	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	15,413	0,963			
		CV=	3,122%			

** : Altamente significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 79, se observa el análisis de varianza que estableció diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura) y la interacción AB.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 80. Prueba de Tukey para Polisacáridos de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T1	37,00	a
T6	36,90	a
T2	36,33	a
T5	36,30	a
T4	29,63	b
T3	29,10	b
T7	23,60	c
T8	22,60	c

En la Tabla 80, se observa el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), donde se encontraron tres rangos con comportamiento diferente, donde en los rangos **a** y **b** se localizaron los mejores tratamientos T1 (12 min, 190 °C, SL-28), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T2 (12 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T5 (18 min, 190 °C, SL-28), T4 (12 min, 210 °C, SL-28), T3 (12 min, 210 °C, SL-28), en consecuencia dichos tratamientos están dentro del rango que menciona (Smith, 1985). Los polisacáridos durante el proceso de tostado sufrieron una deshidratación lo que conlleva a que se hidrolicen en azúcares simples dando lugar a la formación de los compuestos que otorgan color caramelo y contribuyen favorablemente a la retención de aromas, proporcionan cuerpo a la bebida y generan espuma en el espresso (Díaz, 2014).

El análisis funcional a las medias de contenido de polisacáridos de los factores **A** (tiempo) y **B** (temperatura), mediante la prueba de Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el contenido de polisacáridos del café tostado y molido, como se observa en las Tablas 81 y 82.

Tabla 81. Diferencia Mínima Significativa de Polisacáridos de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	33,01	a
A2	29,85	b

Tabla 82. Diferencia Mínima Significativa de Polisacáridos de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	36,63	a
B2	26,23	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A y B; permite observar que al tiempo de 12 min A1 y una temperatura de 190 °C, a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre el contenido de polisacáridos. Es favorable contar con una mayor concentración de polisacáridos para contribuir con los atributos que se evaluaron en la prueba de taza.

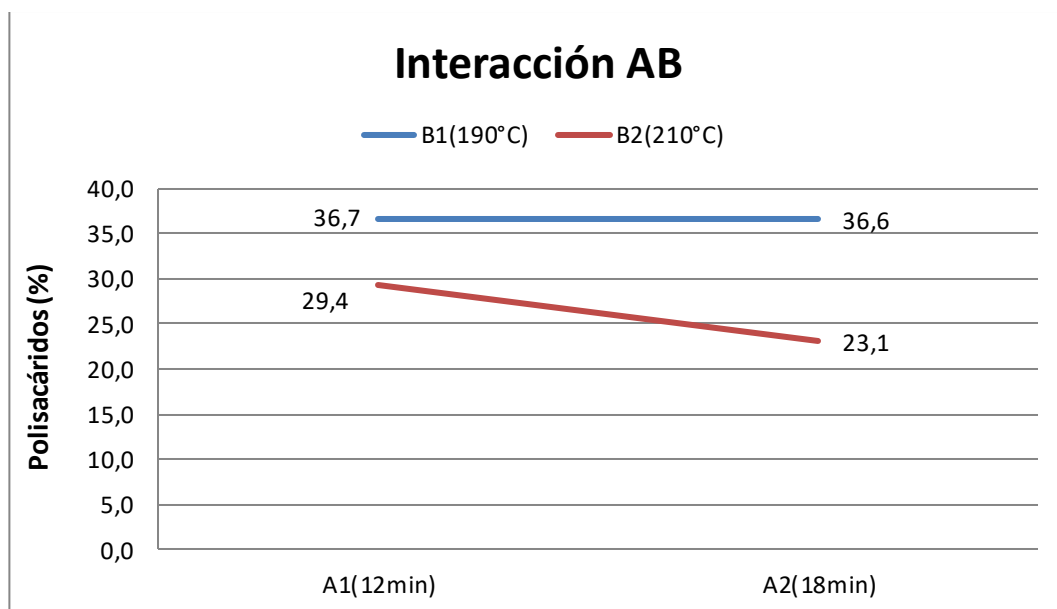


Gráfico 34. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Polisacáridos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 34, se observa que el contenido de polisacáridos en el café tostado y molido disminuye a medida que aumenta el tiempo de 12 a 18 min y la

temperatura de 190 °C a 210 °C. También se puede observar que los tratamientos con menor contenido de polisacáridos fueron los que se sometieron a una temperatura de tostado de 210 °C, a causa que la temperatura fue suficiente para que los polisacáridos se hidrolicen por completo (Garay, 2014).

4.4.9 SACAROSA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 83, se observa el contenido de sacarosa en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 83. Datos experimentales de Sacarosa (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	0,236	0,238	0,230	0,704	0,235
T2	0,261	0,267	0,267	0,795	0,265
T3	0,221	0,225	0,229	0,675	0,225
T4	0,240	0,244	0,240	0,724	0,241
T5	0,218	0,213	0,219	0,650	0,217
T6	0,300	0,301	0,299	0,900	0,300
T7	0,190	0,209	0,191	0,590	0,197
T8	0,252	0,267	0,275	0,794	0,265

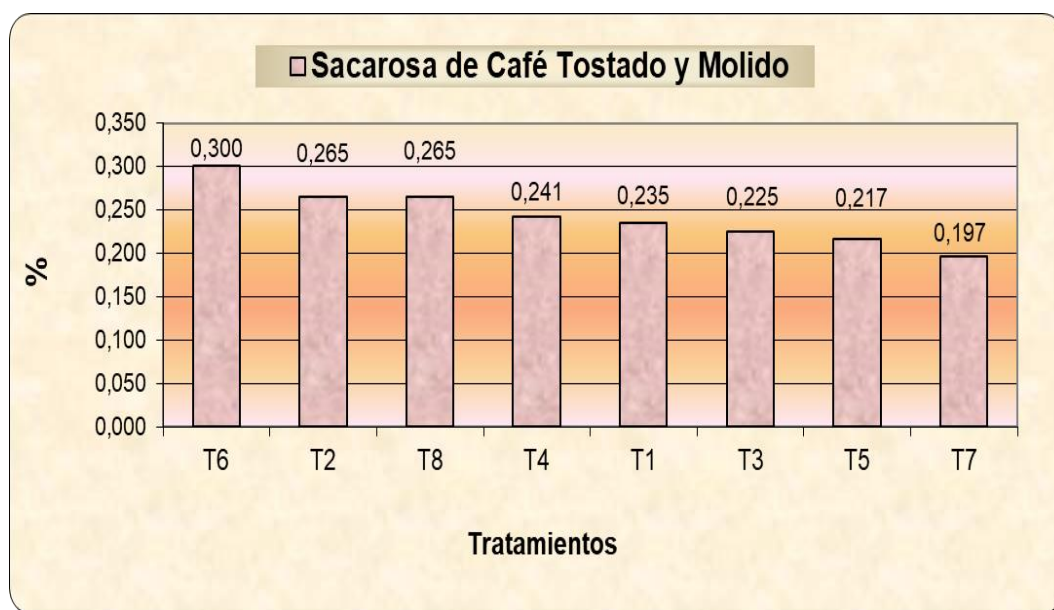


Gráfico 35. Sacarosa de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 35, se aprecia el contenido de sacarosa fue mayor para los tratamientos (T6, T2, T8, T4) que corresponden a la variedad Caturra Amarillo mientras que fue inferior para los tratamientos de la variedad SL-28 (T1, T3, T5, T7). Se determinó que la concentración de sacarosa está propiamente relacionada con la variedad, por lo tanto los valores concuerdan con el porcentaje inicial que

cada variedad presentó. La concentración de sacarosa reportada por el tratamiento T6 fue mayor con una temperatura de 190 °C se debe a que hubo menor formación de ácidos y compuestos aromáticos (Puerta, 2011). Por otra parte para el tratamiento T7 sometido a temperatura y tiempo elevados hay menor concentración pero mayor producción de ácidos y compuestos aromáticos.

Tabla 84. Análisis de varianza de Sacarosa de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,022942				
Tratamientos	7	0,022317	0,003188	81,571733 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,000054	0,000054	1,381663 ^{N.S}	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,002948	0,002948	75,432836 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,014701	0,014701	376,157783 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,000182	0,000182	4,643923 *	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,004108	0,004108	105,113006 **	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,000323	0,000323	8,255864 *	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,000001	0,000001	0,017058 ^{N.S}	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,000625	0,000039			
CV=	2,573 %					

*: Altamente significativo, *: significativo, N.S: no significativo.

En la Tabla 84, se muestra el análisis de varianza en donde se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$) para tratamientos, factor **B** (temperatura), factor **C** (Variedad) y la interacción AC; y significación para la interacción AB y BC. Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 85. Prueba de Tukey para Sacarosa de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T6	0,300	a
T2	0,265	b
T8	0,265	b
T4	0,241	c
T1	0,235	c
T3	0,225	c
T5	0,217	c
T7	0,197	d

En la Tabla 85, se observa el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontró cuatro rangos con comportamiento diferente, donde en el

rango **a** se localizó el mejor tratamiento T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), el cual se encontró dentro de lo establecido de acuerdo a lo que menciona Meenakshi & Jagan (2007), que el porcentaje de sacarosa en base húmeda para café tostado es de 0,30%. Durante el tostado de café la sacarosa se deshidrata y genera el amargo, sabor, color, acidez y aroma en la bebida del café.

