

OBTENCIÓN DE ACEITE DE CAFÉ (*Coffea arabica*): ESTUDIO DEL
PROCESO DE TOSTIÓN, EXTRACCIÓN CON ARRASTRE DE VAPOR Y
PRENSADO A PARTIR DE DIFERENTES CALIDADES DE GRANO VERDE

MAGDA MERCEDES MORENO GALVIS
FABIO ANDRES ROSERO MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2006

OBTENCIÓN DE ACEITE DE CAFÉ (*Coffea arabica*): ESTUDIO DEL
PROCESO DE TOSTIÓN, EXTRACCIÓN CON ARRASTRE DE VAPOR Y
PRENSADO A PARTIR DE DIFERENTES CALIDADES DE GRANO VERDE

MAGDA MERCEDES MORENO GALVIS
FABIO ANDRES ROSERO MUÑOZ

Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título
de Ingeniero Agroindustrial

Director
Ph.D. Andrés Hurtado Benavides
Profesor Facultad Ingeniería Agroindustrial

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2006

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva de los autores".

"Artículo 1 de Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanada del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño"

Nota de aceptación:

Director

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre 16 de 2006

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A DIOS

por darme la vida y permitirme llegar hasta donde estoy

A MIS PADRES

ROSA HELENA MUÑOZ y VÍCTOR G. ROSERO

por su amor y su esfuerzo, para formarme como persona de bien

A MIS HERMANOS

MARTHA LUCÍA y VÍCTOR GABRIEL

por su apoyo y compañía en mi vida

A MI ESPOSA

STELLA DUARTE LÓPEZ

por tener ese corazón tan hermoso y por ser siempre mi amor y mi apoyo incondicional

A MI SUEGRA

ELSA LÓPEZ DE DUARTE

por su apoyo, sus consejos y por querer siempre lo mejor para mí

A MI CUÑADO

JAIRO DUARTE LÓPEZ

por su apoyo en la distancia

A la memoria de mi suegro

ALBERTO DUARTE BURBANO

por ser siempre esa persona que impulsó en mí, el interés por estudiar y prepararme para la vida

Y a todas aquellas personas que me apoyaron en la realización de esta investigación.

FABIO ANDRÉS ROSERO MUÑOZ

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A DIOS

por regalarme la vida y permitirme llegar hasta donde estoy

A MIS PADRES

MARTHA ALICIA GALVIS y JOSÉ EDMUNDO MORENO

por su amor y esfuerzo por brindarme un buen futuro

A MIS HERMANOS

OSCAR Y JUAN CAMILO

por su compañía

A MI ESPOSO

ANDRÉS OJEDA RIVERA

por ser mi amor y mi apoyo incondicional

A MI HIJO

SANTIAGO ANDRÉS OJEDA MORENO

que llegó a mi vida para llenarme de alegría y ser el motivo
de mi existir

A MIS ABUELITOS

AURA Y HERNÁN

por siempre brindarme su cariño

A la memoria de mis abuelitos

HERMENEGILDO Y MERCEDES

que desde el cielo me acompañan

A mis tías, tíos y primos

Y a todas aquellas personas que me apoyaron en la realización
de esta investigación.

MAGDA MERCEDES MORENO GALVIS

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos a:

Andrés Mauricio Hurtado Benavides, Ph.D., Ingeniero Químico, Profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Director y Asesor del proyecto de investigación.

Nelson Edmundo Arturo, Decano de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño.

Olga Lucía Benavides, MS.c., Ingeniera Química, Profesora de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Jurado del proyecto de investigación.

Diego Mejía España, Ingeniero Agroindustrial, Profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Jurado del Proyecto de Investigación.

Javier García, Ingeniero Agrónomo, Profesor de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

Jimmy Hidalgo, Ingeniero Mecánico, Docente Universidad Mariana.

Juan José Lozada, MS.c., Químico Profesor de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Jefe del Laboratorio de Cromatografía.

Herney Lasso Echevarria, Geotecnólogo Unicauca, Laboratorio de Mecánica de suelos, Pavimentos y Concreto.

Carlos Oliva, Ingeniero Agroindustrial, Jefe de Compras de la Cooperativa de Caficultores de Occidente de Nariño LTDA.

Dr. Francisco Ortiz, Gerente de la Cooperativa de Caficultores de Occidente de Nariño LTDA.

Hernán Bedoya, Propietario Trilladora San Luis.

Sandra Espinosa Narváez, Técnica Química Laboratorio Bromatología, Universidad de Nariño.

David Arturo, Químico, Laboratorio Cromatografía, Universidad de Nariño, Pasto.

Jorge Andrés Chamorro E., Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional, Manizales.

Eduardo de los Ríos, Ingeniero Sanitario y Ambiental, Universidad Mariana.

Enrique Morillo Zambrano, Médico veterinario, Universidad de Nariño.

Gustavo Ponce, auxiliar del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Nariño.

Joseph A. Rivera, Director of Science and Technology, Specialty Coffee Assn. of America (SCAA), Long Beach, California.

Cenicafé, Centro Nacional de Investigaciones de café, "Pedro Uribe Mejía", Chinchiná - Caldas - Colombia.

Efraín Minayo, Propietario taller Acero y Forja.

Al Sistema de Investigaciones de la Universidad de Nariño.

A los monitores y practicantes de la Planta Piloto, de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron con la realización de este proyecto.

RESUMEN

En el presente trabajo se identificaron los parámetros óptimos de tuestión de dos calidades de café, CAFÉ SUPREMO Y CAFÉ PASILLA, para la extracción de aceite de café, por dos métodos, extracción por arrastre con vapor y extracción por prensado. Se identificaron los parámetros óptimos de temperatura y tiempo de tuestión para ambas calidades; estos valores fueron de 209.8 °C - 13.3 minutos y 204.3 °C - 13.7 minutos para CAFÉ SUPREMO y CAFÉ PASILLA respectivamente. Así mismo se evaluaron los efectos de la extracción por arrastre con vapor, encontrándose que este método no es eficiente por las bajas presiones alcanzadas en las unidades extractoras, por el alto peso molecular del aceite obtenido, su baja volatilidad y el carácter soluble de la fracción aromática del café en el agua. Por otra parte los resultados de la extracción por el método de prensado fueron concluyentes, puesto que se determinó que la presión máxima necesaria para la extracción de un aceite de buena calidad, se encuentra a 35.000 psi por un tiempo de 1 hora, para cada calidad de café estudiada, con el prototipo desarrollado. Finalmente se pudo establecer que los resultados en calidad de aceite para los tipos de café evaluados, fueron muy similares, por lo que se puede decir que el café pasilla puede ser una buena opción para obtener aceite de café de buena calidad, a la hora de disminuir costos y además darle otros usos a esta calidad de café.

Palabras claves: aceite de café, extracción por prensado, tuestión, análisis organoléptico, análisis fisicoquímico.

ABSTRACT

In the present study the optimal parameters of tosti3n of two qualities of coffee were identified, SUPREME COFFEE and PASILLA COFFEE, for the coffee oil extraction, by two methods, extraction by steam distillation and pressed extraction. Optimal parameters of temperature and time of tosti3n for both qualities were identified; these values were of 209,8 3C - 13,3 minutes and 204,3 3C - 13,7 minutes for SUPREME COFFEE and PASILLA COFFEE respectively. Also the effects of the extraction by steam distillation were evaluated, being that this method is not efficient by the low pressures reached in the units extractors, by the high molecular weight of the obtained oil, its low volatile and the soluble character of the aromatic fraction of the coffee in the water. On the other hand the results of the extraction by the pressed method were conclusive, since it was determined that the necessary maxima pressure for the extraction of an oil of good quality, is in 35,000 psi in an hour, for each quality of studied coffee with the developed prototype. Finally it was possible to be established that the results in quality of oil for the evaluated coffee types were very similar, reason which can be said that the pasilla coffee can be a good option to obtain a good quality coffee oil at the time of diminishing costs and in order to give other uses to this quality of coffee.

Key words: coffee oil, pressed extraction, roasting, organoleptic analysis, physical-chemist analysis.

GLOSARIO

- ✓ ACEITE: es un término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menos densidad que ésta; normalmente formado por triglicéridos y ácidos grasos.
- ✓ ACEITE ESENCIAL: sustancia volátil de tipo aromático extraída de una planta, principalmente mediante destilación. Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas, las cuales dan el aroma característico de flores, árboles, semillas o a ciertos extractos de origen animal. Los aceites esenciales son muy inestables: volátiles, frágiles y alterables con la luz.
- ✓ ALCALOIDES: De álcali, con el sufijo-oide, masculino. Cualquiera de las sustancias nitrogenadas de origen vegetal, con carácter básico y acción fisiológica intensa a bajas dosis. Son metabolitos secundarios. Los alcaloides verdaderos proceden siempre de un aminoácido. Generalmente actúan sobre el sistema nervioso central, si bien algunos afectan al parasimpático.
- ✓ BAYA DRUPÁCEA: Una baya o berry es el tipo más común de fruta carnosa simple, en la cual la pared entera del ovario madura, generalmente, en un pericarpio comestible. Por lo cual baya drupácea significa, fruto monospermo de mesocarpio carnoso, coriáceo o fibroso rodeado de un endocarpo leñoso con una semilla en su interior.
- ✓ BORRA: Sedimento que deja el polvo de café en el colador, una vez colado.
- ✓ CAFÉ ESPECIAL: El término, se deriva del concepto de encontrar cafés que muestren cualidades únicas en taza por ser cultivados en lugares especiales o regiones específicas, los cuales tienen consistencia en sus propiedades.
- ✓ CAFETO: Árbol rubiáceo, cuya semilla es el café.

- ✓ CAFÉ CEREZA: Fruto maduro de café, tal como se recolecta en las plantaciones, café sin descascarar.
- ✓ CAFÉ CONSUMO: es el subproducto obtenido de la trilla de café excelso y se caracteriza por contener hasta un 10% de almendras defectuosas.
- ✓ CAFÉ EXCELSO: es el producto de la trilla de café pergamino y selección de la almendra mediante método mecánico, manual o electrónico o la combinación de éstos. Se caracteriza por su homogeneidad en cuanto al aspecto, a la granulometría y al bajo contenido de defectos.
- ✓ CAFÉ DESCAFEINADO: Café al cual se le ha extraído la cafeína.
- ✓ CAFÉ ORGÁNICO: Es el café que se produce y se procesa sin la utilización de productos químicos de síntesis. En el cultivo de café orgánico se deben aplicar métodos naturales que no generen riesgo ni para la salud de los seres vivos ni para el medio ambiente.
- ✓ CAFÉ PERGAMINO: Es el producto obtenido en la finca, que es la almendra (endospermo) cubierta por la cascarilla (endocarpio).
- ✓ CAFÉ VERDE: Grano obtenido del fruto de los árboles del género *Coffea*, descascarado y listo para el tostado. Se denomina también café crudo o café oro.
- ✓ CAFÉ PASILLA: Es todo grano de café defectuoso según tabla de clasificación de los defectos del café de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Admite hasta el 5% de pasilla en peso con base en almendra. No debe contener granos flojos es decir, aquellos con exceso de humedad.
- ✓ CAFÉ PERGAMINO SECO: Café procesado por vía húmeda, que ha sido descerezado, fermentado, lavado y secado y que esta listo para ser trillado. Tiene alrededor de 11 a 12% de humedad.
- ✓ CATAR: Probar, ver, examinar, mirar, observar.
- ✓ CISCO: Conjunto de envolturas externas (pericarpio) del fruto seco del café.

- ✓ COLOIDES: Un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico compuesto por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula. En particular, la comunidad científica define la escala mesoscópica como la situada entre unos 10 nanómetros y 10 micrómetro.
- ✓ CRIBA: Cuero ordenadamente agujereado y fijo en un aro de madera, que sirve para cribar. También se fabrica de plancha metálica con agujeros, o con red de malla de alambre.
- ✓ CUTÍCULA: Película muy fina, membrana que cubre las células.
- ✓ DIVISAS: Moneda extranjera con respecto a la del país de la que se trata.
- ✓ ESTADO DEL ARTE: Dentro de un escrito académico técnico, se denomina Estado del Arte a la base teórica sobre la que se basa el escrito, o la cual se rebate en el desarrollo posterior en el escrito y que forma parte introductoria del mismo.
- ✓ GC: Cromatografía de gases.
- ✓ GC-MS: Cromatografía de gases masas.
- ✓ HPLC: Cromatografía en fase líquida.
- ✓ HS-SPME: Espacio de cabeza, microextracción en fase sólida.
- ✓ PASERAS: Sitio donde se ponen las frutas a desecar para que se hagan pasas.
- ✓ PRUEBA DE TAZA: Es el procedimiento por el cual se examinan las características de un café, por medio de apreciaciones visuales, olfativas, gustativas y táctiles. La mejor manera de examinar las características de un café es catarlo, es decir, probar su infusión. La cata

evidencia una gran variedad de características del café, imposibles de detectar analizando los granos de café, sean verdes o tostados.