El análisis funcional a las medias de contenido de sacarosa de los factores **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **a** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre el contenido de sacarosa del café tostado y molido, como se observa en las Tablas 86 y 87.

Tabla 86. Diferencia Mínima Significativa de Sacarosa de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B1	0,254	a
B2	0,232	b

Tabla 87. Diferencia Mínima Significativa de Sacarosa de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C2	0,268	a
C1	0,218	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores B y C; se muestra que a una temperatura de 190 ° C con la variedad Caturra Amarillo, a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre el contenido de sacarosa con relación a los tratamientos de la variedad SL-28 que fueron sometidos a altas temperaturas. Es beneficioso poseer valores que cumplan el valor establecido de 0,30% ya que existirá mayor presencia de ácidos que se formaron por la degradación de la sacarosa (Puerta, 2011).

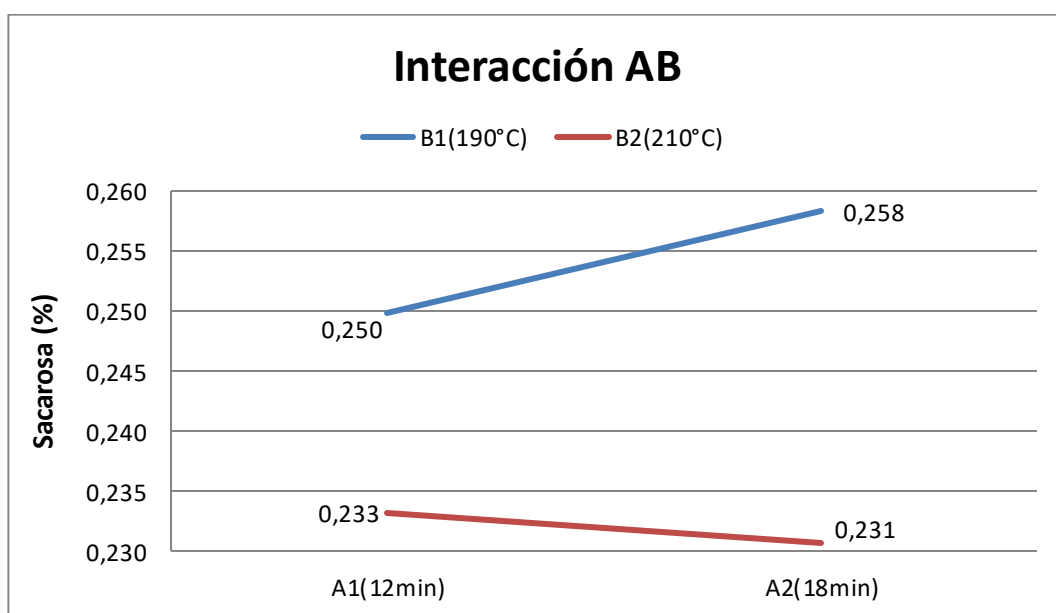


Gráfico 36. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Sacarosa de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 36, se puede observar que el comportamiento de las rectas fue independiente el uno del otro, siendo la temperatura el factor que más influye en la concentración residual de sacarosa; esta conducta se debe propiamente a la Reacción de Maillard, que consiste en la deshidratación, descomposición y caramelización de la sacarosa; de esta manera se forman ácidos alifáticos que actúan como compuestos aromatizantes en la bebida de café (Puerta, 2011; Illy & Viani, 2005), del mismo modo este comportamiento se repite en la interacción de los factores A y C que se presenta en el Gráfico 37.

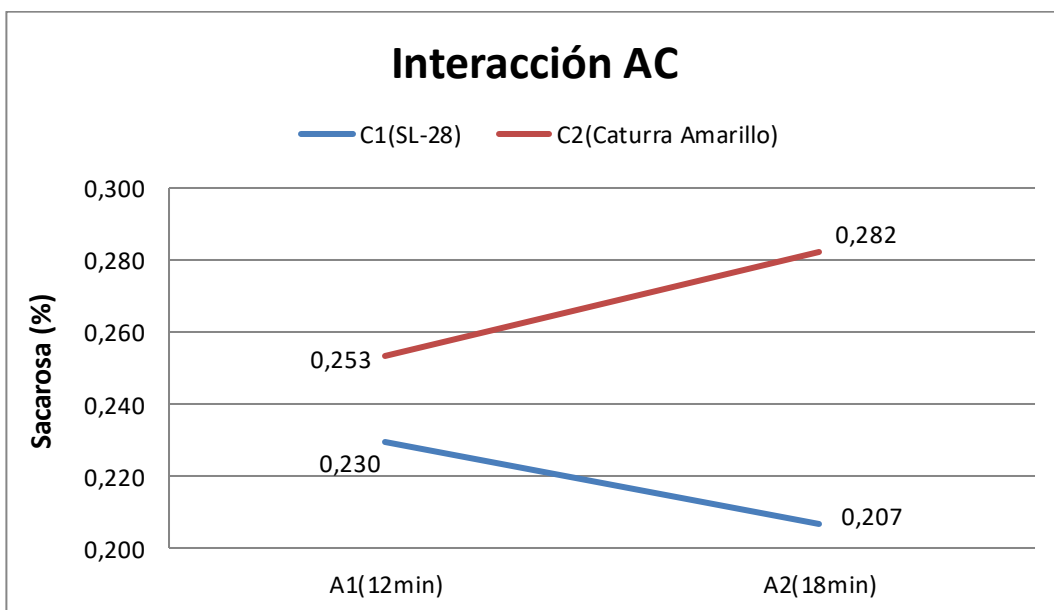


Gráfico 37. Interacción para los Factores A (Tiempo) y C (Variedad) para Sacarosa de Café Tostado y Molido

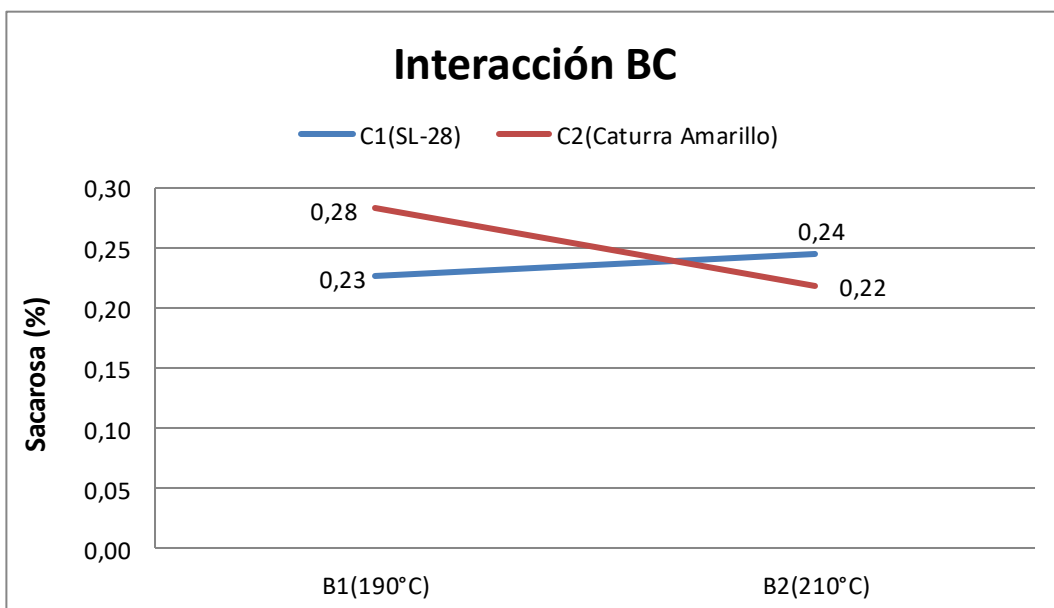


Gráfico 38. Interacción para los Factores B (Temperatura) y Factor C (Variedad) para Sacarosa de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 38, se puede apreciar que la temperatura influye en menor grado a la cantidad final de sacarosa a diferencia de la variedad, la misma que actúa de manera independiente y marca la tendencia respecto a la concentración final de sacarosa. El punto de interacción existente es donde la temperatura y variedad se comportan de la misma manera.

4.4.10 CAFEÍNA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

En la Tabla 88, se observa el contenido de cafeína en (%) que corresponden a cada uno de los tratamientos.

Tabla 88. Datos experimentales de Cafeína (%) de Café Tostado y Molido

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	1,060	1,090	1,050	3,200	1,067
T2	0,970	0,980	0,960	2,910	0,970
T3	1,170	1,150	1,170	3,490	1,163
T4	1,050	1,000	1,040	3,090	1,030
T5	1,070	1,160	1,100	3,330	1,110
T6	0,940	0,910	0,950	2,800	0,933
T7	1,060	1,110	1,080	3,250	1,083
T8	0,960	0,990	0,980	2,930	0,977

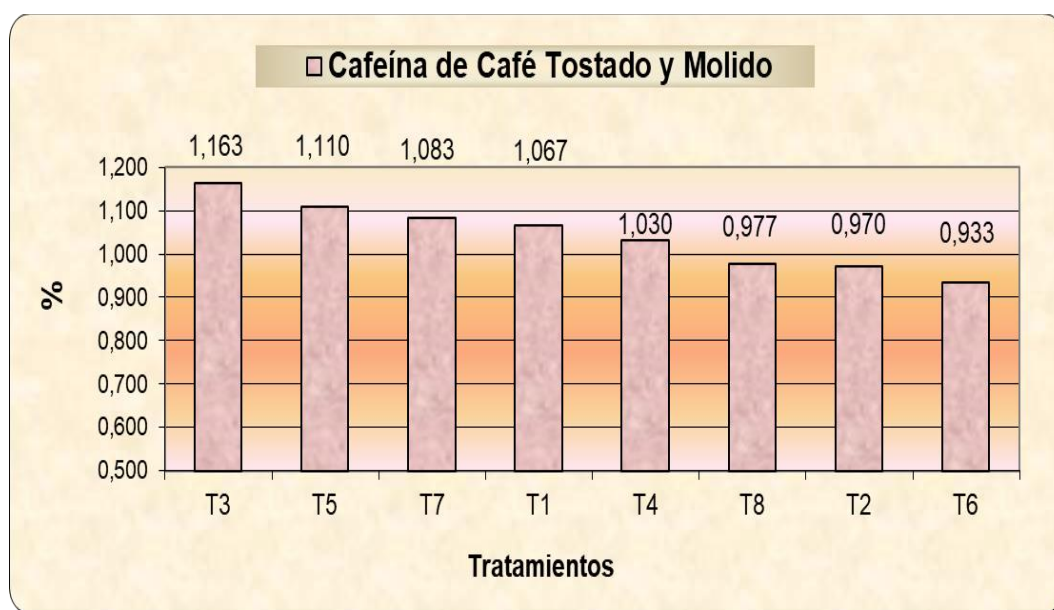


Gráfico 39. Cafeína de los tratamientos de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 39, se puede apreciar que los tratamientos de la variedad SL-28 (T3, T5, T7, T1) fueron los que arrojaron mayores valores de cafeína, al contrario de los tratamientos de la variedad Caturra Amarillo (T4, T8, T2, T6). Con esto se demuestra que la variedad influye directamente con el contenido de cafeína, por lo tanto los valores concuerdan con el porcentaje inicial que cada variedad presentó; en efecto el aumento de concentración de cafeína se produce por la pérdida de otros compuestos en el proceso de tostado (Farah, 2012).

Tabla 89. Análisis de varianza de Cafeína de Café Tostado y Molido

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. 5%
Total	23	0,139				
Tratamientos	7	0,129	0,018	30,977 **	4,030	2,660
FA (Tiempo)	1	0,006	0,006	10,098 **	8,530	4,490
FB (Temperatura)	1	0,011	0,011	18,909 **	8,530	4,490
FC (Variedad de café)	1	0,099	0,099	165,846 **	8,530	4,490
I (AxB)	1	0,007	0,007	12,336 **	8,530	4,490
I (AxC)	1	0,001	0,001	1,790 N.S	8,530	4,490
I (BxC)	1	0,000	0,000	0,699 N.S	8,530	4,490
I (AxBxC)	1	0,004	0,004	7,161 *	8,530	4,490
ERROR EXP.	16	0,010	0,001			
CV=	2,343 %					

** : Altamente significativo, * : significativo, N.S: no significativo.

En la Tablas 89, se observa el análisis de varianza en donde se encontró alta significación estadística ($p < 0.01$) para tratamientos, factor **A** (tiempo), factor **B** (temperatura), factor **C** (variedad) y AB y significación para interacción ABC.

Por lo tanto, se realizó las pruebas de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para factores.

Tabla 90. Prueba de Tukey para Cafeína de Café Tostado y Molido

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T3	1,16	a
T5	1,11	a
T7	1,08	b
T1	1,06	b
T4	1,03	c
T8	0,97	c
T2	0,97	c
T6	0,93	c

En la Tabla 90, se muestra el análisis funcional mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), se encontraron tres rangos con comportamiento diferente, donde en el rango **c** se localizaron los mejores tratamientos T4 (12 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T8 (18 min, 210 °C, Caturra Amarillo), T2 (12 min, 190 °C, Caturra Amarillo), T6 (18 min, 190 °C, Caturra Amarillo), en consecuencia estos

tratamientos cumplen con lo mencionado por Smith (1985), que establece que el contenido de cafeína en el café tostado está aproximadamente en el 1,00%.

El análisis funcional a las medias de cafeína de los factores **A** (tiempo), **B** (temperatura) y **C** (variedad), mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **b** corresponde al nivel del factor que tuvo mayor efecto sobre la café del café tostado y molido, como se observa en las Tablas 91, 92 y 93.

Tabla 91. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor A

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	1,05	a
A2	1,02	b

Tabla 92. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor B

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
B2	1,06	a
B1	1,02	b

Tabla 93. Diferencia Mínima Significativa de Cafeína de Café Tostado y Molido Factor C

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
C1	1,10	a
C2	0,97	b

La prueba de significación Diferencia Mínima Significativa ($\alpha < 0.05$) para los factores A, B y C; permite observar que a un tiempo de 18 min, temperatura de 190 ° C y la variedad Caturra Amarillo, a estas condiciones los factores tuvieron mayor efecto sobre el contenido de cafeína con relación a los tratamientos de la variedad SL-28 sometidos a temperatura alta y tiempo reducido.

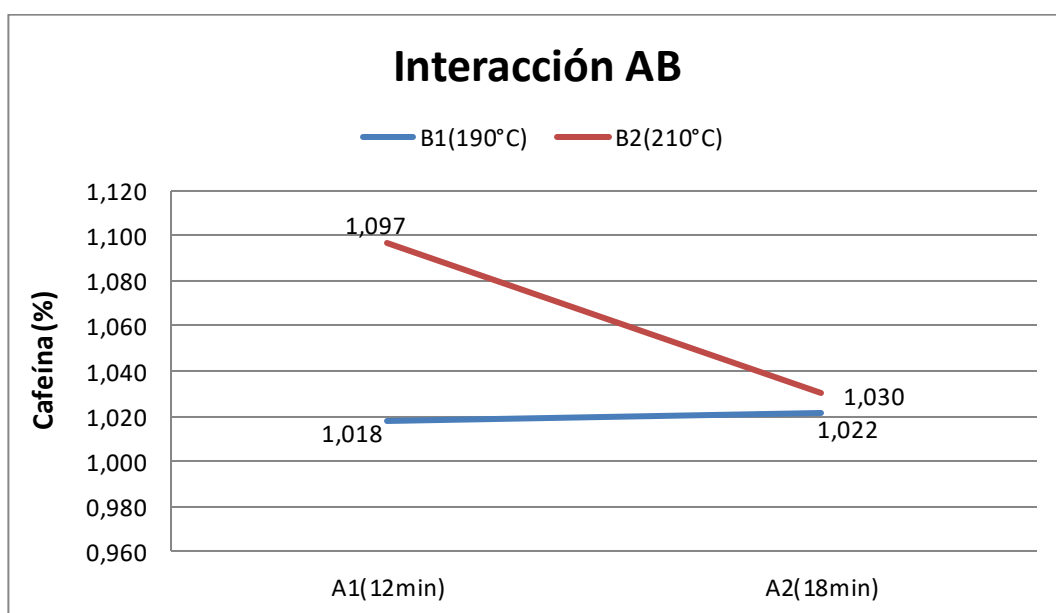


Gráfico 40. Interacción para los Factores A (Tiempo) y B (Temperatura) para Cafeína de Café Tostado y Molido

En el Gráfico 40, se puede observar que la temperatura influye en mayor grado a la concentración de cafeína a diferencia del tiempo, es decir que a mayor temperatura 210 °C se ve afectada la concentración, mientras que a 190 °C no sucede ese principio; además el tiempo actúa de manera independiente y marca la tendencia respecto a la concentración final de cafeína. Es posible que elevando el tiempo exista el cruce de las rectas donde la temperatura y tiempo se comporten de la misma manera.

4.5 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA BEBIDA DE CAFÉ

Al finalizar los análisis físicos y químicos del café tostado, se procedió a realizar la evaluación de la taza a la bebida de café, en este caso se evaluó cuatro atributos que son aroma, sabor, acidez y cuerpo como se observa en la Tabla 94 el puntaje y las características propias que presentó cada tratamiento.