- ✓ RIPIO: Es el subproducto del café que se caracteriza por tener un tamaño inferior a 4.76 mm (12/64 pulg) y granos de café defectuosos con un tamaño inferior a 5.66 mm (14/64 pulg).
- ✓ SONDA: Objeto de manipulación remota cuya misión es llegar a un objetivo prefijado.
- ✓ SPME: Microextracción en fase sólida.
- ✓ TANINOS: Los taninos son sustancias que se producen en diversas partes de las plantas, como son: corteza, frutos, hojas, raíces y semillas; a pesar de tener un origen común, la especificidad de las plantas le da a los taninos diferencias en color, calidad y concentración.
El tanino es un compuesto que se oxida al contacto con el aire, es inodoro y de sabor agrio, soluble en agua, alcohol y acetona.
- ✓ TASA: Acción y efecto de tasar; medida, norma.
- ✓ TAZA: Vasija pequeña con asa de loza o de metal, que se emplea comúnmente para tomar.
- ✓ TERPENOS: Hidrocarburos, compuestos solo por carbono e hidrógeno. Algunos son precursores de ciertas vitaminas, como la A, la K, y la E
Otros terpenos como el fitol, forma parte de la clorofila, los carotenoides, y la mayoría de aceites aromáticos (mentol, glicerol..), también pertenecen a este grupo.
Los terpenos forman una amplísima y muy diversa familia de sustancias naturales. Tradicionalmente se han considerado derivadas del 2-metil-butadieno más conocido como isopreno. Esta llamada «regla del isopreno» ha permitido clasificarlos y estudiarlos, pero realmente los terpenos no derivan del isopreno ya que éste nunca se ha encontrado como producto natural. El verdadero precursor de los terpenos es el ácido mevalónico, el cual proviene del acetyl coenzima A. En cualquier caso la división de la estructura de los terpenos en unidades de isopreno es útil y pragmática y se emplea con mucha asiduidad.

Siguiendo esta regla los terpenos - que se clasifican según las unidades de isopreno que lo componen - son C₅: hemiterpenos, C₁₀: monoterpenos, C₁₅, sesquiterpenos: C₂₀, diterpenos: C₃₀, etc., hasta C₄₀. Estos compuestos se encuentran en todas partes: semillas, flores, hojas, raíces, madera... de las plantas superiores así como musgo, algas y líquenes.

- ✓ TORNILLO SINFIN: Disposición que transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, el engranaje avanza un diente.
- ✓ TORREFACCIÓN DEL CAFÉ: Tueste en presencia de hasta el 15% de azúcar; este azúcar se carameliza durante el proceso y se adhiere al grano, dándole una pátina brillante de caramelo y un sabor más recio. Esta forma de tueste se denomina torrefacción y el café resultante, café torrefacto.
- ✓ TOSTIÓN DEL CAFÉ: El proceso de tueste se dedica íntegramente a producir un café sabroso. Cuando se tuesta, el grano de café verde aumenta su tamaño hasta casi doblar su tamaño original, cambiando en color y densidad. Dado que el grano absorbe calor, el color cambia a amarillo, después a un ligero color marrón, y finalmente a un color oscuro y aceitoso. Durante el tueste aparecen aceites en la superficie del grano. El tueste continuará oscureciendo el café hasta que se elimine de la fuente de calor.
- ✓ TRILLA: Parte de la labor de beneficio a través de la cual se despoja del pergamino al grano del café.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	32
1. IDENTIFICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA	35
2. JUSTIFICACIÓN	36
3. OBJETIVOS	37
3.1 OBJETIVO GENERAL	37
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	37
4. MARCO TEÓRICO	38
4.1 GENERALIDADES	38
4.1.1 El café	38
4.1.2 Características agronómicas	40
4.1.2.1 Composición química	40
4.1.3 Cosecha	40
4.1.4 Poscosecha	41

	Pág.
4.1.4.1 El beneficio	41
4.1.4.2 El secado	42
4.1.4.3 El almacenamiento	42
4.1.5 Comercialización	43
4.1.5.1 Trilla	43
4.1.5.2 Selección y clasificación del grano verde después de la trilla	47
4.1.6 Tostión	53
4.1.7 Molienda	56
4.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAFÉ	57
4.2.1 Análisis físico	57
4.2.1.1 Materiales y equipos	57
4.2.1.2 Análisis del café pergamino seco	57
4.2.2 Análisis sensorial	61
4.2.2.1 Apreciaciones visuales	61

	Pág.
4.2.2.2 Características olfativas	62
4.2.2.3 Características gustativas	62
4.2.2.4 Características táctiles	63
4.2.2.5 La catación	63
4.3 ACEITES ESENCIALES	75
4.3.1 Clasificación de los aceites esenciales	76
4.3.2 Métodos de obtención de aceites esenciales	77
4.3.3 Extracción de aceites esenciales por arrastre con vapor	78
4.3.4 Análisis de aceites esenciales	80
4.3.5 Usos de los aceites esenciales	80
4.4 ACEITE DE CAFÉ	81
5. MATERIALES Y MÉTODOS	92
5.1 DETERMINACIÓN DE LA VARIEDAD Y CALIDAD DEL GRANO	92
5.2 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TOSTIÓN	93

	Pág.
5.2.1 Determinación del punto óptimo de tuestión en función del rendimiento de aceite de café, en las diferentes calidades de grano verde	93
5.2.2 Determinación del punto óptimo de tuestión en función de la impresión global, en las diferentes calidades de grano verde	97
5.2.3 Determinación del grado de tuestión, por medio del método de colorimetría	99
5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ARRASTRE CON VAPOR PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CAFÉ	99
5.3.1 Equipos utilizados	99
5.3.2 Desarrollo de las pruebas preliminares	105
5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRENSADO	111
5.5 ANÁLISIS DEL ACEITE DE CAFÉ OBTENIDO	118
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	124
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE TUESTIÓN EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE	124
6.1.1 Rendimiento de aceite en café supremo	124

	Pág.
6.1.2 Rendimiento de aceite en café excelso tipo consumo superior	128
6.1.3 Rendimiento de aceite en café pasilla	133
6.1.4 Análisis de la impresión global en café supremo	138
6.1.5 Análisis de la impresión global en café excelso tipo consumo superior	142
6.1.6 Análisis de la impresión global en café pasilla	145
6.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE TOSTIÓN POR COLORIMETRÍA	149
6.3 DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE TOSTIÓN PARA CAFÉ SUPREMO Y CAFÉ PASILLA	151
6.4 EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CAFÉ POR ARRASTRE CON VAPOR	153
6.5 EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE CAFÉ POR PRENSADO	155
6.6 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE CAFÉ OBTENIDO	157
7. CONCLUSIONES	165
8. RECOMENDACIONES	168

Pág.

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Café: Área, producción y beneficios	32
Cuadro 2. Producción mundial de café verde	39
Cuadro 3. Composición química del café	40
Cuadro 4. Determinación del porcentaje de merma por cisco	46
Cuadro 5. Determinación del porcentaje de grano pequeño	46
Cuadro 6. Determinación del porcentaje de pasilla (base pergamino)	46
Cuadro 7. Determinación del porcentaje de pasilla (base almendra)	47
Cuadro 8. Determinación del rendimiento	47
Cuadro 9. Estándares de tosti3n a nivel mundial	56
Cuadro 10. Rendimiento café Europa	61
Cuadro 11. Rendimiento café UGQ	61
Cuadro 12. Sistema de calificaci3n para caf3s especiales	69
Cuadro 13. Equipo necesario para cataci3n	69
Cuadro 14. Escala de calidad	71
Cuadro 15. Descripci3n del puntaje final	75
Cuadro 16. Factores y niveles de evaluaci3n para Rendimiento	93

	Pág.
Cuadro 17. Matriz de diseño experimental para rendimiento de aceite en café supremo en las diferentes calidades de grano verde	95
Cuadro 18. Determinación del extracto etéreo	97
Cuadro 19. Matriz de diseño experimental para la optimización del proceso de prensado en función de la impresión global en las diferentes calidades de grano verde	98
Cuadro 20. Factores y niveles de evaluación para la impresión global	98
Cuadro 21. Experimentos de prensado - café supremo, base de cálculo 10 g.	116
Cuadro 22. Experimentos de prensado - Café supremo, base de cálculo 20 g.	117
Cuadro 23. Experimentos de prensado - Café pasilla, base de cálculo 10 g.	117
Cuadro 24. Experimentos de prensado - Café pasilla, base de cálculo 20 g.	117
Cuadro 25. Determinación del punto de ebullición	118
Cuadro 26. Rendimiento de aceite en café supremo	124
Cuadro 27. Tabla ANOVA para rendimiento en café supremo	125
Cuadro 28. Respuesta óptima para rendimiento en café supremo	128
Cuadro 29. Modelo matemático para el rendimiento en café supremo	128
Cuadro 30. Rendimiento de aceite en café excelso, tipo consumo superior	128

	Pág.
Cuadro 31. Tabla ANOVA para rendimiento en café excelso tipo consumo superior	129
Cuadro 32. Respuesta óptima para rendimiento en café excelso tipo consumo superior	132
Cuadro 33. Modelo matemático para el rendimiento en café excelso tipo consumo superior	133
Cuadro 34. Rendimiento de aceite en café pasilla	133
Cuadro 35. Tabla ANOVA para rendimiento en café pasilla	134
Cuadro 36. Respuesta óptima para rendimiento en café Pasilla	137
Cuadro 37. Modelo matemático para el rendimiento en café pasilla	137
Cuadro 38. Impresión global de café supremo	138
Cuadro 39. Tabla ANOVA para impresión global en café supremo	139
Cuadro 40. Respuesta óptima para impresión global en café supremo	142
Cuadro 41. Modelo matemático para la impresión global en café supremo	142
Cuadro 42. Impresión global en café excelso, tipo consumo superior	143
Cuadro 43. Tabla ANOVA para impresión global en café excelso tipo consumo superior	144
Cuadro 44. Impresión global de café pasilla	145
Cuadro 45. Tabla ANOVA para impresión global en café pasilla	146

	Pág.
Cuadro 46. Respuesta óptima para impresión global en café pasilla	149
Cuadro 47. Modelo matemático para la impresión global en café pasilla	149
Cuadro 48. Análisis colorimétrico de tuestión	150
Cuadro 49. Condiciones de tuestión en café supremo	151
Cuadro 50. Optimización del rendimiento e impresión global con las variables de temperatura y tiempo en café supremo	152
Cuadro 51. Condiciones óptimas de tuestión en café pasilla	152
Cuadro 52. Optimización del rendimiento e impresión global con las variables de temperatura y tiempo en café pasilla	153
Cuadro 53. Resultados del proceso de prensado para café supremo, base de cálculo 10 g.	155
Cuadro 54. Resultados del proceso de prensado para café supremo, base de cálculo 20 g.	156
Cuadro 55. Resultados del proceso de prensado para café pasilla, base de cálculo 10 g.	156
Cuadro 56. Resultados del proceso de prensado para café pasilla, base de cálculo 20 g.	156
Cuadro 57. Análisis fisicoquímico de aceite de café	158
Cuadro 58. Identificación de los compuestos volátiles más representativos en aceite de café supremo	159
Cuadro 59. Identificación de los compuestos volátiles más representativos en aceite de café pasilla	160
Cuadro 60. Ácidos grasos - aceite de café	162

	Pág.
Cuadro 61. Respuesta óptima para impresión global en supremo	162
Cuadro 62. Análisis organoléptico del aceite de café pasilla	163
Cuadro 63. Resumen del análisis organoléptico, fisicoquímico y de perfil cromatográfico del aceite de aceite de café	164

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. La semilla del cafeto en pergamino	43
Figura 2. La semilla del cafeto en almendra	43
Figura 3. Equipo Agtron E10-CP	56
Figura 4. Equipo con escala de colores	56
Figura 5. Unidad de extracción de arrastre con vapor 1	101
Figura 6. Unidad de extracción de arrastre con vapor 2	102
Figura 7. Unidad de reacción multipropósito	105
Figura 8. Unidad de extracción, primer montaje	106
Figura 9. Unidad de extracción, segundo montaje	107
Figura 10. Unidad de extracción, tercer montaje	108
Figura 11. Unidad de extracción, cuarto montaje	109
Figura 12. Unidad de extracción, quinto montaje	110
Figura 13. Unidad de extracción, sexto montaje	111
Figura 14. Prensa	112
Figura 15. Sistema camisa-pistón a menor escala	114
Figura 16. Sistema de prensa completo	114
Figura 17. Prensa hidráulica, lab. suelos de Ing. Civil	116
Figura 18. Fibra de SPME con soporte	121
Figura 19. Headspace SPME	122