Tabla 94. Evaluación de la Taza (Bebida de Café)

Tratamientos	Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo
T1	Dulce, caña hierba 6,75	Caña, cereal 6,50	6,75	Ligero 6,5
T2	Floral, miel 7,00	Dulce, limón dulce 7	Acidez cítrica 7,25	Delicado 7,25
T3	Dulce, especiado, clavo de olor, humo 6,50	Caña, caramelo, quemado, humo 6,25	6,5	Medio 6,75
T4	Humo, caucho 6,75	Humo, caucho 6,75	6,75	7
T5	Dulce, especiado, clavo de olor 7,00	Caña, Caramelo 7	7	Medio 7
T6	Floral, caramelo 7,25	Dulce, limón dulce 7,5	Acidez cítrica 7,75	Medio 7,25
T7	Humo, caucho 6,25	Caucho, cuero 6,25	6,25	Intenso 6,25
T8	Humo, caucho 6,25	Humo, caucho 6,25	6,25	6,25

Aroma: Las calificaciones más altas con valoración de 7,00 para los tratamientos T2 y T5 y 7,25 para el tratamiento T6; las más bajas puntuaciones de 6,25 fue para los tratamientos T7 y T8; concluyéndose que la temperatura y el tiempo influyen en el aroma del café tostado molido, en donde a temperaturas altas el aroma se lo compara con humo y caucho con presencia de fenoles, mientras que en los tratamientos que presentaron temperatura baja su aroma es considerado floral y caramelo que presentan notas de ácidos y furanos (Puerta, 2011).

Sabor: Las mejores calificaciones con valoración de 7,00 para los tratamientos T2 y T5, y el tratamiento T6 una valoración de 7,50 ; las puntuaciones más bajas de 6,25 fue para los tratamientos T7, T8 y T3; concluyéndose que la temperatura y el tiempo influyen en sabor del café tostado molido, en donde a temperaturas altas el sabor se lo compara con descriptores de humo, caucho y cuero con notas a fenoles, mientras tanto que los tratamientos que presentaron temperatura baja su aroma es considerado dulce, limón, caña y caramelo donde están presentes ácidos y furanos.

Acidez: Las calificaciones más altas con valoración de 7,25 para el tratamiento T2 y 7,75 para el tratamiento T6 que presenta acidez con notas cítricas; las más bajas puntuaciones de 6,25 fue para los tratamientos T7 y T8; concluyéndose que la acidez de un tostado oscuro (alta temperatura) será menor y mayor su amargor, mientras que un tostado claro (baja temperatura) la acidez será mayor y menor el amargor, y es favorable que presente una acidez mayor porque una buena taza de café se caracteriza por una combinación proporcionada de acidez / amargor, esto determina un perfil de sabor equilibrado (Puerta , 2009; Schenker & Rothgeb, 2017).

Cuerpo: Las mejores calificaciones con valoración de 7,25 para los tratamientos T2 y T6; las puntuaciones más bajas de 6,25 fue para los tratamientos T7 y T8; concluyéndose que para los tuestes oscuros el cuerpo fue intenso, mientras que el tueste claro es cuerpo fue medio.

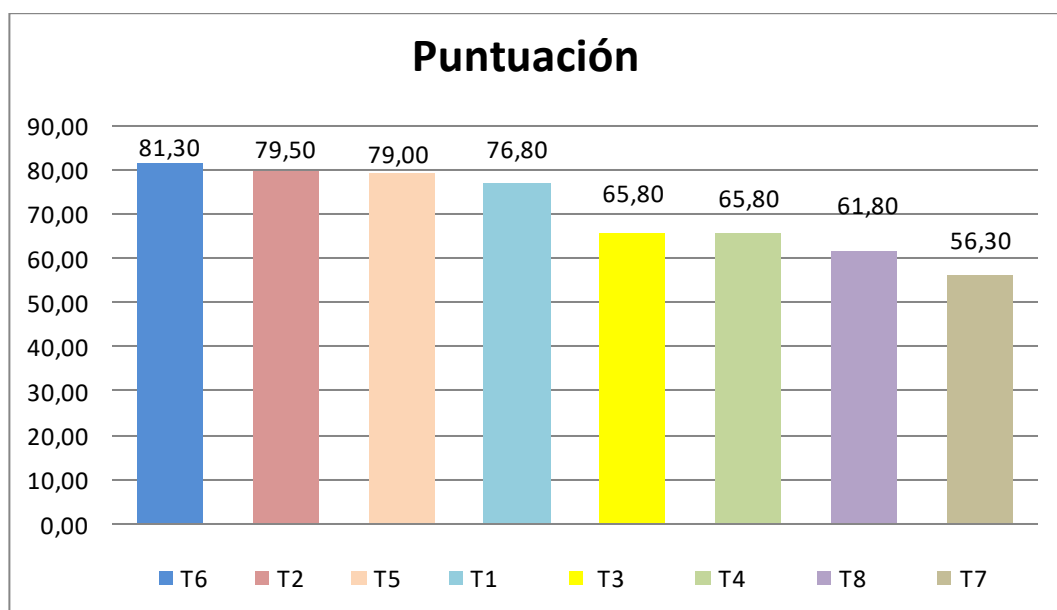


Gráfico 41. Resultados de Evaluación de la Taza

El Gráfico 41, presenta la puntuación que obtuvo cada tratamiento después de realizarse la evaluación de la taza. El mejor tratamiento de acuerdo con la puntuación fue el tratamiento T6 con 81,30/100 puntos, donde indudablemente los factores (sabor, aroma, acidez y cuerpo) en conjunto contribuyeron, además el proceso de tostado ganador fue 18 min, a una temperatura de 190 ° C con la

variedad caturra amarillo, debido a que la composición química de café tostado molido superó en componentes que otorgan la calidad en la taza a la bebida.

El tratamiento T6 con la calificación de 81,30/100 puntos se ubica dentro de la clase *“excelente”* según la Norma NTE INEN 1123-2016; en comparación con la mejor puntuada del concurso de “Taza Dorada” realizada el cinco de Agosto de 2017, en el cantón Puerto Quito la cual superó con un puntaje de 85,5/100 como se puede observar en el Anexo B.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis de las características físicas del café verde en la variedad SL-28 registra valores mayores de tamaño, humedad y densidad, con relación a la variedad Caturra Amarillo.
- Se determina que la variedad de café Caturra Amarillo presenta mayores contenidos de proteína, polisacáridos, sólidos totales, sacarosa, minerales, pH, y lípidos. Mientras que la variedad SL-28 presenta mayores valores de ceniza, acidez, azúcares reductores y cafeína.
- Los granos de café verde de las variedades Caturra Amarillo y SL-28 presentan similares atributos de color verde claro y olor limpio.
- El tiempo de procesamiento tiene mayor efecto sobre la disminución de humedad del grano tostado. Mientras que la temperatura, el tiempo y la variedad tienen mayor efecto sobre la disminución de la densidad del grano tostado.
- El análisis de las características físicas del café tostado y molido con granulometría de 3 mm, establece que los ocho tratamientos presentan un contenido de humedad dentro del rango 3,5%, cumpliendo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1123-2016. Por otro lado, la densidad no afecta a la calidad del café en bebida.
- El tiempo y la temperatura de tostado tienen un efecto significativo sobre el contenido de ceniza, pH, acidez, proteína, lípidos, sólidos totales, polisacáridos, sacarosa y cafeína en los tratamientos de estudio, sin

- embargo la variedad es el único factor que influyó sobre los azúcares reductores.
- La temperatura y tiempo tienen mayor efecto sobre los atributos organolépticos de color y olor, en los tratamientos de estudio
- Los tratamientos del proceso de tostado a 190 °C y 18 minutos registran una mayor puntuación de la calidad sensorial en taza. Donde el mejor tratamiento es T6 (18 minutos, 190 °C, Caturra Amarillo).
- Los resultados alcanzados permiten aceptar la hipótesis alternativa, ya que el tiempo y temperatura del proceso de tostado influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café arábica Caturra Amarillo y SL-28.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales en función de diferentes altitudes y de las condiciones agroecológicas del cultivo de café.
- Para el proceso de tostado de café se recomienda probar con otros intervalos de tiempo y temperatura.
- Se plantea realizar ensayos en donde se evalúen distintas mezclas de café y se agregue el proceso de torrefacción.
- Se recomienda evaluar los métodos de beneficiado húmedo y seco sobre la calidad sensorial del café.
- Se recomienda evaluar el proceso de fermentación y secado ya que de estos procesos dependerá la calidad de la materia prima y por ende de la bebida.

BIBLIOGRAFÍA

- Anthony, F., Combes, M., Astorga, C., Bertrand, B., Graziosi, G., & Lashermes, P. (2002). The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. 894-895.
- Batista, L., & Chalfoun, S. (2015). Quality of Coffee Beans . En L. Batista, & S. Chalfoun, *Quality of Coffee Beans* (págs. 477-503).
- Buenaventura, C., & Castaño, J. (2002). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del Ecotopo 206B en Colombia. *Cenicafé*, 123-130.
- Carvajal, J., Aristizáb, I., Oliveros , C., & Mejía, J. (2011). Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-12.
- Café la Nacional. (27 de Noviembre de 2015). www.cafelanacional.com.
Obtenido de <http://www.cafelanacional.com/nosotros/tueste-a-la-medida/>
- Cárdenas, J., & Prado, J. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL CAFÉ LA PRIMAVERA*. Bogotá: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.
- 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.
- Centro de Investigaciones en Café. (2011). Guía Técnica para el Cultivo del Café. *Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE)*, 3-6.
- Ciriaco, M. (2013). *Control de calidad del café. Manual Técnico*. Perú.
- Clifford. (2013). *The composition of green and roasted coffee beans*.
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad al usuario. (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-169-SCFI. México D.F.

- Consejo Nacional Cafetalero . (2013). *Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano*. Portoviejo.
- Córdova, N., & Guerrero, J. (2016). CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS TRADICIONALES DE FERMENTACIÓN DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 75-83.
- Cuéllar, P., & Castaño, J. (2001). Relación entre la densidad aparente del café tostado y molido medido por compactación y caída libre y algunas propiedades del extracto de café. *Cenicafé*, 215-222.
- Díaz, A., & Perdomo , A. (2015). Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (*Coffea arabica*) del occidente de Honduras. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*, 15.
- Díaz, P. (2014). *EFFECTOS 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*. Bogotá.
- Duicela , L., Guamán, J., & Farfán, D. (2015). *Poscosecha y Calidad del Café*. Guayaquil.
- Duicela, L., Corral, R., Farfán, D., Verduga, C., Palma, R., Macías, A., . . . García, J. (2010). *Influencia de Métodos de Beneficio sobre la calidad organoléptica del Café Arabigo*. Portoviejo.
- Durán, F. (2011). *Cultivo de Café*. Colombia: Grupo Latino Editores S.A.S.
- Falcón, D., Ledea , O., Fernández, L., & González, E. (2015). Validación de un método cromatográfico para la determinación de cafeína en muestras acuosas de la Industria Farmacéutica. *Revista Cubana de Farmacia*, 220-221.
- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. *Emerging Health Effects and Disease Prevention, First Edition*, 33-35.

- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia . (s.f). *Aspectos de Calidad de Café para la Industria Torrefactora Nacional*. Bogotá.
- Folstar, P. (1985). *Lipids*.
- Fórum Café . (10 de Mayo de 2018). www.forumcafe.com.
- Fórum Café;. (27 de Junio de 2017). www.forumcafe.com.
- Galindo Veliz, X. (2011). *“Producción e Industrialización de Café Soluble, Caso: Solubles instantáneos*. Guayaquil.
- Garay, D. (2014). *Estandarización de la Tostión de Café*. Colombia.
- Gotteland, M., & Saturnino, P. (2007). Algunas verdades sobre el Café. *Revista Chilena de Nutrición*.
- Guevara, R., & Castaño, J. (2005). Caracterización Granulométrica del Café Colombiano Tostado y Molido . *Cenicafé*, 2-14.
- IEPI. (18 de Julio de 2014). www.propiedadintelectual.gob.ec. Obtenido de www.propiedadintelectual.gob.ec:
<https://www.propiedadintelectual.gob.ec/ecuador-con-aroma-de-cafe/>
- Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffe: the science of quality* . Ámsterdam: Elsevier.
- INAMHI. (16 de Abril de 2013). www.serviciometeorologico.gob.ec.
- INFOCAFES . (19 de Mayo de 2018). <http://www.infocafes.com>. Obtenido de <http://www.infocafes.com>:
<http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/18.pdf>
- INFOCAFES. (10 de Noviembre de 2015). <http://infocafes.com/portal/>. Obtenido de <http://infocafes.com/portal/>:
<http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/24.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2006). *NTE INEN 285: 2006. Café Verde en Grano. Claisificación y Requisitos*. Ecuador.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 1123: 2016 CAFÉ TOSTADO EN GRANO O MOLIDO. REQUISITOS. Segunda Revisión.* Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 290. (1978). *Café en grano. Determinación del Tamaño.* Ecuador .
- Instituto Hondureño del Café . (2004). Requisitos de Calidad del Café para su comercialización Nacional e Internacional. 1-17.
- International Coffee Organization. (30 de Noviembre de 2016). *International Coffee Organization.* Obtenido de International Coffee Organization: http://www.ico.org/monthly_coffee_trade_stats.asp
- Lambot, C., Herrera , J., Bertrand, B., Sadeghian, S., Benavides, P., & Gaitán, A. (2017). *Cultivating Coffee Quality-Terroir and Agro-Ecosystem.* Manizales.
- López, S., Pulgarín, J., Montoya, E., & Oliveros, C. (2003). RELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE MADUREZ DEL FRUTO DEL CAFÉ Y LAS CARACTERÍSTICAS DE BENEFICIO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA BEBIDA. *CENICAFÉ*, 297-315.
- Meenakshi , A., & Jagan , M. (2007). An Impression of Coffee Carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51-67.
- Monroig, M. (1999). *MANUAL PARA UNA CAFICULTURA SOSTENIBLE EN PUERTO RICO.* Puerto Rico.
- Norma Mexicana NMX--F-013 CAFÉ PURO TOSTADO, EN GRANO O MOLIDO, SIN DESCAFEINAR O DESCAFEINADO. ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA . (2000).
- Norma Salvadoreña NSO 67.31.02:04 ESTANDARES DE CALIDAD.CAFÉ TOSTADO EN GRANO Y CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO. (2004).
- Omozoje , O. (2012). *Chlorogenic acid content of green coffee beans.* Faculty of Biological and Chemical Sciences.

- Organización Intenacional del Café. (16 de Junio de 2007). *http://www.ico.org*.
Obtenido de *http://www.ico.org/es/botanical_c.asp*
- Organización Internacional del Café ICO. (2013). *Normas de Calidad* . Belo Horizonte, Brasil.
- Ortega , S. (11 de Marzo de 2015). Caracterización Preliminar de Genotipos de Café. *El diario FICAYA emprende*, 1-3.
- Peláez, Á. (1995). *Aspectos de Calidad del Café para la Industria Torrefactora Nacional*. Bogotá.
- Plataforma Nacional de Café Sostenible-Scan Guatemala. (2015). Evaluación Sensorial del Café. 1-31.
- Pokorny, J., Ouyen-Huy Con, J., Bulantova, H., & Janicek, O. (1974). *Nahrung*.
- Pozo, S. M. (2015). “*ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE POSCOSECHA DE CAFÉ PARA LA ASOCIACIÓN “BOSQUE NUBLADO GOLONDRINAS” DE LAS PARROQUIAS JACINTO JIJÓN Y CAAMAÑO Y EL GOALTAL DE LA PROVINCIA DEL CARCHI*”. Ibarra.
- Prieto, Y. (2002). *Caracterización física de café semitostado*. Bogotá.
- Proyecto de Norma Venezolana . (2017). *COVENIN 46:2017. Café Tostado y Molido.Cuarta Revisión*. Venezuela.
- Puerta , G. (2009). Los Catadores de Café. *CENICAFÉ*, 1-11.
- Puerta , G. (2012). Factores,Procesos y controles en la Fermentación de café . *Avances Técnicos CENICAFÉ*, 1-12.
- Puerta , G., Bolívar , C., & Gallego , C. (2017). Composición química de elemnetos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. *CENICAFÉ*, 28-60.
- Puerta, G. (2006). Buenas Prácticas Agrícolas para el Café . *CENICAFE*, 2.

- Puerta, G. (Diciembre de 2011). *Composición Química de una Taza de Café*. Colombia: ISSN - 0120 - 0178. Obtenido de www.cenicafe.org: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>
- Pulgarín, J. (2008). *Crecimiento y desarrollo de la Planta de Café*.
- Quiliguango, R. (2013). *INFLUENCIA DE CUATRO MÉTODOS DE BENEFICIO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ ARÁBIGO (Coffea arabica L.) EN DOS PISOS ALTITUDINALES DEL NOROCCIDENTE DE PICHINCHA*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Ramos , P., Sanz, J., & Oliveros, C. (2010). IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ EN TIEMPO REAL, A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN DE COLOR. *CENICAFE*.
- Rivera, W., Velasco, X., & Rincón , C. (2013). Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café. . *Revista Colombiana De Física*, 205-208.
- Rojo, E. (2014). Café I (G.Coffea). *Reduca (Biología)*. Serie Botánica. 7 (2), 113-128.
- Sánchez, J., Anaya, I., Vizcarra, M., Gutiérrez, G., & Santiago, T. (2007). Estudio de la Hidrodinámica del Café Tostado (Coffea arabica L.) en lecho fluidizado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 185-192.
- Schenker, S., & Rothgeb, T. (2017). *The Roast Creating the Beans Signature*. San Francisco C.A.
- SINAGAP. (2013). Obtenido de <http://sinagap.agricultura.gob.ec>: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/2012-12-13-15-09-17/cadenas-cafe-spr>
- Smith, A. (1985). *Introduction*. Inglaterra .
- Specialty Coffee Association of America. (27 de Noviembre de 2017 de Diciembre de 2015). <https://scaa.org>. Obtenido de <http://www.scaa.org/?page=resources&d=green-coffee-standards>