	Pág.
Figura 20. Diagrama de Pareto para rendimiento en café supremo	126
Figura 21. Diagrama de Efectos principales para el rendimiento en café supremo	126
Figura 22. Diagrama de Interacciones para el rendimiento en café supremo	127
Figura 23. Superficie de respuesta para el rendimiento en café supremo	127
Figura 24. Diagrama de Pareto para rendimiento en café excelso tipo consumo superior	130
Figura 25. Diagrama de Efectos principales para el rendimiento en café excelso tipo consumo superior	131
Figura 26. Diagrama de Interacciones para el rendimiento en café excelso tipo consumo superior	131
Figura 27. Superficie de respuesta para el rendimiento en café excelso tipo consumo superior	132
Figura 28. Diagrama de Pareto para rendimiento en café pasilla	135
Figura 29. Diagrama de Efectos principales para el rendimiento en café pasilla	135
Figura 30. Diagrama de Interacciones para el rendimiento en café pasilla	136
Figura 31. Superficie de respuesta para el rendimiento en café pasilla	137
Figura 32. Diagrama de Pareto para la impresión global en café supremo	140

	Pág.
Figura 33. Diagrama de Efectos principales para la impresión global en café supremo	140
Figura 34. Diagrama de Interacciones para la impresión global en café supremo	141
Figura 35. Superficie de respuesta para la impresión global en café supremo	141
Figura 36. Diagrama de Pareto para la impresión global en café excelso tipo consumo superior	144
Figura 37. Diagrama de Pareto para la impresión global en café pasilla	147
Figura 38. Diagrama de Efectos principales para la impresión global en café pasilla	147
Figura 39. Diagrama de Interacciones para la impresión global en café pasilla	148
Figura 40. Superficie de respuesta para la impresión global en café pasilla	148
Figura 41. Perfil cromatográfico - cromatograma de iones totales para volátiles del aceite de café supremo por HS-SPME y GC-MS	159
Figura 42. Perfil cromatográfico - cromatograma de iones totales para volátiles del aceite de café pasilla por HS-SPME y GC-MS	160
Figura 43. Perfil cromatográfico - cuantificación de ácidos grasos para aceite de café supremo por GC	161
Figura 44. Perfil cromatográfico - cuantificación de ácidos grasos para aceite de café pasilla por GC	161

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Formato de tostión para café supremo
- Anexo B. Formato de tostión para café excelso tipo consumo superior
- Anexo C. Formato de tostión para café pasilla
- Anexo D. Resultados de análisis de extracto etéreo
- Anexo E. Evaluación cualitativa para café supremo
- Anexo F. Evaluación cualitativa para café excelso tipo consumo superior
- Anexo G. Evaluación cualitativa para café pasilla
- Anexo H. Análisis colorimétrico muestras de café tostado y molido
- Anexo I. Análisis fisicoquímico aceite de café
- Anexo J. Análisis organoléptico aceite de café
- Anexo K. Análisis de los principales compuestos volátiles del aceite de café supremo
- Anexo L. Análisis de los principales compuestos volátiles del aceite de café pasilla
- Anexo M. Análisis de los principales ácidos grasos del aceite de café supremo y pasilla

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos siglos y hasta nuestros días, el café se mantiene como uno de los productos más populares en el mundo occidental. El grano del cafeto es considerado como un producto básico que tiene una gran importancia para la economía de numerosos países productores que, en algunos casos, dependen en gran medida de su exportación hacia los países consumidores para obtener divisas. Para tal efecto, el grano debe pasar por un proceso que involucra a productores, beneficiadores, comercializadores y consumidores en general. Según el Ministerio de Comercio Exterior, en el Perfil de la Cadena del Café, del año 2004; comenta que durante las dos primeras décadas del presente siglo, el cultivo y comercio del café en Colombia registraron un inusitado crecimiento, constituyéndose en el principal producto agrario. De su exportación provienen más del 50% de las divisas en moneda extranjera.

En Colombia se recoge café durante todo el año. Se dan dos cosechas, una grande que se llama cosecha principal y una pequeña denominada traviesa, mitaca o pepeo, que produce una tercera parte de la principal. Estas características permiten ofrecer al mundo café fresco durante todo el año. A continuación se presenta un cuadro acerca de algunas de las características de producción del café a nivel nacional:

Cuadro 1. Café: Área, producción y beneficios

CAFÉ: ÁREA, PRODUCCIÓN Y BENEFICIOS	
Zona cafetera (Departamentos)	3.600.000 hectáreas
Área café	869.500 hectáreas
Producción	11.600.000 sacos 60 Kg
Municipios cafeteros	590
Caficultores	566.000
Empleos directos	560.000
Empleos directos e indirectos	1.000.000
Personas dependientes del café	2.500.000
Destino exportación	36 Países
Empleo agrícola	37 %
Aporte al PIB agrícola	22 %

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004

"Los cultivos de café en Nariño se encuentran alrededor de 20.490 Ha., con una producción anual de 267.600 sacos de 60 Kg"¹.

Por otra parte es muy importante destacar que el café colombiano ha sido reconocido mundialmente como uno de los más apreciados dentro de los cafés arábigos y se ha destacado por su aroma intenso, acidez natural deseable y cuerpo y amargor moderados, esto debido a la localización geográfica y el clima de la zona cafetera colombiana, así como también la forma y el tipo en que se lleva a cabo el beneficio y el almacenamiento. De igual manera el café de Nariño es un café especial que se cultiva en las tierras fértiles de origen volcánico que cubren el territorio del Departamento de Nariño.

Según Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, estos cafés que producen más de 20.000 familias de Nariño, y que ya son reconocidos en los mercados internacionales, son cultivados en medio de una magnífica oferta ambiental que permite obtener un grano de gran tamaño y excelente calidad. Se trata de un café que sobresale entre los especiales colombianos por su cuerpo medio, su exquisita acidez y su aroma pronunciado.

Según Hernán Calle Vélez, en su libro Subproductos del Café, Colombia, tradicionalmente se ha concentrado en la producción de café verde, pero desde hace algunas décadas se ha visto la necesidad de darle otros usos industriales al café y a su vez utilizar sus subproductos. Como por ejemplo de la almendra se puede obtener la bebida, ácido clorogénico, cafeína, cafearina, café hidrolizado, esencias, aceites, jabones, entre otros.

Se han realizado investigaciones acerca de la extracción de aceite de café por métodos como la extrusión, donde se obtiene gran parte de los contenidos aromáticos del mismo, arrastrando consigo el aceite. En este sentido, se ha utilizado café tostado, el cual posee una alta cantidad de compuestos aromáticos, los cuales son producto de transformaciones y degradaciones químicas.

¹ FEDERACAFE. Encuesta Nacional Cafetera 1993/1997. www.cafedecolombia.com.

"Es relevante saber que un criterio importante en la valoración de la calidad del café, es su aroma. El aceite fijo presenta una alta carga volátil (aceite esencial). Se ha encontrado permanencia de las características organolépticas en el aceite obtenido"².

Dado que el café tiene diferentes compuestos, se ha permitido iniciar esta investigación a fin de aprovechar al máximo sus propiedades y darle así otros usos a este producto.

² López F., E.M; Castaño C., J.J. Características del aceite esencial obtenido de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé, artículo 50 (2): 119-125. 1999.

1. IDENTIFICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

Promover el desarrollo de nuevas tecnologías que diversifiquen la producción de café, es definitivo para lograr un cambio en la cultura de aprovechamiento.

Se identifica que en el Departamento de Nariño, la producción de café es de tipo exportación y que sus características de aroma y sabor son catalogadas como de excelente calidad, de ahí que la agroindustrialización para la obtención de un aceite, sería factible por las características aromáticas de dicho producto. Es evidente que la falta de agroindustrialización ha influido en el manejo de los procesos de obtención de diversos productos a partir del café y por ende la carencia de valor agregado.

En nuestro medio no existen otros procesos diferentes al que se utiliza regularmente, que es el de tostión y molienda, para un café de consumo. Lo que se pretende es dar a conocer que existen otros procesos como la extracción de aceite a partir de un café tostado, producto natural que puede ser utilizado como aromatizante o saborizante natural en la industria alimentaria y como aromatizante de textiles, ambientadores, entre otros, en la industria no alimentaria; además de ser empleado en la industria cosmética y farmacéutica.

El desarrollo de la investigación y la innovación tecnológica en la cadena agroindustrial del café, ha venido ganando espacios en el mercado de cafés procesados, los cuales al tener un alto valor agregado, favorecen el desarrollo industrial del sector cafetero, presentando una buena demanda y unos precios crecientes en los mercados internacionales.

Sabemos además que existe una variación reflejada en el índice de precios, puesto que la materia prima a lo largo del año fluctúa considerablemente, mientras que el precio de los productos permanece constante. En vista de esto, se ve favorecida la realización de nuevos proyectos a fin de aprovechar estas variaciones en el mercado.

2. JUSTIFICACIÓN

En la obtención de aceite de café, se han desarrollado diferentes técnicas de extracción que demuestran resultados positivos en cuanto a las características propias del aceite.

De hecho, lo que se pretende es optimizar un proceso en el que se utilice arrastre con vapor y prensado, para obtener mejores resultados en donde el aceite de café conserve en gran parte su aroma y sabor característicos.

Las características físicas y sensoriales como la apariencia, el color y el olor del café en pergamino, almendra y tostado, así como las características organolépticas de la bebida que comprenden el aroma, la acidez, el amargo, el cuerpo y el sabor constituyen la calidad del café; por lo cual esta investigación pretende analizar detalladamente el proceso de tuestión en tres calidades de grano verde, con el fin de establecer las condiciones mas favorables de dicho proceso.

Dado que el café tiene diferentes compuestos, se ha permitido iniciar este estudio a fin de aprovechar al máximo sus propiedades y darle así otros usos a este producto. Se propone el método de extracción de aceite de café por arrastre de vapor y por el método de prensado en diferentes calidades de grano verde (supremo, excelso tipo consumo superior y pasilla), teniendo en cuenta que el aceite extraído es apetecido por la industria alimentaria y no alimentaria.

Debido a que en Colombia no se han desarrollado productos agroindustriales que se beneficien de los constituyentes aromáticos del café, la innovación en este campo permitiría el fortalecimiento en la industria de aceites esenciales así como la diversificación de la economía del caficultor colombiano.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio del proceso de tostión, extracción con arrastre de vapor y prensado, a partir de diferentes calidades de grano verde, para la obtención de aceite de café (*Coffea arabica*).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Obtener información sobre el estado del arte que permita definir las variables y niveles que influyen en el proceso de tostión, extracción con arrastre de vapor y prensado.
- ✓ Determinar mediante la técnica de diseño factorial de experimentos, utilizando la metodología de superficie de respuesta, las condiciones más adecuadas para el proceso de tostión, que permitan obtener unas características organolépticas (por taza) y fisicoquímicas óptimas en el café tostado.
- ✓ Optimizar las variables de extracción con arrastre de vapor, teniendo en cuenta el tiempo de extracción y la presión de vapor, mediante técnicas de diseño factorial de experimentos, utilizando la metodología de superficie de respuesta.
- ✓ Estudiar el proceso de extracción de aceite de café por el método de prensado.
- ✓ Realizar los análisis sensorial y fisicoquímico del aceite obtenido, así como el análisis por cromatografía de gases GC.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 El café. El cafeto es originario de Abisinia, hoy República de Etiopía, situada en la parte nororiental del continente africano. La historia del café se remonta hacia la antigüedad; fue introducido a Europa por los árabes y los turcos en el siglo XV, pero fue hasta el siguiente siglo que se empezó a extender su consumo. La planta productora del café, es un arbusto propio de la zona tropical de la tierra que exige condiciones específicas de altitud sobre el nivel del mar, de precipitación atmosférica, de radiación solar y de suelo.

El cafeto está clasificado como del reino: Vegetal, subreino: Semi pétalas o Metaclamidias, clase: Angiospermae, subclase: Dicotyledoneae, orden: Rubiales, familia: Rubiácea, género: Coffea, especie: Arábica y Robusta. El Coffea abarca unas diez especies cultivadas por el hombre y cincuenta que son silvestres. Entre las especies civilizadas, destacan la arábica L, clasificada por el botánico sueco Carlos De Linneo en 1753 y la Coffea cenéphora o robusta. De las dos, la más difundida es la arábica L ya que el 70% de los cafetales del mundo, están sembrados con la especie arábica y sus distintas variedades, particularmente los de América y los de algunas regiones de África y del Asia. El cenéphora o robusta es la especie predominante en los cafetales africanos, por su resistencia a la enfermedad de la roya.