- Tabares, A., Mejía, L., & Díaz, F. (2016). ANALISIS DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DURANTE EL PROCESO DE TOSTIÓN DE CAFÉ VERDE. *Vitae* , 366-370.
- Trugo , L. (1985). *Carbohydrates*. Río de Janeiro, Brasil.
- Uribe, J., Yusianto, Menon, S., Peñuela , A., Oliveros, C., Husson, J., . . . Rodríguez, A. (2017). *Postharvest Processingd Revealing the Green Bean*. Manizales, Colombia.
- Valencia, J., Pinzón, M., & Gutiérrez , R. (2015). Caracterización Físicoquímica y Sensorial de tazas de café producidas en el departamento de Quindío. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 153.
- Vega, A., Reyes, S., De León, J., Bonilla, J., & Franco, H. (2014). CUANTIFICACIÓN DE CAFEÍNA EN CAFÉS COMERCIALES DE PANAMÁ. *Ciencia y Tecnología*.
- Wagner, M. (20 de Abril de 2005). <http://www.cerveceroscaseros.com.ar>.
Obtenido de http://www.cerveceroscaseros.com.ar/Ph_y_acidez_%20Mauricio_Wagner.pdf
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). *Los compuestos orgánicos de granos de café verde*. Tokio-Japón.
- Zuluaga, J. (1990). Los Factores que determinan la calidad del café verde. *CENICAFE*, 169-172.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Almendra de café: Se denomina al fruto de café.

Beneficio por vía Húmeda: Es el procedimiento por el cual se obtiene el llamado café pergamino, a partir de las cerezas maduras involucrando las actividades de despulpado, fermentado, lavado y secado.

Beneficio por vía seca: Tratamiento que se da al café cereza y consiste en deshidratarlo por medios naturales o artificiales, hasta un nivel que puede ser llevado a la piladora para la eliminación física de las envolturas del almendro.

Café bola seca: Cerezas de café secadas con todas sus envolturas, al sol o mediante métodos artificiales.

Café cereza seco: que representa el fruto seco contenido en su envoltura externa.

Café Cereza: Es el fruto del cafeto en su estado maduro.

Café de altura: Café que se produce en las zonas de cultivo entre 800 y 1200 m.s.n.m.

Café de estricta altura: Café que se produce en las zonas de cultivo ubicadas arriba de los 1.200 m.s.n.m.

Café descafeinado: Café tostado y molido al cual se le ha extraído parcialmente la cafeína, de forma tal que contenga un máximo de 0,32% en peso, de la misma.

Café Especial: Es aquel producto que se distingue de los demás por sus particulares características de taza, por las zonas donde se cultiva, por la tecnología de producción y procesamiento que se emplea, por su aporte en la conservación de la biodiversidad, por los principios solidarios que lo sustentan o por la preferencia de la demanda especializada.

Café estándar: Café que se produce en las zonas de cultivo ubicadas debajo de los 800 m. s.n.m.

Café lavado: Es el café pergamino obtenido luego del proceso de beneficio por la vía húmeda.

Café Pergamino: Es el grano de café que después del proceso de secado aún conserva la envoltura denominada pergamino, por ende lleva el nombre de café pergamino.

Café torrado: Café tostado en grano, con adición de sacarosa o glucosa, antes de finalizar el proceso de tueste.

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

Café tostado y molido: Producto obtenido de la molienda del café tostado en grano.

Café verde en grano o café oro: El término café verde u oro es el nombre que recibe el grano de café posterior a que se le haya separado del pergamino a través del proceso de descascarillado.

Cafeína: Sustancia blanca cristalina, de un sabor amargo y sin aroma, ligeramente soluble en agua. Es un alcaloide con estructura química similar a la teofilina, teobromina, y al ácido úrico.

Cafeto: Planta de la Especie botánica *Coffea Arábica*

Catación: Es el proceso técnico de degustar y clasificar al café.

Color: Es una característica física del grano, que varía de acuerdo con la región y la altura donde se produce y puede alterarse radicalmente con el sistema seguido en su beneficio.

Cosecha actual: Período que no excede los 6 meses de iniciada la época de cosecha.

Cosecha vieja: Período que excede los 6 meses de iniciada la época de cosecha.

Defecto grave: Cuando es muy intenso o altera la palatabilidad de la muestra, usualmente relacionado con el sabor, recibe un valor de 4 puntos.

Defecto leve: Cuando es detectable pero no muy intenso, usualmente relacionado con el aroma, recibe un valor de 2 puntos.

Defectos en catación: Son sabores negativos o pobres que alteran la calidad del café. Se los evalúa como leves y graves.

Densidad aparente: Se define como la relación de masa sobre el volumen ocupado, es la medición de la masa que ocupa un volumen fijo conocido bajo condiciones precisas de llenado. Es una técnica ampliamente practicada para la determinación de la densidad aparente de los granos de café verde y tostado

Grado de tueste: Intensidad del color que presenta el café después del proceso de tostado, indistinto de su presentación.

Grano agrio: Granos que van del color caramelo oscuro al color crema, y que presentan la hendidura central libre de tegumento. Generalmente también presentan el espermodermo de color rojizo.

Grano blanqueado: Son aquellos granos de consistencia esponjosa y color blancuzco.

Grano con cáscara: Grano con envoltura externa (pericarpio) unido al fruto seco del café.

Grano pergamino: Grano de café entero o parcialmente encerrado en su endocarpio.

Grano vano: Granos con densidad menor a lo normal.

Hojas Perenne: Hojas vivas que no se caen.

Infusión de café: Bebida preparada a partir de la mezcla de café tostado y molido, con agua a punto de ebullición.

Materia extraña: Son aquellos materiales que no sean café.

Pivotante: Raíz que se hunde verticalmente en la tierra como una prolongación del tronco.

Puntaje general del catador: El puntaje general del catador debe tener coherencia con la evaluación de los demás atributos. Se refiere a una evaluación holística del café respecto a una experiencia personal del catador.

Suelo Franco: Se suele denominar suelo franco a las partes superficiales del terreno cuya composición cuantitativa está en proporciones óptimas o muy próximas a ellas. Es suelo de elevada productividad agrícola, en virtud de su: textura relativamente suelta propiciada por la arena, fertilidad aportada por los limos, y una adecuada retención de humedad favorecida por la arcilla.

Torrefacción: Acción de tostar el café a altas temperaturas por un periodo de tiempo definido.

ANEXOS

Anexo A.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1123: 2016 CAFÉ TOSTADO EN GRANO O MOLIDO. REQUISITOS.



**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 1123
Segunda revisión
2018-10

CAFÉ TOSTADO EN GRANO O MOLIDO. REQUISITOS

ROASTED GROUND COFFEE OR ROASTED COFFEE BEANS. REQUIREMENTS

CAFÉ TOSTADO EN GRANO O MOLIDO. REQUISITOS

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el café tostado en grano o molido para su comercialización.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición (Incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN-ISO 3509, *Café y sus derivados — Vocabulario*

NTE INEN-ISO 6668, *Café verde — Preparación de muestras para análisis sensorial*

NTE INEN-ISO 8422, *Planes de muestreo secuencial para inspección por atributos*

NTE INEN-ISO 8423, *Planes de muestreo secuencial para inspección por variables para porcentaje no conforme (desviación estándar conocida)*

NTE INEN-ISO 11294, *Café tostado y molido — Determinación del contenido de humedad — Método por determinación de la pérdida en masa a 103 °C (Método de rutina)*

NTE INEN-ISO 11817, *Café tostado molido — Determinación del contenido de humedad — Método Karl Fisher (Método de referencia)*

NTE INEN-ISO 20481, *Café y productos del café — Determinación del contenido de cafeína usando cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) — Método de referencia*

NTE INEN-CODEX 192, *Norma general del Codex para los aditivos alimentarios*

CPE INEN-CODEX CAC/GL 50, *Directrices generales sobre muestreo*

CPE INEN-CODEX 1, *Principios generales de higiene de los alimentos*

NTE INEN-OIML R 87, *Cantidad de producto en envase*

NTE INEN 285, *Café verde en grano. Clasificación y requisitos*

NTE INEN 1113, *Café tostado molido. Determinación del tamaño de la partícula*

NTE INEN 1334-1, *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos*

NTE INEN 1334-2, *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Rotulado nutricional. Requisitos*

NTE INEN 1334-3, *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 3. Requisitos para declaraciones nutricionales y declaraciones saludables*

NTE INEN 1529-10, *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad*

NTE INEN 2679, *Café tostado molido. Determinación de cenizas totales*

NTC 2442, *Café tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de tostión*

AOAC 973.21, *Solids (Soluble) in Roasted Coffee*

AOAC 20004.10, *Ochratoxin A in Green Coffee*

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en NTE INEN-ISO 3509 y las que a continuación se detallan:

3.1

torrefacción

Acción de tostar el café a altas temperaturas por un periodo de tiempo definido.

3.2

café tostado en grano

Producto obtenido de la torrefacción del café verde en grano.

3.3

café tostado y molido

Producto obtenido de la molienda del café tostado en grano.

3.4

café torrado

Café tostado en grano, con adición de sacarosa o glucosa, antes de finalizar el proceso de tueste.

3.5

grado de tuesta

Intensidad del color que presenta el café después del proceso de tostado, indistinto de su presentación.

4. CLASIFICACIÓN

4.1 Granulometría

De acuerdo con el tamaño de la partícula (ver 5.2), el café tostado molido se clasifica en:

- a) extra fino,
- b) fino,
- c) mediano,
- d) grueso.

4.2 Contenido de cafeína

De acuerdo con el contenido de cafeína (ver 5.3), el café tostado en grano o molido se clasifica en:

- a) café descafeinado,
- b) café descafeinado parcialmente,
- c) café sin descafeinar.

4.3 Grado de tueste

De acuerdo con el grado de tueste (ver 5.3), el café tostado en grano o molido se clasifica en:

- a) claro,
- b) moderadamente claro,
- c) medio claro,
- d) medio.
- e) medio oscuro,
- f) moderadamente oscuro,
- g) oscuro,
- h) muy oscuro.

5. REQUISITOS

5.1 Generalidades

El café verde utilizado para la producción de café tostado en grano o molido debe cumplir con la NTE INEN 285.

El café tostado en grano o molido debe procesarse de acuerdo con los principios generales de alimentos establecidos en CPE INEN-CODEX 1.

El café tostado en grano o molido no debe presentar olor, ni sabor diferente al característico del producto.

El café tostado en grano o molido debe ser el 100 % de granos de café.

El café tostado en grano o molido con saborizantes añadidos, diferentes al café, debe cumplir lo establecido en NTE INEN-CODEX 192.

El café tostado en grano no debe contener más de 10 % de granos carbonizados.

5.2 Granulometría

El café tostado molido debe cumplir con los requisitos de tamaño de partícula establecidos en la Tabla 1.

TABLA 1. Granulometría del café tostado y molido

Denominación	Tamaño de partícula	Método de ensayo
Extrafino	Debajo del tamiz de 350 µm	NTE INEN 1113 ¹⁾
Fino	Entre los tamices 350 µm-500 µm	
Mediano	Entre los tamices 500µm-700 µm	
Grueso	Entre los tamices 700 µm-900 µm	

¹⁾ Métodos de ensayo de referencia

5.3 Fisicoquímicos

El café tostado en grano o molido debe cumplir con los requisitos fisicoquímicos establecidos en la Tabla 2.

TABLA 2. Requisitos fisicoquímicos del café tostado y molido

Requisito	Unidad	Valores		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Humedad	Fracción en masa (%)	—	3,5	NTE INEN-ISO 11294 NTE INEN-ISO 11817
Contenido de cafeína: - Café descafeinado - Café descafeinado parcialmente - Café sin descafeinar	Fracción en masa en base seca (%)	— 0,1 1,0	0,1 < 1,0 —	NTE INEN-ISO 20481
Sólidos solubles del extracto acuoso	Fracción en masa (%)	20,0	40,0	AOAC 973.21
Cenizas totales	Fracción en masa (%)	—	5,0	NTE INEN 2679
Grado de tueste: - Muy oscuro - Oscuro - Moderadamente oscuro - Medio oscuro - Medio - Medio claro - Moderadamente claro - Claro	L*	13,04 14,43 15,83 17,22 18,66 21,44 29,32 > 31,09	14,42 15,82 17,21 18,65 21,43 29,31 31,08 —	NTC 2442
El valor L* corresponde a la coordenada de luminosidad de la escala CIELAB.				

5.4 Requisitos microbiológicos

El café tostado o molido debe cumplir con los requisitos microbiológicos de la Tabla 3.

TABLA 3 Requisitos microbiológicos del café tostado en grano o molido

Microorganismo	Unidad	Caso	n	c	m	M	Método de ensayo
Mohos y levaduras	UFC/g*	7 ^a	5	2	100	200	NTE INEN 1529-10
<p>* UFC/g: Unidades formadoras de colonia</p> <p>* Caso 7: Peligro moderado de difusión limitada</p> <p>donde</p> <p>n es el número de muestras a analizar, m es el límite de aceptación, M es el límite superado el cual se rechaza, c es el número de muestras admisibles con resultados entre m y M.</p>							

5.5 Contaminantes químicos

El café tostado en grano o molido debe cumplir con los límites máximos de contaminantes químicos de la Tabla 4.

TABLA 4. Contaminantes del café tostado en grano o molido

Contaminante	Máximo µg/kg	Método de ensayo
Ocratoxina	5	AOAC 2004.10

5.6 Evaluación sensorial

El café tostado o molido debe ser evaluado sensorialmente por catadores o evaluadores expertos. La muestra se debe preparar según NTE INEN-ISO 6668. Para evaluar la calidad de taza se puede tomar usar el Anexo A.

6. INSPECCIÓN

Los procesos de Inspección que deben seguirse para la aceptación del café tostado en grano o molido se especifican a continuación.

6.1 Muestreo

El muestreo debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la familia de Normas Internacionales ISO 2859 (ver nota 1) e ISO 3951 (ver nota 2) para producción continua o lotes aislados; la NTE INEN-ISO 8422 y NTE INEN-ISO 8423 para Inspección por atributos y variables y las Directrices Codex sobre muestreo CPE INEN-CODEX CAC/GL 50.

NOTA 1. A la fecha el INEN ha adoptado las Normas Internacionales ISO 2859-1, ISO 2859-2, ISO 2859-4 y ISO 2859-10 para Inspección lote a lote.

NOTA 2. A la fecha el INEN ha adoptado la Norma Internacional ISO 3951-2.

7. ENVASADO

Los envases deben ser nuevos y estar en condiciones sanitarias adecuadas, limpios y exentos de materias extrañas a fin de que resguarden la estabilidad y calidad del producto envasado, debiendo además protegerlo de cualquier contaminación durante su transporte, almacenamiento y comercialización.

Los recipientes, incluido el material de envasado, deben estar fabricados solo con sustancias que sean de grado alimentario, inocuas y adecuadas para el uso al que están destinadas.

Los envases deben proteger al producto de la hidratación, constituyendo una barrera a la absorción de humedad externa suficiente para mantenerlo durante el almacenamiento, dentro del límite máximo de humedad establecido en esta norma.

Los requisitos de cantidad de producto en paquetes y sus tolerancias deben estar de acuerdo con lo establecido en NTE INEN-OIML R 87.

8. ROTULADO

El rótulo debe cumplir con lo indicado en NTE INEN 1334-1, NTE INEN 1334-2 y NTE INEN 1334-3.

ANEXO A
(Informativo)

GRADO DE TUESTE DEL CAFÉ

A.1 La determinación del grado de tueste se puede expresar en las unidades internacionalmente aceptadas de la Specialty Coffee Association of America de acuerdo a la guía de conversiones indicada en la Tabla A.1.

TABLA A.1. Determinación del grado de tueste

Clasificación	Clasificación en Inglés	L*	Nombre SCAA Tile #
Muy oscuro	Italian Dark French	13,04	35
Oscuro	French expresso	14,43	35
Moderadamente oscuro	Espresso	15,83	45
Medio oscuro	Vienesse Full City - Light French Espresso	17,22	45
Medio	Medium - Medium high american	18,66	55
Medio claro	Light medium american	21,44	65
Moderadamente claro	Light	29,32	75
Claro	Cinnamon	31,09	85

El valor L* corresponde a la coordenada de luminosidad de la escala CIELAB.

ANEXO B
(Informativo)

EVALUACIÓN SENSORIAL DE CAFÉ. PRUEBA DE TAZA

B.1 La evaluación sensorial de café debe ser realizada por catadores de café o por personas especializadas en la evaluación sensorial de café y las características de cada producto.

B.2 Atributos de evaluación

B.2.1 Fragancia y aroma. La fragancia se refiere al olor percibido del café tostado y molido en seco. El aroma se refiere al olor percibido luego de que se ha hecho la infusión. La fragancia se evalúa al colocar la muestra en la taza, el aroma se evalúa en dos pasos, al romper la capa de café luego de la infusión y durante el proceso de infusión.

B.2.2 Sabor. Representa el principal atributo del café, las notas medías entre las primeras impresiones de aroma y acidez hasta el final de la cata. El sabor describe una combinación de la sensación gustativa y los aromas retronasales percibidos.

B.2.3 Sabor residual o regusto. Se refiere a la amplitud de las cualidades del sabor luego de degustar la bebida. Si la amplitud es corta y desagradable la evaluación debería ser menor.

B.2.4 Acidez. La acidez se describe usualmente como "brillo" cuando es favorable y "amargo" cuando no es favorable. En su mejor condición, la acidez contribuye a la vivacidad, dulzura y carácter frutal del café. Cuando la acidez es demasiada intensa o excesiva puede ser desagradable, además que una acidez excesiva puede no ser apropiada para el perfil de sabor. La acidez debería ser evaluada de acuerdo al perfil de sabores esperado de acuerdo a sus características.