El fruto del cafeto, cuyas semillas tostadas y molidas se utilizan para el consumo humano, es una baya drupácea de color rojo o amarillo, cuando está madura. Está conformado por una cubierta exterior llamada pulpa, sustancia gelatinosa azucarada que recibe el nombre de mucílago, una cubierta dura que se denomina pergamino o cáscara, una cubierta más delgada y fina llamada película y finalmente, una almendra que es la parte del fruto que una vez tostada y molida se utiliza para la producción del café bebida.

Según el Observatorio de Agrocadenas de Colombia, del 2004, el café es, sin duda, una de las bebidas más deliciosas y populares del mundo, también una de las más antiguas. Su

nombre viene del vocablo turco kawah, que significa "lo que maravilla y da vuelo al pensamiento" y también podría derivarse de los vocablos qahwa o qaharva, uno de los nombres árabes del vino. Hoy en día en todo el mundo el café representa el motor de la vida social. La agroindustria del café se ha diversificado en todo el mundo y ahora se pueden encontrar diferentes productores y consumidores en todos los continentes. Es así como se encuentran a los países de Europa y Japón quienes consumen los mejores granos del mundo. Según información reportada por la FAO, seis países concentran el 68% de la producción mundial de café verde: Brasil, Vietnam, Indonesia, Colombia, México e India. Es un mercado bastante concentrado, pues tan solo Brasil origina el 31.8%, con una oferta cercana a los 2 millones y medio de toneladas, es decir, alrededor de 50 millones de sacos al año.

Cuadro 2. Producción mundial de café verde

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CAFÉ VERDE
(Toneladas)

Puesto	País	1991	1996	2000	2004	Part. %
1	Brasil	1.520.382	1.369.196	1.903.562	2.454.470	31,8 %
2	Vietnam	100.000	320.100	802.500	810.000	10,5 %
3	Indonesia	428.305	421.751	625.009	702.274	9,1 %
4	Colombia	970.740	671.401	636.000	678.000	8,8 %
5	México	334.330	374.153	338.170	310.861	4,0 %
6	India	170.000	223.000	292.000	275.000	3,6 %
7	Guatemala	196.190	213.188	312.060	222.000	2,9 %
8	Etiopía		229.980	229.980	220.000	2,8 %
9	Uganda	147.366	287.925	143.475	186.000	2,4 %
10	Honduras	101.890	148.830	193.309	178.000	2,3 %
11	Perú	82.635	106.520	158.283	175.000	2,3 %
12	Costa Rica	158.000	154.131	158.793	126.000	1,6 %
13	Costa de Marfil	200.000	167.786	336.273	120.000	1,6 %
15	El Salvador	149.450	148.859	114.087	91.513	1,2 %
16	Ecuador	138.579	190.696	138.030	83.000	1,1 %
17	Venezuela	68.404	69.422	78.440	82.000	1,1 %
18	Nicaragua	47.421	49.900	82.206	70.909	0,9 %
31	Bolivia	20.458	22.035	24.928	24.545	0,3 %
	Mundo	6.097.983	6.168.359	7.529.037	7.719.600	100,0 %

Fuente: Observatorio Agrocadenas Colombia, 2004

4.1.2 Características agronómicas. Según Puerta Q. Gloria, en Especificaciones de Origen y Buena Calidad del Café en Colombia, el café de Colombia es el café pergamino, café verde, café tostado o bebida de café de la especie *Coffea arabica* L., cultivado y producido en las zonas cafeteras del territorio colombiano. El área cafetera colombiana corresponde aproximadamente a 869.500 hectáreas y unas 566.000 familias se dedican a su cultivo. El café de Colombia se cultiva y beneficia en fincas cafeteras, que están localizadas entre los 1° a 11° de latitud norte, 74° a 78° de longitud Oeste y 1.000 a 2.000 metros sobre el nivel del mar, que corresponden a los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Cundinamarca, La Guajira, Huila, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, Valle del Cauca, en su mayoría, áreas de la región Andina.

4.1.2.1 Composición química. "Los granos de café tienen una composición diferente entre la variedad arábica y la robusta, las cuales se muestran en la siguiente tabla"³:

Cuadro 3. Composición química del café

COMPOSICION QUIMICA			
Variedad arábica		Variedad robusta	
Cafeína	1,2% mat. seca	Cafeína	2,2% mat. seca
Minerales	4,2% total	Minerales	4,4% total
Potasio	1,7%	Potasio	1,8%
Lípidos	16,0%	Lípidos	10,0%
Trigonelinas	1,0%	Trigonelinas	0,7%
Proteínas y aminoácidos	11,5%	Proteínas y aminoácidos	11,8%
Ácidos alifáticos	1,4%	Ácidos alifáticos	1,4%
Ácidos clorogénicos	6,5%	Ácidos clorogénicos	10,0%
Glucósidos	0,2%	Glucósidos y	
Carbohidratos	58,0%	Carbohidratos	

Fuente: Viani R. The composition of coffe: caffeine, coffe and healt. S. Garantini Ed. New York. Raven Press, Ltd; 1991 pa. 17-41.

4.1.3 Cosecha. Se debe recolectar solamente el fruto maduro. La cereza madura, bajo un adecuado control en el beneficio, permite obtener la mejor calidad de café. La bebida de café

³ Fuente: Viani R. The composition of coffe: caffeine, coffe and healt. S. Garantini Ed. New York. Raven Press, Ltd; 1991 pa. 17-41.

preparada con granos provenientes de frutos con diferentes estados de desarrollo, presenta defectos en donde la presencia de un 2.5% o más de fruto verde en el café recolectado y beneficiado, afecta la calidad de la bebida. El fruto verde no despulpa completamente, al secarse y trillarse se puede obtener grano vinagre, inmaduro y negro que afectan la calidad física y organoléptica del café.

4.1.4 Poscosecha. Las características físicas y sensoriales como la apariencia, el color y el olor del café en pergamino, almendra y tostado, así como las características organolépticas de la bebida que comprenden el aroma, la acidez, el amargo, el cuerpo y el sabor constituyen la calidad del café. La calidad del café está determinada genéticamente e influenciada por muchos factores, como las condiciones de cultivo, el clima, el suelo, los cuidados fitosanitarios y las prácticas agronómicas en general, principalmente la cosecha y el proceso de beneficio. La falta de control de los procesos anteriores puede hacerle perder al caficultor todo el esfuerzo puesto en la atención al cultivo, como consecuencia del desmejoramiento de la calidad del grano.

4.1.4.1 El Beneficio.

El despulpado. Debe realizarse inmediatamente después de cosechado el café cereza. El retraso en el despulpado del café, por más de 6 horas, afecta la bebida y puede originar el defecto denominado fermento. La presencia de frutos sin despulpar y de pulpa en el grano, ocasiona café con sabor a fermento, defecto que se acentúa en la medida que aumenta el porcentaje de grano sobremaduro en el café cosechado.

La remoción del mucílago o baba del café. La remoción del mucílago del café se puede realizar por fermentación natural del mismo, o mecánicamente, por medio de desmucilaginosos mecánicos.

La fermentación natural tiene como finalidad la descomposición del mucílago que cubre el pergamino. Este mucílago una vez descompuesto, se disuelve en agua y se elimina por medio del lavado. El control del tiempo del proceso es factor determinante en la calidad final del grano, ya que por sobrefermentación, se producen defectos en el café que dan sabor y aroma a vinagre, fermento, piña o vino,

cebolla, rancio o stinker, dependiendo del tiempo en que los granos de café permanezcan sin lavar. La fermentación puede durar entre 12 a 18 horas.

El desmucilaginado mecánico permite remover en forma mecánica el mucílago presente en el grano, sin afectar la calidad de la bebida.

El lavado y el clasificado. El objetivo del lavado es el de eliminar totalmente el mucílago del grano. El café se debe lavar con agua limpia, para evitar en el grano defectos como el manchado, sucio, fermento y contaminado.

La clasificación tiene como propósito obtener los diferentes tipos de café que corresponden a diferentes precios en el momento de la venta. La clasificación del café se puede realizar durante el despulpado mediante el empleo de la zaranda; durante el lavado por flotación en el tanque de fermentación, con el lavador mecánico y el canal de correteo.

Con el beneficio ecológico se utiliza el agua estrictamente necesaria para procesar o transformar el café cereza en café pergamino seco, aprovechando los subproductos (pulpa y mucílago) y evitando la contaminación de las fuentes de agua; Tecnología Becolsub.

4.1.4.2 El secado. El secado es la etapa del beneficio que tiene como finalidad disminuir el contenido de humedad del grano, hasta un porcentaje tal, que permita su almacenamiento seguro sin adquirir mal olor o sabor. Las normas vigentes para la comercialización del café pergamino seco, establecen un contenido final de humedad entre el 10 y el 12%. El secado se puede realizar de dos formas: Solar y Mecánico

4.1.4.3 El Almacenamiento. El almacenamiento del café pergamino seco es un proceso que exige sumo cuidado. Después de realizado el proceso de secado, en cualquiera de los dos tipos, lo que se busca es que la humedad final de los granos alcance un 10 al 12% antes de su empaque. El producto obtenido en la finca es el café pergamino seco, que es la almendra (endospermo) cubierta por la cascarilla (endocarpio). El café pergamino seco se empaqueta en sacos de fique (costales). El almacenamiento del producto en finca se realiza en lugares limpios, secos, ventilados y frescos (temperaturas moderadas), y protegido de insectos, roedores y

otros animales. Otros productos como combustibles, abonos, insecticidas, pinturas, maderas o frutas, se almacenan en cuartos separados y retransportan aparte del café.

4.1.5 Comercialización. En el caso del café pergamino seco, éste se transporta protegido de la lluvia, tradicionalmente en equinos y modernamente en vehículos hasta las cooperativas de caficultores o puestos de compra particulares. A partir de este momento comienza el proceso industrial realizado por asociaciones de productores y comercializadores nacionales que a su vez venden el producto a plantas industriales descafeinadoras, solubilizadoras y torrefactoras. A continuación el grano puede dirigirse, por un lado, al mercado interno para su consumo final, a la industria de refrescos y farmacéutica nacional o a brokers (corredores de bolsa) establecidos dentro del país; por el otro, puede exportarse como café verde, soluble, tostado y molido, o puede venderse sólo la cafeína. Finalmente es usual que los brokers y empresas comercializadoras vendan el aromático a compañías extranjeras.

Figura 1. La semilla del cafeto en pergamino



Figura 2. La semilla del cafeto en almendra



4.1.5.1 Trilla. La trilla de café es un proceso industrial de transformación del café pergamino en café excelso y sus subproductos. Consta de dos etapas básicas que son la trilla, etapa en la que el café pergamino es pelado obteniendo el cisco y la almendra y la segunda etapa es la de clasificación y selección en la que la almendra saliente de la etapa

inicial es escogida y seleccionada según sus características físicas (color, tamaño, forma). Para la realización de la trilla se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

Recepción de la materia prima. En donde el café pergamino procedente de las agencias de compra, llega a la trilladora.

Elaboración de la ficha técnica de recibo. Es la información que va a detallar el origen del café pergamino por medio del nombre de la cooperativa, la agencia o sucursal, el número de sacos, la fecha de conformación y la calidad del café.

Muestreo. Utilizando una sonda se realiza un muestreo periférico al café pergamino previo al ingreso a la trilladora. Con esta muestra se realiza una prueba de taza, para definir en principio si el café puede ser utilizado por la trilladora. Este muestreo se lleva a cabo tomando la muestra saco a saco involucrando el 100% de la población para luego determinar su calidad mediante análisis físicos y organolépticos.

Análisis para café pergamino. Los siguientes análisis se le practican al café pergamino a fin de que den una idea inicial de su estado antes del proceso de trilla.

- ✓ **Análisis de humedad.** La humedad adecuada para el café pergamino debe estar en un rango contemplado entre el 10 y el 12%. Cuando el contenido de humedad esta por debajo del 10%, este refleja un proceso de grano sobresecado o demasiado expuesto al calor o si por el contrario, se presenta una humedad superior al 12%, refleja una deficiencia en el proceso de secado o un almacenamiento en condiciones no adecuadas. En ambos casos durante el proceso de trilla el café puede ser convertido en ripio o pasillas.
- ✓ **Análisis olfativo.** El análisis olfativo, permite identificar el olor normal o característico del café o un olor anormal desagradable y no característico tal como combustible, fermento, reposo, moho, entre otros.
- ✓ **Análisis visual.** Donde se determina una homogeneidad en el color, así como la presencia de pergamino manchado y además de guayaba y media cara.

- ✓ **Análisis de infestación.** Se realiza el análisis de infestación, puesto que el café debe estar libre de todo tipo de insectos vivos o muertos.
- ✓ **Análisis de materias extrañas o impurezas.** Se entiende por materia extraña, toda materia mineral, animal o vegetal no originaria en la cereza del café, tales como piedras, palos, granos de cereales, semillas de algodón, puntillas, clavos, etc. Se consideran impurezas el cisco del café, la cáscara de cerezo y el llamado grano espuma o pergamino vano.

Procedimiento y cálculo para la pretrilla. El análisis de pretrilla es una primera aproximación que se hace para comprender el posible comportamiento del café que ingresa al proceso de trilla. Los pasos a seguir en el desarrollo de las pretrillas son:

- ✓ **Toma de muestra.** Con una sonda se toma una pequeña porción de 30 a 50 g. de cada saco de pergamino de lote o arrume a evaluar.
- ✓ **Homogenización.** Se reúnen las pequeñas muestras tomadas anteriormente y se mezclan lo mejor posible, asegurando que cualquier porción de la muestra que se toma siga representando el lote o arrume. De esta muestra general se toman 200 g. de pergamino pesados exactamente y se procese con el análisis de humedad.
- ✓ **Toma de humedad.** Como se sabe que la humedad adecuada para el café pergamino debe estar en un rango contemplado entre el 10 y el 12%, este ejercicio no va a tener ninguna incidencia directa en el análisis de pretrilla, pero da un dato que es definitivo en el momento de aceptar o no un determinado lote.

Trilla de la muestra. Este procedimiento consiste en retirar cuidadosamente el cisco (trilla manual o mecánica), teniendo en cuenta de no perder ni un solo grano. La almendra obtenida se pesa exactamente a fin de determinar el porcentaje de la merma por cisco. Este cálculo se lo obtiene por medio de la siguiente fórmula:

Cuadro 4. Determinación del porcentaje de merma por cisco

$$\% \text{ merma por cisco} = \frac{200 - \text{peso final almendra}}{200} \times 100$$

Fuente: Guía de Procesos en Trilladoras. Expocafé, segunda Edición. Agosto 1998.

Clasificación granulométrica. Este es un proceso que consiste en colocar la almendra obtenida sobre una malla cuyos orificios tienen un diámetro de 14/64" y zarandearla durante 2 minutos con el fin de identificar los granos que pasan a través de la malla y aquellos que quedan retenidos en esta. Esto refiere a que toda almendra que por su tamaño inferior pase a través de la malla catorce sesenta y cuatro de pulgada es considerado como un grano pequeño y los que están sobre ésta son catalogados como granos excelsos. Para obtener el porcentaje de grano pequeño, se realiza el siguiente cálculo:

Cuadro 5. Determinación del porcentaje de grano pequeño

$$\% \text{ grano pequeño} = \frac{\text{Peso del grano pequeño}}{200} \times 100$$

Fuente: Guía de Procesos en Trilladoras. Expocafé, segunda Edición. Agosto 1998.

Clasificación de pasilla y broca. La almendra que queda retenida sobre la malla 14/64" se selecciona, retirando de ésta todo grano defectuoso, tanto de forma como de color y posteriormente se pesa y se calcula el porcentaje de pasilla en base pergamino o en base almendra, de la siguiente manera:

Cuadro 6. Determinación del porcentaje de pasilla (base pergamino)

$$\% \text{ pasilla (base pergamino)} = \frac{\text{Peso pasilla total}}{200} \times 100$$

Fuente: Guía de Procesos en Trilladoras. Expocafé, segunda Edición. Agosto 1998.

Cuadro 7. Determinación del porcentaje de pasilla (base almendra)

% pasilla (base almendra)	=	$\frac{\text{Peso pasilla total}}{\text{Peso de almendra}} \times 100$
---------------------------	---	--

Fuente: Guía de Procesos en Trilladoras. Expocafé, segunda Edición. Agosto 1998.

Obtención del rendimiento. Un análisis de gran importancia es la determinación del rendimiento, ya que este indica la cantidad en kilos de pergamino que se necesita para obtener un saco de excelso que pesa 70 kilos, se calcula de la siguiente manera:

Cuadro 8. Determinación del rendimiento

Rendimiento	=	$\frac{\text{Peso de la muestra en pergamino x 70 Kg.}}{\text{* Peso final de la muestra}} \times 100$
-------------	---	--

* Almendra después del proceso de trilla y escogida de granos defectuosos.

Fuente: Guía de Procesos en Trilladoras. Expocafé, segunda Edición. Agosto 1998.

Después de realizar todos los análisis es recomendable elaborar una base de datos de los lotes evaluados por orígenes y fechas, con el fin de conocer el comportamiento del café pergamino, rendimientos, mermas y costos, en las diferentes épocas del año.

4.1.5.2 Selección y clasificación del grano verde después de la trilla. La clasificación tiene por objetivo primordial comenzar a diferenciar los granos según sus características físicas (peso, tamaño, color) utilizando medios mecánicos y manuales. En promedio el peso del grano es de 0.18 g. +/- 0.03, de color verde y apariencia homogénea, granos sanos. Olor característico a café fresco, humedad de 10 al 12% con un tamaño del grano de 14/64" a 17/64" ó 18/64" (tamices de perforación circular para café).

Después del beneficio, los cafés se clasifican en grupos o clases diferentes con la finalidad de definir lotes comerciales homogéneos. Las listas de términos para designar estos grupos varían de acuerdo con el país e incluyen clases, tipos, orígenes y marcas comerciales.

Ejemplo:

- ✓ Calidades: AA, AB, PB, en Kenya, Tanzania, Perú, Papúa Nueva Guinea.
- ✓ Calidades: I, II, III, en Costa de Marfil, Camerún, Cuba, Vietnam.
- ✓ Tipos: 1, 2, 3, 4, en Brasil, Cuba.
- ✓ Clases: SHG, HG, SHB, HB, en América Central.
- ✓ Orígenes: Sidamo natural, Sidamo lavado, Harrar, Kaffa, en Etiopía; Kona Extra Fancy, Kona Fancy en Hawaii; Supremo y Excelso en Colombia; Blue Mountain y High Mountain Supreme en Jamaica.

Los indicadores de calidad se emplean para describir el tamaño de un grano que suele expresarse en 1/64 de pulgada. La regla es utilizar números pares para los granos del café arábica (20, 18, 16, etc.) y números impares para los granos del tipo robusta (17, 15, 13, etc.). Por ejemplo, si hay granos de calidad 18 significa que pasan por una malla de calibre 18 (orificios con un diámetro de 18/64 de pulgada) y quedan atrapados en una malla de calibre 16. Sin embargo, desde el punto de vista comercial, los indicadores de calidad se emplean para clasificar un café según el tamaño de sus granos, su número de defectos, la altura del cultivo, etc., de acuerdo al país productor. En este sentido, la mayoría de los países productores tienen su propia clasificación y cuadros de calidad.

Clasificación de los tipos de café según la OIC (Organización Internacional del Café)

- ✓ **Arábicas colombianas suaves o Arábicas colombianas extra suaves.** Cafés beneficiados en húmedo provenientes de Colombia, Kenya, Papúa Nueva Guinea, Tanzania y Zimbabwe.
- ✓ **Arábica no lavados.** Cafés *Arábica* beneficiados en seco, principalmente del Brasil y Etiopía, también denominados naturales brasileños.
- ✓ **Robusta.** Clasificación de la OIC para todo café de la especie *Coffea canephora*, incluso el conilon del Brasil.
- ✓ **Otras arábicas suaves.** Otros cafés *Arábica*, principalmente de América Central y América del Sur.

Términos relacionados.

- ✓ **A, AA, AAA.** Indicadores de la calidad empleados para describir el tamaño del grano. Sin embargo, distintos países pueden emplear indicadores diferentes para los granos más grandes; "A" en la India; "AA" en Kenya, Tanzania y Papúa, Nueva Guinea; "AAA" en el Perú.
- ✓ **Calidad en general buena (UGQ, siglas en inglés).** Término que designa al elemento clasificador de los compradores que denota granos de buena calidad constante.
- ✓ **Café comercial.** Café verde que está en condiciones de ser comercializado.

Clasificación. Operación que consiste en separar el grano por tamaño o densidad. Al hacer la clasificación, hay una tolerancia de un pequeño porcentaje de granos de tamaño menor a los retenidos en un tamaño de malla dado.

- ✓ **Café sin clasificar (UG, siglas en inglés).** Término que designa la calidad oficial keniana de los *mbuni*. dondequiera que se produzcan.
- ✓ **Buena calidad media (FAQ, siglas en inglés).** Término empleado en algunos países para describir el café sin separar y, en ocasiones, sucio, proveniente de la descascaradora, cuando se comercializa localmente en forma de grano.
- ✓ **Estrictamente de altura (SHG, siglas en inglés).** El café cultivado a más de 4.500 pies (1.380 metros) de altitud puede denominarse estrictamente de altura (SHG).

Examen previo. Método para estimar rápidamente la calidad mediante el recuento de "defectos" físicos en una muestra de tamaño determinado.

- ✓ **Grano bueno y duro (GHB, siglas en inglés).** Término en inglés que se refiere a la calidad de café cultivado a altitudes mayores de 900 metros. El término varía dependiendo del país donde se cultiva el grano.
- ✓ **Grano clasificado.** Término utilizado en Kenya para describir los granos rechazados durante la separación.

- ✓ **Grano duro (HB, siglas en inglés).** Conforme mayor sea la altitud a la que se cultiva el café, más lentamente madurará el grano, y más dura y densa será su sustancia, de allí el término. Grano duro suele referirse al café cultivado entre los 4.000 y 4.500 pies (1.220-1,380 metros) sobre el nivel del mar.
- ✓ **Grano estrictamente duro (SHB, siglas en inglés):** Término usado para designar el café cultivado a más de 4.500 pies (1.380 metros) de altitud, denominado gran estrictamente duro (SHB) a diferencia del grano duro (HB).
- ✓ **Grano suave (SB, siglas en inglés).** Término en inglés que describe el café cultivado a altitudes relativamente bajas (menos de 3.500-4.000 pies, 1.067,5-1.200 m). Los granos cultivados a menor altitud maduran más rápidamente y producen un grano más liviano y poroso.

Ordenamiento. Término general que se refiere a la separación de los granos por tipos de clases diferentes y a la eliminación de materias extrañas, por ejemplo, mediante la separación por tamaño (clasificación), separación por color, separación por densidad (clasificación), y separación por tipo de grano (esto es, granos defectuosos y granos sanos).

- ✓ **Selección minuciosa.** Término que designa la calidad de café que tiene estrictas normas de separación, de tal suerte que está completamente libre de granos defectuosos.
- ✓ **Separación.** Término general que se refiere a la separación de los granos por diferentes tipos de clases y la eliminación de materias extrañas. Separación por tamaño (clasificación), por color, por densidad (clasificación), por tipo de granos (defectuosos con respecto a los que están en buenas condiciones.)
- ✓ **Sin clasificar.** Granos cuya evaluación de calidad no tiene una descripción específica.
- ✓ **Tolerancia.** Porcentaje permisible de otras calidades que pueden aparecer en la calidad principal especificada del café.

- ✓ **Triage.** "Término en francés que tiene dos significados: i, la acción de separar, y ii, todos los granos rechazados (esto es, con defectos) durante la separación, que también se describe en la norma ISO 3509 como "residuo triage". En Kenya estos granos se llaman "granos separados"⁴.

Otro termino importante que se debe tener en cuenta es el de los "café especiales", el cual se deriva del concepto de encontrar café que muestren cualidades únicas en taza por ser cultivados en "lugares especiales" o regiones específicas, los cuales tienen consistencia en sus propiedades como son: físicas (forma, tamaño, humedad, apariencia, defectos); sensoriales (olfativas, visuales y gustativas); prácticas culturales (recolección, lavado, secado), en sus procesos finales (tostión, molienda, preparación). Esta definición usualmente se aplica a café arábigo que por sus características físicas (Premium); origen (Jamaica Blue Mountain, 100% Colombiano); prácticas culturales (orgánico) son preferidos por los conocedores del café.

Las condiciones para los café especiales son:

- ✓ Cultivos de altura.
- ✓ El cultivo de las variedades tradicionales de la especie *Coffe arábica*.
- ✓ Cultivado bajo sombra.
- ✓ Máximo uso de fertilizantes y pesticidas naturales (orgánicos).
- ✓ Lavados.
- ✓ Secados al sol y acondicionados antes de ser almacenados.
- ✓ Administrados directamente por los propietarios.

Clasificación de los café especiales. Los café especiales se agrupan de la siguiente manera:

- ✓ Café de origen. Los cuales se subdividen en:
 - a. Café regionales. Son los que provienen de una región específica y de reconocida particularidad. Al consumidor se le ofrecen puros, sin mezclas con café de otro origen.