B.2.5 Cuerpo. El cuerpo es la sensación de la bebida en la boca. Muestras con un cuerpo intenso pueden recibir una alta calificación debido a la presencia de azúcares y coloides. Aun cuando el café tenga un cuerpo débil puede brindar una sensación placentera en la boca.

B.2.6 Balance. Se refiere a la forma en que el sabor (B.2.2), sabor residual (B.2.3), acidez (B.2.4) y cuerpo (B.2.5) interactúan. Si una muestra no tiene algún atributo de sabor o aroma, o si estos son muy fuertes la evaluación de balance será menor.

B.2.7 Dulzor. El dulzor se refiere al sabor agradable que ciertos carbohidratos le dan a la bebida. En el contexto de esta evaluación, el opuesto a dulce es agrio, astringente o sabor a café inmaduro. A pesar de que no se perciba directamente como en otras bebidas puede afectar otros perfiles de sabor.

B.2.8 Ausencia de defectos o taza limpia. Se refiere a la ausencia de impresiones negativas desde la primera vez que se prueba hasta el sabor residual. Cualquier sabor o aroma que no sea propio del café descalificará a esa taza.

B.2.9 Uniformidad. Se refiere a la consistencia del sabor de las diferentes tazas con la misma muestra. Si una taza tiene un sabor diferente la evaluación será menor, atribuyendo 2 puntos a cada taza que sea uniforme.

B.2.10 Puntaje general del catador. El puntaje general del catador debe tener coherencia con la evaluación de los demás atributos. Se refiere a una evaluación holística del café respecto a una experiencia personal del catador.

B.3 Evaluación

B.3.1 La evaluación de los atributos fragancia/aroma (B.2.1), sabor (B.2.2), sabor residual (B.2.3), acidez (B.2.4), cuerpo (B.2.5), balance (B.2.6) y puntaje general del catador (B.2.10) se realiza en una escala de 0 a 10 puntos con incrementos de 0,25 puntos.

B.3.2 Los atributos de dulzor (B.2.7), ausencia de defectos (B.2.8) y uniformidad (B.2.9) se evalúan de acuerdo a 5 tazas con la misma muestra. Cada taza recibe una puntuación de 2 si cumple con el atributo especificado.

B.3.3 El total se calcula mediante la suma de los puntajes de cada atributo evaluado.

B.3.4 Los defectos son sabores negativos o pobres que alteran la calidad del café. Se los evalúa como leves y graves. El defecto es leve cuando es detectable pero no muy intenso, usualmente relacionado con el aroma, recibe un valor de 2 puntos. El defecto es grave cuando es muy intenso o altera la palatabilidad de la muestra, usualmente relacionado con el sabor, recibe un valor de 4 puntos. Los defectos se contabilizan y se multiplican de acuerdo a su intensidad.

B.3.5 La evaluación total corresponde al total menos los defectos.

B.4 Clasificación

B.4.1 La clasificación de las muestras corresponde a lo indicado en la Tabla B.1, de acuerdo con la evaluación total obtenida de la prueba de taza.

TABLA B.1. Clasificación del café de acuerdo a la evaluación sensorial

Evaluación total	Clase
95 - 100	Super premium especial
90 - 94	Extraordinario
85 - 89	Excelente
80 - 84	Muy buena
75 - 79	Calidad usualmente buena
60 - 69	Calidad promedio
50 - 59	Comercial
40 - 49	Grado bajo
< 40	Inferior

BIBLIOGRAFÍA

NTP 209.028:2005, *Café tostado en grano o molido. Requisitos*

NTC 3534: 2007, *Café tostado o molido. Requisitos*

NMX-F-013-2000, *Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. Especificaciones y métodos de prueba*

Organización Internacional del Café. *Official Journal of the European Union. Commission regulation No 123/2005*

Peláez, Alvaro. 2012. *Coffe quality Institute. Principlos básicos de la torrefacción. Programa de capacitación de los torrefactores en la República del Ecuador. Ecuador, 2012. pág.21*

Specialty Coffee Asociation of America. 2015 SCAA Protocols. *Cupping Speclaty Coffee. 2015.*

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1123 Segunda revisión	TÍTULO: CAFÉ TOSTADO EN GRANO O MOLIDO. REQUISITOS	Código ICS: 67.140.20
ORIGINAL: Fecha de Iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación por Consejo Directivo: 2006-01-18 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 06 091 de 2006-03-01 publicado en el Registro Oficial No. 231 de 2006-03-17 Fecha de Iniciación del estudio: 2014-08-18	
Fechas de consulta pública: 2015-01-26 a 2015-03-26		
Comité Técnico de: Café		
Fecha de Iniciación: 2016-01-25	Fecha de aprobación: 2016-02-12	
Integrantes del Comité:		
NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:	
Ing. Luis Dulceta (Presidente)	ESPAM	
Ing. Jorge Guamán	SOLUBLES INSTANTÁNEOS C.A	
Ing. Fernando Morocho	SOLUBLES INSTANTÁNEOS C.A	
Sr. Eduardo Zambrano	EL CAFÉ C.A	
Ing. Wilson Salinas	AGROCALIDAD	
Ing. Henry Coloma	AGROCALIDAD	
Ing. Carlos Reyes	AGROCALIDAD	
Ing. Priscila Abelga	MIPRO	
Ing. Andrea Loo	MIPRO	
Ing. Georgina Tabares	ESCOFFEE	
Ing. Ofelia Suárez	ESCOFFEE	
Ing. Diego Reinoso	CORPORACIÓN FAVORITA	
Ing. Xavier Fuentes	MAGAP	
Ing. Daniela Naranjo (Secretaría Técnica)	INEN - DIRECCIÓN NORMALIZACIÓN	
Otros trámites: Esta NTE INEN 1123:2016 (Segunda revisión) reemplaza a la NTE INEN 1123:2006 (Primera revisión).		
La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma		
Oficializada como: Voluntaria Registro Oficial No. 856 de 2016-10-06	Por Resolución No. 16351 de 2016-08-30	

Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Caajilla 17-01-3999 – Telfs: (593 2)3 825960 al 3 825999
Dirección Ejecutiva: direccion@normalizacion.gob.ec
Dirección de Normalización: consultanormalizacion@normalizacion.gob.ec
Centro de Información: centrodeinformacion@normalizacion.gob.ec
[URL:www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)

Anexo B.

Perfil de Taza Café de Especialidad Puerto Quito

**PERFIL DE TAZA
CAFÉ DE ESPECIALIDAD**

Nombre de la Finca

Nombre del productor

Variiedad

Proceso



Parroquia

Canton

Humedad


% Daño

LEONARDO VILLAGOMEZ
PRCH123
LAVADO
PACTO
QUITO
11,20%
1%

PERFIL DE CATA	
Fragancia	8,15
Aroma	8,15
Cuerpo	7,75
Acidez	7,85
Sabor	7,95
Postgusto	7,85
Limpieza	10
Uniformidad	10
Dulzura	10
Caract Especiales	7,85
Nota final	85,55

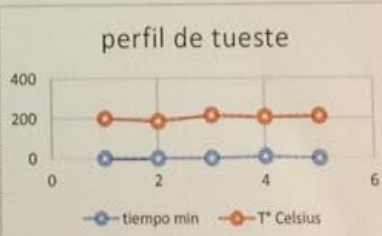
Perfil de Cata



DESCRIPTORES	
chocolate leche	
floral suave	
cereza	
canela	
dulce balanceado	
miel	
panela	
mora	
cocoa	
frutos	

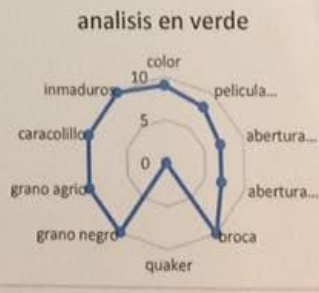
P. DE TUESTE		
estado	tiempo	T° Celsius
inicio	0	200
cambio de color	3:30	185
primer crack	7:20	215
cambio de color	9	205
salida	10:30	210


perfil de tueste



ANALISIS VERDE		
color	9	blanco = 0, verde esmeralda=10
película plateada	8	sin película =0, muy adherida = 10
abertura curva	7	recta= 0, en forma de s= 10
abertura cerrada	7	abierto= cero, muy apretada= 10
broca	10	> 10 brocas=0, sin broca= 10
quaker	0	> 5 =0, cero quaker=10
grano negro	10	> 5% =0, cero negros= 10
grano agrio	10	> 5% =0, cero agrios= 10
caracolillo	10	> 10% =0, cero caracolillo= 10
inmaduros	10	> 15% =0, cero inmaduros= 10
TOTAL	81	

analisis en verde



Firma del catador (Principal): ARNOLD PAZ - SCAE Trainer 

fecha: 05-ago-17