⁴ www.coffee-ota.org

- b. Cafés de finca. Son los cultivados en una sola finca con sistemas homogéneos de cultivo y beneficio de alta calidad. Son directamente promovidos por sus propietarios.
 - c. Cafés exóticos. Son cafés de zonas muy determinadas y con buenas características sensoriales y organolépticas que permiten ofrecer tasas de altísima calidad.
 - d. Cafés por preparación (Appearance). Se ofrece de acuerdo a una clasificación granulométrica tales como el Supremo, Extra o Especial y el Europa, con un mínimo contenido de defectos.
- ✓ Cafés orgánicos. Son cultivados bajo un ambiente libre de agroquímicos como, fertilizantes, fungicidas y herbicidas. Para su comercialización es necesaria una certificación emitida por una entidad con reconocimiento mundial.
 - ✓ Cafés saborizados. Son cafés que durante el proceso de tostión se les incorpora una resina o aceite con determinado sabor, como vainilla, chocolate, amaretto, entre otros.
 - ✓ Cafés de alta tostión. Son aquellos cuyo grado de tostión es mayor al tradicional, con el fin de ser utilizados como expresos.
 - ✓ Cafés descafeinados. Son cafés que en verde se someten a un proceso de descafeinización con agua caliente para llevar la cafeína a la superficie y luego retirarla.

Dentro de los cafés especiales, se destaca el cultivado en el Departamento Nariño, debido a sus tierras de origen volcánico que cubren en gran parte del territorio.

Estos cafés que producen más de 20.000 familias de Nariño, y que ya son reconocidos en los mercados internacionales, son cultivados en medio de una magnífica oferta ambiental que permite obtener un grano de gran tamaño y excelente calidad. Se trata de un café que sobresale entre los especiales colombianos por su cuerpo medio, su exquisita acidez y su aroma pronunciado.

4.1.6 Tostión. La tostión es la transformación de las propiedades químicas y físicas de los granos de café verde, para que pierdan humedad y provoquen la formación de compuestos aromáticos en un determinado tiempo. La operación se efectúa en un tostador circular o cilíndrico, que rota sin parar para que los granos, en movimiento continuo, sean tostados uniformemente.

El proceso de tostión debe realizarse de una manera correcta, es decir, si el grano no es tostado a la temperatura adecuada o bien no se tuesta durante el tiempo necesario, evitará que los aceites salgan a la superficie y se pierda el sabor característico del café, adquiriendo uno más parecido al del maní, fácilmente reconocible. Si, por el contrario, se realiza una tostión a una temperatura demasiado elevada o se prolonga demasiado, el grano tendrá un sabor carbonizado.

Los aceites emergen a la superficie tras una serie de reacciones químicas provocadas al someter el grano a altas temperaturas de tostión. Así, primero, el grano pierde su estructura celular, y el almidón se convierte en azúcar y las proteínas se descomponen en péptidos, que forman los aceites, mientras que la humedad y el dióxido de carbono se consumen. Estos aceites, llamados también esencias o aceites de café, son volátiles y solubles en el agua, por lo que contienen en sí mismos el sabor y el aroma, que más tarde se trasladarán a la bebida.

La mayoría de los métodos de tostión incluyen las siguientes fases:

- ✓ Fase de pérdida de humedad. Ésta es la primera fase del proceso de tostión, en donde la temperatura de los granos se eleva a 100 grados centígrados. También en esta fase, los granos cambian de un color verde intenso a un amarillo claro.
- ✓ Primera crepitación. Cuando los granos alcanzan 160 grados centígrados, las reacciones químicas complejas comienzan a ocurrir causando un sonido que se agrieta.
- ✓ Iniciación de la tostión. Los granos se hinchan entre un 140% y un 160% de su tamaño inicial. Los compuestos dentro de los granos comienzan a caramelizarse, confiriéndoles a estos un color marrón.

- ✓ Pausa. En esta fase, los agrietamientos cesan, pero las reacciones continúan. La duración de esta pausa dependerá de la cantidad de calor aplicada por el tostador.
- ✓ Segunda crepitación. La deshidratación progresiva de los granos los hace frágiles. Consecuentemente, el siguiente agrietamiento puede ser oído. Es en esta etapa los elementos del grano comienzan a carbonizarse, produciendo las características quemadas de los granos extremadamente oscuros.
- ✓ Fin de la tosti3n. Una vez que haya transcurrido el tiempo 3ptimo de tosti3n, los granos deben ser enfriados r3pidamente. Esto se logra generalmente introduciendo cantidades grandes de aire o de agua fresca.

El tostado puede ser bajo o leve, medio, o alto u oscuro. El tostado oscuro es m3s com3n en Europa, mientras que en EE.UU. suelen usar tostados bajos o medios. Dependiendo del origen del grano, 3ste admitir3 mejor un tipo de tueste que otro. Por lo general el Caf3 pierde calidad y definici3n cuanto m3s se tuesta. As3, el Caf3 et3ope perder3 sus cualidades m3s caracter3sticas si se le da un tueste alto. Lo mismo pasa con la variedad Yauco Selecto de Puerto Rico o el Kona Hawaiano. Por el contrario, el Caf3 Mexicano gana un sabor dulce si se tuesta mucho, que no se distingue en tostado medio o leve y a la Antigua de Guatemala le da exactamente igual el grado de torrefacci3n ya que conserva en cualquiera de ellos todas sus propiedades intactas. Generalmente el grano se tuesta durante 10 a 20 minutos a temperaturas oscilantes entre 205 grados cent3grados y 220 grados cent3grados.

El secreto en el desarrollo del aroma y sabor del caf3 reside en la tosti3n de los granos de caf3. El tiempo y la temperatura de tosti3n son cruciales en la preparaci3n de una buena taza de caf3, as3 como en la determinaci3n de qu3 caracter3sticas ser3n realizadas y cuales ser3n variadas. Si la tosti3n es corta, los aceites no saldr3n hasta la superficie y el caf3 tendr3 un sabor como de nuez y poco cuerpo. Los granos tostados oscuros contienen menos 3cido y un poco menos de cafe3na que los granos m3s claros, aunque tambi3n menor per3odo de conservaci3n, debido a la cantidad de aceites en la superficie. En las tosti3nes m3s oscuras predomina el sabor ahumado, penetrante y quemado, opacando el verdadero sabor del grano. Contrariamente a las creencias

populares, una tostión más oscura no equivale a una taza de café más rica ni más fuerte.

La tostión no determina si una taza de café será más o menos fuerte, el factor determinante será la proporción de agua con respecto al café en el momento de prepararlo. Los granos tostados claros tienen un sabor más intenso, más ácido que los tostados más oscuros. El café ha sido menos expuesto al calor, por lo cual las cualidades del grano son mejor mantenidas. Las tostiones más claras se hacen con granos de más alta calidad, pues en este caso se expone el sabor real del grano.⁵

Determinación del grado de tostión por colorimetría.

Agtron E10-CP. El grado de tostión se asocia directamente con el color del grano de café tostado. Las diferencias del color, desafortunadamente, no puede ser vistas fácilmente, por esto fue desarrollado un equipo para determinar el color del grano tostado.

Según www.Agtron.net, Este equipo es el Agtron E10-CP el cual, ilumina la muestra de café tostado y mide la energía de ciertas longitudes de onda infrarrojas reflejadas de su superficie. Este equipo mide el grado de tostión observando la reflexión de la frecuencia estrecha de la luz. El grado de tostión se relaciona con las características del sabor del café tostado, de ahí que el Agtron E10-CP es uno de los instrumentos más importantes disponibles para la industria del café.

⁵ www.juanvaldez.com

Figura 3. Equipo Agtron E10-CP **Figura 4.** Equipo con escala de colores



Fuente: www.agtron.net



Fuente: www.agtron.net

Estándares manejados en la tostión a nivel mundial.

Cuadro 9. Estándares de tostión a nivel mundial

Tostión designada	Descripción de la tostión	Agtron E10-CP
Sobredesarrollada	Excesivamente oscuro	Bajo 18
Acadian	Extremadamente oscuro	18 - 23,0
Italiano	Muy oscuro	23,1 - 28,0
Francés	Oscuro	28,1 - 33,0
Vienés	Oscuro medio	33,1 - 38,0
Consumo general	Medio oscuro	38,1 - 43,0
Consumo	Medio	43,1 - 48,0
Americano	Medio claro	48,1 - 53,0
Canela	Claro medio	53,1 - 58,0
Escandinavo	Claro	58,1 - 63,0
Finlandés	Muy claro	63,1 - 68,0
Paja	Extremadamente claro	68,1 - 73,0
Subdesarrollada	Excesivamente claro	sobre 73,0

Fuente: SCAA, Science and Technology, Specialty Coffee Assn. of America

4.1.7 Molienda. El término molienda normalmente esta asociado con el significado de subdividir en mayor o menor tamaño, aunque, en general, moler significa una mayor subdivisión. Por lo tanto, la molienda se considera como una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. En el caso del café, tal reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

El molido es una operación clave dentro de la cadena de elaboración de un buen café. El grano molido debe tener una granulometría perceptible al tacto y no llegar a tener una consistencia harinosa. Si está poco molido, al realizar la infusión no se extraerán todos los sabores, y si lo está demasiado, se disolverán excesivamente los componentes menos aromáticos y más amargos, además de formarse una pasta que dificultará el proceso.

4.2 Evaluación de la calidad del café. Los países consumidores del grano, además de evaluar la calidad física del café excelso o tipo exportación, evalúan su calidad en taza, mediante el análisis organoléptico o sensorial, conocido como prueba de catación del café.

4.2.1 Análisis físico. Se realiza el análisis tanto de pergamino como de almendra, en un laboratorio de control de calidad.

4.2.1.1 Materiales y equipos.

- ✓ Sonda metálica.
- ✓ Homogenizador.
- ✓ Balanza analítica.
- ✓ Medidor de humedad para café pergamino seco.
- ✓ Trilladora.
- ✓ Juego de mallas (análisis granulométrico).
- ✓ Tabla de defectos.
- ✓ Bandejas plásticas.
- ✓ Lámpara de luz blanca.
- ✓ Formato para resultados.

4.2.1.2 Análisis del café pergamino seco. El café pergamino es todo grano de café verde o crudo cubierto por el endocarpio (pergamino), el cual se encuentra seco de trilla.

✓ **Limites de control.**

Humedad. La humedad adecuada para el café pergamino debe estar en un rango comprendido entre el 10 y el 12%.

Grano pelado. Es todo grano de café, seco de trilla, al cual le falta la mitad o más del endocarpio (pergamino). Se admite hasta el 2% en peso, con base en pergamino para café tipo exportación. Para este análisis se toma una muestra

representativa (100 gramos) por muestra y se separa los granos pelados para luego determinar su porcentaje de presencia de este tipo de granos.

Guayaba y media cara. Es todo grano de café seco de trilla que tiene adherido al pergamino la mitad o más de la cacota o pulpa seca. Se admite hasta el 3% en peso con base en el pergamino para café tipo exportación. De la muestra de 100 gramos se identifican este tipo de granos para calcular su porcentaje.

Materias y/o impurezas. Se entiende por materia extraña toda materia mineral, animal o vegetal no originaria en la cereza del café, como piedras, palos, granos de cereales, semillas de algodón, puntillas, clavos, etc. Se consideran impurezas el cisco del café, la cáscara, el llamado "grano espuma" o pergamino vano. Se admite hasta el 0.5% en peso de la materia extraña y/o impurezas para café tipo exportación. De la misma forma se extraen de los 100 gramos la materia extraña y las impurezas para de esta manera calcular su porcentaje de presencia.

Infestación. El café debe estar libre de todo insecto vivo o muerto.

Color. El pergamino debe presentar uniformidad en el color.

Según, Caicedo C.,N.M.; Chavez D.,W.G. En su Estudio de Factibilidad para el montaje de una planta trilladora de cafés especiales de exportación en el municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, 2004, el análisis del café almendra, se determina de la siguiente manera:

✓ **Análisis del café en almendra (café verde).**

Una vez realizados los análisis al pergamino de una manera satisfactoria y aceptable se prosigue a los análisis de la almendra.

Análisis granulométrico. El café trillado es depositado en un juego de mallas interpuestas de mayor a menor según el tamaño de sus orificios, por donde pueden pasar o quedar retenidos los granos de café verde con el objeto de realizar la respectiva clasificación de los excelsos según el tamaño y la forma del grano.

✓ Clasificación de los excelsos.

Excelso Premium. Compuesto de grano grande, plano, parejo, retenido por encima de malla No. 18. Esta es una condición o característica ideal de los denominados cafés especiales.

Excelso supremo. Compuesto de grano grande, plano, parejo, retenido por encima de malla No. 17, con tolerancia del 5% inferior a esta malla, pero retenido por malla No. 14, de esmerado beneficio y debidamente seleccionado.

Excelso extra o especial. Compuesto de grano plano y caracol, tamaño grande y mediano, retenido por encima de la malla No. 16, con una tolerancia del 5% inferior a esta malla, pero retenido por la malla No. 14 debidamente seleccionado.

Excelso tipo Europa y UGQ. Compuesto de grano plano y caracol, tamaño grande, mediano y pequeño, retenido por encima de la malla No. 15 (para tipo Europa) y de la malla No. 14 (para tipo UGQ), con la tolerancia del 2.5% y 1.5% respectivamente, de café de tamaño inferior a dichas mallas, pero retenido por la malla No. 12, debidamente seleccionado.

Excelso caracol. Comprende el café excelso de la clase conocida con este nombre, sin maragogipe, de tamaño grande, mediano y pequeño retenido por la malla No. 12, debidamente seleccionado. Con tolerancia de hasta 10% de grano plano.

Excelso maragogipe. En estas clases de excelsos están incluidos los granos de esta variedad o calidad conocida con este nombre, de tamaño grande, mediano y pequeño, sin caracol, retenido por la malla No. 14, debidamente seleccionado. Con una tolerancia de hasta 10% de grano plano.

Proceso de granulometría.

El café trillado (café verde) es zarandeado o tamizado en el juego de mallas ordenados de mayor a menor, donde el proceso dura aproximadamente dos (2) minutos con un movimiento horizontal en forma constante. Enseguida se pesa el contenido de cada una de las mallas, para luego hacer la sumatoria de todo el Café verde o en almendra y calcular los porcentajes retenidos por cada una de las mallas. Una vez realizada la granulometría se procede a los cálculos tanto de excelso, UGQ y excelso Europa que son los tipos de excelso que se

comercializan con mayor frecuencia por parte de las Cooperativas de Caficultores y la Federación Nacional de Cafeteros; además de los cálculos de pasilla, broca, ripio, pasilla caracol, consumo superior y merma.

Consumo superior. Proviene de la fracción comprendida entre mallas No. 15 y 14 para la trilla tipo Europa, con una tolerancia del 15% de café bajo malla No. 14, pero retenido sobre malla No. 12. El tope máximo de defectos es de 7% en peso. El beneficio de consumo superior como producto de trilla se efectuará en la forma acostumbrada, a través de una selección mecánica sin ser sometida a escogeduría manual. Admitirá igualmente el 7% de defectos (pasilla en general), se beneficiara sobre malla No. 14.

Ripio. Proviene generalmente de los defectos de la tercera catadora (máquina clasificadora), se compone de los granos defectuosos inferiores a la malla No. 14 y la fracción de grano inferior a malla No. 12. Tolerancia de pasilla en el ripio 5% en peso.

Grano brocado. Es el grano de café atacado por el insecto denominado broca, el cual deja en el grano unos orificios de aproximadamente 2 mm. de diámetro y un color verde oscuro o negro; deteriorando o deformando el grano lo cual afecta los rendimientos de la trilla en forma considerable.

Merma. Es el material sobrante en el proceso de trilla al despojar de la almendra del café el cisco o pergamino; por lo general se compone del endocarpio o cisco acompañado de polvo.

Pasilla. Es todo grano de café defectuoso según tabla de clasificación de los defectos del café de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Admite hasta el 5% de pasilla en peso con base almendra. No debe contener granos flojos o sea aquello con exceso de humedad.

Rendimiento Europa. Es el rendimiento que tiene este tipo de excelso en el proceso industrial de trilla y se lo establece según la siguiente relación:

Cuadro 10. Rendimiento café Europa

$\frac{250 \times 70}{(\text{peso de excelso mallas } 18 : 15) \times 1,5} = \text{Rendimiento Europa}$

Fuente:Caicedo C.,N.M.; Chavez D.,W.G. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta trilladora de cafés especiales de exportación en el municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, 2004.

Rendimiento UGQ. Es el rendimiento que tiene este tipo de excelso en el proceso industrial de trilla y se calcula según la siguiente relación:

Cuadro 11. Rendimiento café UGQ

$\frac{250 \times 70}{(\text{peso de excelso mallas } 18 : 14) \times 1,5} = \text{Rendimiento UGQ}$
--

Fuente:Caicedo C.,N.M.; Chavez D.,W.G. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta trilladora de cafés especiales de exportación en el municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, 2004.

Se hacen los respectivos análisis y se toman las decisiones adecuadas para las negociaciones tanto de cafés excelsos como de subproductos.

4.2.2 Análisis sensorial. Según El manual de catación del programa de cafés especiales de Colombia, SCAA, Coffee Quality Institute, ACIDI-VOCA, USAID. Enero 2004, el análisis sensorial se debe desarrollar siguiendo el siguiente contexto.

Catar el café es sin duda la mejor forma de valorar su calidad. La existencia de tantas variedades y calidades y además cambiantes de cosecha a cosecha, obligan siempre a una verificación previa si se quiere corroborar la constancia de un patrón predeterminado. La mejor manera de examinar las características de un café, es catarlo, es decir, probar su infusión. La cata evidencia una gran variedad de características del café, imposibles de detectar analizando los granos de café, sean verdes o tostados.

Para examinar un café existen cuatro ópticas principales:

4.2.2.1 Apreciaciones visuales. Los colores son la característica más determinante. Puede ir desde un marrón claro hasta casi el negro, dependiendo de la caramelización de los azúcares del café durante la operación de tuestión. Cuanto más tostado, más oscuro. El color puede ser limpio,

claro, luminoso, o por el contrario, mate o apagado. Por otra parte el aspecto de la infusión, se puede presentar nítida o turbia debido a partículas insolubles en suspensión. Puede ser densa o débil. Cada variedad de café, en su grado adecuado de tosti3n, tiene unas características espec3ficas de color o aspecto que no siempre son determinantes de su calidad, pero s3 sirven para identificarla.

4.2.2.2 Caracter3sticas olfativas. Con las fosas nasales se capta las emanaciones de la bebida, siendo el aroma uno de los condicionantes del gusto. Una persona experta puede llegar a diferenciar hasta 4.000 olores distintos, facultad que se adquiere a trav3s de una pr3ctica inteligente, y que se reduce considerablemente en el caso de los fumadores o pasajeramente por causa de enfermedades gripales o similares. Existen muchas clasificaciones de las caracter3sticas olfativas, dentro de las cuales encontramos:

- ✓ Las que constituyen su fragancia. Proviene principalmente de la variedad de la planta, de la tierra en que se haya cultivado y de su beneficio. Las fragancias del caf3 pueden ser florales, afrutadas, vegetales y herb3ceas.
- ✓ Las que dan origen al aroma. Nacen habitualmente durante el proceso de tosti3n del caf3, momento durante el cual el grano verde se transforma totalmente, apareciendo m3s de 800 componentes arom3ticos distintos. Los aromas del caf3 se pueden clasificar en frutos secos, acaramelados, achocolatados, jarabes y cereales.
- ✓ Compuestos derivados de la destilaci3n. Son percibidos en el retrogusto, sensaci3n que permanece en la boca despu3s de probar la infusi3n, y se los puede clasificar en terpenos (trementina, achicoria, or3gano, entre otros), especies (nuez moscada, pimienta, entre otros) y carbonos (humo, brea, tabaco, entre otros).

Percibimos los aromas con grados distintos de intensidad y cada una de las caracter3sticas citadas anteriormente pueden ser captadas de forma fuerte o débil, intensa o evanescente, franca o alterada, neta o imprecisa.

4.2.2.3 Caracter3sticas gustativas. El sabor es una sensaci3n global, suma de cuatro factores b3sicos: dulce, salado, 3cido y amargo. En mayor o menor medida, se encuentran estos cuatro

factores en todos los cafés, y son producidos por los siguientes componentes:

- ✓ Dulce: Proteínas y carbohidratos.
- ✓ Salado: Potasio, fósforo, calcio.
- ✓ Ácido: Clorogénico, cítrico, tartárico, málico.
- ✓ Amargo: cafeína, fenoles, trigonelina.

Los sabores no se perciben inicialmente a la vez; los primeros en aparecer, de forma instantánea, son los dulces, les sigue los salados y ácidos, y a los 10 segundos llegan los componentes amargos. Se debe llamar la atención sobre el hecho de que la acidez es una cualidad positiva en el café, es la expresión de su viveza. Sin ella un café aparece plano y con poca personalidad.

La sensación de sabor del café es una combinación de los factores citados, que los catadores profesionales han subdividido en seis sabores primarios:

- ✓ Acidoso: Kenia AA, Colombias.
- ✓ Meloso: Papúa A, Hawai Kona.
- ✓ Vinoso: Arábicas no lavados.
- ✓ Blando: Centroamericanos lavados, de baja altitud.
- ✓ Mordaz: Robustas.
- ✓ Agriados: Brasil Minas.

4.2.2.4 Características táctiles. El cuerpo es un aspecto fundamental para valorar una taza de Café, que no se debe confundir con la sensación de fortaleza del gusto. El cuerpo es una sensación táctil causada por la densidad de la bebida y por los elementos en suspensión, esencialmente grasas y aceites. En función de su mayor o menor contenido de grasas en suspensión un café se lo puede calificar de grueso o aceitoso, liso, y delgado o acuoso.

4.2.2.5 La Catación. El procedimiento de la catación se compone de las siguientes partes:

- ✓ Buscar defectos y fallas.
- ✓ Buscar sabores agradables.
- ✓ Reconocer un sabor familiar.
- ✓ Evaluar su intensidad.

- ✓ Decidir si el café es malo, regular, promedio, bueno, muy bueno o sobresaliente.
- ✓ Anotar los resultados.

En el lugar donde se realiza el proceso de catación, se debe tener en cuenta la limpieza, el orden, la uniformidad y la consistencia. Es indispensable utilizar los procedimientos de los compradores, manteniendo los requerimientos y medidas año tras año:

- ✓ La proporción de café a agua.
- ✓ Tamaño de la taza.
- ✓ Grado de la molienda.
- ✓ Temperatura del agua.
- ✓ Color del tueste.
- ✓ Intensidad de la luz en el laboratorio.
- ✓ Pureza del aire ambiental.
- ✓ Tamaño de la cuchara de la catación.
- ✓ Tiempo para tostar las muestras.
- ✓ Documentación de los resultados.
- ✓ Almacenamiento de las muestras.

Metodología. Consiste en preparar el café por medio de una serie de pasos que brindan la oportunidad de realizar una evaluación de olor, sabor y degustación.

Preparación de las muestras. El método de preparación es por medio de una infusión. El agua casi hirviendo se vierte sobre el café molido colocado en una taza. Las partículas de café se elevan a la superficie en un principio, hasta formar una capa o costra. A medida que las partículas de café absorben agua y se saturan, comienzan a caer al fondo de la taza.

El proceso de infusión continúa de tres a cinco minutos. A continuación se "rompe" la costra y se remueve el café con una cuchara con el fin de asegurar que todas las partículas hagan contacto con el agua y se hundan al fondo de la taza. Aquellas partículas que no se hundan al fondo son extraídas con la cuchara y se descartan. Con esta metodología, no se usa filtración para no inferir con la extracción natural del sabor del café.

La relación agua-café en cada muestra se debe mantener constante, casi siempre con 12 gramos de café por 250

mililitros de agua (aproximadamente 8 onzas). Esto mantiene el sabor del café entre 1.1% y 1.3% de sólidos solubles. Es el equivalente a usar 3.5 onzas de café por 64 onzas de agua, o utilizar 1 libra de café con 2.25 galones de agua. El café utilizado en este sistema de infusión debe ser molido a un grano fino, (70% a 75% de las partículas pasan por la criba 20) lo cual brinda un nivel de extracción de entre 18 y 22% aproximadamente.

Debido a que una taza de café es 99% agua, la calidad del agua debe tener mucha importancia. El agua debe contener entre 100 y 200 ppm de materia disuelta, el mismo nivel de dureza del agua embotellada. No se debe utilizar agua destilada. Además, se debe evitar todos aquellos químicos que hayan sido añadidos por tratamiento de aguas, particularmente el cloro. Se debe repetir la catación varias veces al enfriar la bebida, para anotar y evaluar el sabor, defectos, sabor residual con los cambios de temperatura, puesto que así se logra tener una impresión global mejor y más exacta de la muestra.

Es aconsejable comparar por lo menos dos muestras de café o si se facilita realizarlo con el mayor número de muestras posibles al mismo tiempo. Este análisis comparativo no sólo ayuda a encontrar las diferencias leves de sabor entre algunos cafés y también permite al catador desarrollar una memoria de sabor para futuras evaluaciones.

Cuando se evalúan varias muestras, el catador generalmente escupe el café en un recipiente. Esto le permite mantener el paladar limpio, lo cual acompañado por pequeños sorbos de agua tibia es la mejor técnica para pasar de una muestra a otra. Cada catador define cual debe ser su límite de muestras evaluadas en una misma sesión para mantener sus sentidos con la máxima capacidad perceptiva.

Se debe hacer claridad en lo que refiere a la concentración del catador, ya que es un factor muy importante para poder determinar los sabores y olores del café.

Por este motivo se recomienda que el lugar de catación sea aislado y libre de distracciones. Cada muestra evaluada debe llevar sus apuntes por escrito.

Antes de catar el café, hay que tener en cuenta que los siguientes factores pueden impedir la habilidad de detectar sabores:

- ✓ Comida residual en la boca.
- ✓ Pasta dental al haberse cepillado los dientes.
- ✓ Fumar cigarrillo.
- ✓ Tomar alcohol.
- ✓ Un Catarro.

Sensaciones primarias del sabor del café. Por medio de un proceso llamado modulación del sabor, las sensaciones básicas de sabor interactúan entre ellas, dependiendo de la intensidad relativa de cada una. En la degustación del café, existen seis combinaciones posibles:

- ✓ Los ácidos incrementan la dulzura de los azúcares.
- ✓ Las sales aumentan la dulzura de los azúcares.
- ✓ Los azúcares reducen el sabor agrio de los ácidos.
- ✓ Los azúcares reducen lo salado de las sales.
- ✓ Los ácidos incrementan lo salado de las sales.
- ✓ Las sales reducen lo agrio de los ácidos.

Áreas de evaluación sensorial. Las acciones físicas involucradas en el proceso de evaluación, es decir oler, sorber y tragar, deben ser exageradas si se comparan a la manera cotidiana en que se las realiza al comer y beber. La razón de esta exageración es para saturar la boca con la mayor cantidad de café en cada acción y poder así obtener una sensación completa del sabor. La catación de café consiste de seis etapas, las cuales evalúan la fragancia del café, su aroma, sabor, sensación y cuerpo.

- ✓ Fragancia. La fragancia del café es lo primero que se evalúa. Se muele una muestra de 12 gramos para preparar de 3 a 5 tazas y después se huele cada taza con el café seco molido. El carácter de la fragancia indica la naturaleza del sabor.

Esencias dulces llevan a sabores ácidos, y esencias fuertes llevan a sabores marcados. La intensidad de la fragancia revela la frescura de la muestra, es decir del tiempo cuando se tostó la muestra hasta cuando se molió. La fragancia contiene componentes aromáticos más volátiles, particularmente aquellos que contienen azufre;

muy poco es lo que se puede hacer para mantenerlos en el café por largos periodos de tiempo.

- ✓ Aroma. El aroma es el segundo paso de la evaluación. Primero se debe verter en agua casi hirviendo sobre el café recién molido, y se deja reposar aproximadamente tres minutos. Las partículas de café formarán una capa o costra en la superficie de la bebida. Cuando esta capa se rompe con la cuchara, los gases que se formaron como resultado de la elevada temperatura del agua, se deben absorber vigorosamente por la nariz. Esta acción permite detectar el amplio rango del carácter aromático de la muestra, que va de frutoso, a herbal o a nuez. La experiencia hace que los catadores puedan clasificar cada café por sus patrones de olor característico y los guardan en su memoria, para así distinguir un café de otro. En general el rango del carácter aromático de los cafés depende de su origen. Al contrario, la intensidad del aroma depende de la frescura del café es decir, el tiempo entre el tueste y la preparación de la muestra, el almacenaje, la humedad y la protección contra el oxígeno.

- ✓ Acidez. La acidez en el café permite percibir todas las demás características, pero también es cierto que puede volverlo desagradable. Se percibe esa brillantez en la parte inferior de los lados de la lengua y hasta un cosquilleo en la punta de la misma. Existe también una acidez mas baja denominada "aciruelada"; otra tipo vinagre, la cual es agria y negativa en un café. Al calificarse, la brillantez en la taza es un factor muy importante para los compradores. Los tostadores han determinado que entre más alta la acidez, el sabor del café permanece más en el café verde. Entonces cuando los cafés de baja acidez se van tornando planos, los cafés que provienen de árboles de alta acidez son los que se destacan y se catalogan como los verdaderos cafés especiales.

La acidez va acompañada del sabor; entre mas acidez tenga el café, mas intenso tiene que ser el sabor, por lo tanto debe existir un balance entre acidez y sabor. En algunas regiones la baja acidez es característica y ayuda a que emerjan los sabores sutiles; esto es normal para los cafés naturales o cafés no lavados y otros cafés como los maravillosos Yemen y Etiopía; para los cafés de América

latina la acidez es fundamental.

- ✓ Sabor. Saborear el café preparado es la cuarta etapa de la evaluación. Utilizando una cuchara especial de catación, generalmente de plata (para disipar el calor), redonda y profunda (para captar suficiente líquido), se toma una muestra de café y se hace un sorbido fuerte. Al recibir el líquido en la boca de esta manera, se asegura la entrada de oxígeno al paladar como un rocío general en todas partes de la boca y lengua, la cual ayudará a la percepción de las cuatro sensaciones básicas y la interacción entre ellas, obteniendo como resultado una completa modulación del sabor. Teniendo en cuenta que la temperatura afecta la forma de cómo se percibe el estímulo, la catación debe hacerse a varias temperaturas, y así se revela mejor el carácter del café.
- ✓ Evaluación olfativa. Aspirar el café permite que se airee, causando que una porción del líquido se gasifique debido al cambio de presión del vapor. El sorber con fuerza lleva estos gases a la cavidad nasal, lo cual permite al catador analizar la esencia de la taza de café. Este análisis simultáneo del sabor y esencia de vapores le da a la muestra de café su sabor particular. En cafés estándar tostados, las características de sabor son similares a las de los subproductos de azúcar quemada. En cafés tostados muy oscuros, se presentan características similares a los subproductos de la destilación en seco.
- ✓ Sabor residual. Para lograr su evaluación, es necesario tragar una pequeña porción del líquido después de haber estado en la boca por algunos segundos. Al tragar se debe hacer una acción de bombeo (empujar) con la laringe, para que los vapores regresen al paladar y a la cavidad nasal.

Las moléculas de olor más pesadas pueden ser entonces percibidas y evaluadas junto con el sabor del café. Los componentes de sabor encontrados en la sensación pueden ser dulces, similares al chocolate. También pueden ser semejantes a una fogata o el humo de pipa de tabaco. También puede asemejarse al olor de una especie, savia de pino o cualquier combinación entre ellos.

- ✓ El cuerpo. Se lo determina por la densidad o peso de la bebida en la boca. Para lograr evaluar el cuerpo, la

bebida se bebe pasear por la boca y con la lengua subirla hasta tocar el paladar. Una sensación resbaladiza indica la cantidad de grasa, mientras que el espesor indica fibra y proteína.

Formulario internacional de catación. El sistema para asignar el puntaje está basado en una escala, en donde los cafés especiales reciben un puntaje superior a 8.0. Dichos puntajes pueden describirse de la siguiente manera:

Cuadro 12. Sistema de calificación para cafés especiales

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

Puntaje	Característica
9.0-10.0	Sobresaliente, excepcional, los mejores cafés del mundo
8.0-8.9	Muy bueno, buen sabor, acidez y balance
7.0-7.9	Café clasificado como café comercial, grado para intercambiar en el mercado internacional, taza limpia, calidad media
6.0-6.9	Café de más bajo nivel que el café comercial, mala calidad, y con poco dulce y acidez
6.0	Café que tiene defecto, con mal sabor, puede ser un sabor como a saco, o amargo o sobrefermentado

Fuente: Sistema desarrollado por el Comité de Estándares Técnicos de la SCAA

Protocolo para catar.

a. Equipo necesario.

Cuadro 13. Equipo necesario para catación

EQUIPO NECESARIO

Preparación de tostado	Ambiente	Preparación para catar
Muestra de tostado	Buena iluminación	Balanza
Agtron u otro dispositivo para leer el color	Limpio, sin ningún otro aroma que interfiera	
Molino	Mesas de catación	Cucharas para catar
	Tranquilo	calentador de agua
	Temperatura confortable	Formularios y otros documentos
	Sin distracciones como teléfonos, etc.	

Fuente: SCAA, Science and Technology, Specialty Coffee Assn. of America.

b. Preparación de las muestras.

Tostión. La muestra debe ser tostada unas 24 horas antes de la catación y debe dejarse reposar por lo menos 8 horas; el grado de torrefacción debe ser de ligero a ligero/medio, medio; el tueste debe efectuarse en no menos de 8 minutos y no mas de 12 minutos, el café tostado no debe tener puntas oscuras o estar horneado; la muestra debe ser inmediatamente enfriada por aire (no se debe usar agua); cuando alcance la temperatura ambiente las muestras deben almacenarse en contenedores al vacío en bolsas impermeables hasta que sean catadas; las muestras deben ser almacenadas en un lugar fresco y oscuro, pero no refrigerado ni congelado.

Determinación de la medida. La relación óptima café/agua es de 8.25 gramos de café tostado y molido por 150 ml de agua, la cual corresponde al punto medio de las recetas de balance óptimo para la taza de oro; el volumen de agua se determina en un vaso de catación seleccionado y se ajusta el peso del café para este rango, dentro de +/- 0.25 gramos.

Preparación de la catación. La muestra debe ser molida inmediatamente antes de ser catada, no más de 15 minutos antes de ser mezclada con el agua; las muestras deben ser pesadas con los granos enteros para predeterminar el rango para el volumen líquido apropiado de la taza.

La granulometría del café tostado y molido debe ser un poco mas gruesa que el tamaño de molido típico para cafetera de filtro, para que un 70 a 75% de las partículas puedan pasar a través de un tamiz 20. Al menos 5 tazas de cada muestra se deben preparar para evaluar la uniformidad de la muestra; el molino debe ser purgado para moler el resto de la muestra individualmente y se coloca en su respectiva taza, asegurando que cada taza represente una cantidad entera y consistente de la muestra. La taza debe taparse inmediatamente después de ser molida.

Adición del agua. El agua debe estar limpia y sin olores, pero no destilada ni suavizada. Lo ideal de sólidos disueltos totales es de 125-175 ppm, pero no debe ser menos de 100 ppm o más de 250 ppm. El agua debe estar fresca y estar a la temperatura de aproximadamente 93 grados centígrados cuando se la vierta al café molido. El agua caliente debe ser vertida directamente al café molido en la taza hasta el

borde, asegurando mojar todo el café molido, permitiendo que toda la muestra se remoje en una forma uniforme de 3 a 5 minutos. Con una cuchara se retiran los granos de café que quedan en la superficie de la taza antes de proceder a la catación.

c. Evaluación de la muestra. Las calidades de los atributos específicos del sabor son analizadas y luego relacionadas con la experiencia previa del catador, las muestras son evaluadas en una escala numérica. Esta metodología para la catación permite registrar hasta 11 atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, defectos y total. Los atributos específicos del sabor son calificaciones positivas de calidad determinadas por la opinión del catador, mientras que los defectos son calificaciones negativas que representan sensaciones no agradables; el resultado final esta basado en la experiencia con el sabor, como apreciación personal del catador. Estos atributos son evaluados en una escala de 16 puntos representando el nivel de calidad en una tabla entre 6 y 9 puntos.

Cuadro 14. Escala de calidad

ESCALA DE CALIDAD	
Puntaje	Característica
9,75	
9,50	Extraordinario
9,25	
9,00	
8,75	
8,50	Excelente
8,25	
8,00	
7,75	
7,50	Muy bueno
7,25	
7,00	
6,75	
6,50	Bueno
6,25	
6,00	

Fuente: SCAA

Técnicamente la escala parte de un valor mínimo de 0 a un valor máximo de 10 puntos. La parte baja de la escala representa los cafés comerciales, los cuales se catan principalmente para la evaluación de los defectos y las intensidades.

d. Procedimiento de la evaluación. Las muestras deben ser primero inspeccionadas visualmente para establecer el color del tostado, que a su vez se lo utiliza como una referencia durante la calificación de los atributos específicos del sabor. Luego se procede a evaluar cada uno de los atributos individuales de la siguiente manera:

Fragancia/aroma. Los aspectos aromáticos incluyen la fragancia (definida como el olor del café de la muestra molida cuando todavía esta seca) y el aroma (el olor del café mezclado con agua caliente). Se puede evaluar en tres pasos: 1. Oler la muestra puesta en la taza antes de ser mezclada con agua vertida al café; 2. Oler los aromas mientras se rompe la espuma; y 3. Oler los aromas liberados por el café al ser remojado. Los aromas específicos se pueden anotar bajo el concepto de las calidades y la intensidad de la muestra seca, la espuma y los aspectos de aroma húmedo son anotados en la escala vertical de 5 puntos. La evaluación dada al final debe reflejar la preferencia de los dos aspectos de fragancia/aroma de la muestra.

Sabor. El sabor representa la característica principal del café. Es una impresión combinada de todas las sensaciones gustativas y aromas retror nasales que van de la boca a la nariz. El puntaje dado al sabor debe justificar la intensidad, la calidad y la complejidad de su sabor y el aroma combinados, que se experimenta cuando el café es sorbido con ruido en la boca para implicar vigorosamente el paladar entero en la evaluación.

Sabor residual. Se define como la duración de las calidades positivas del sabor (sabor y aroma) que se perciben en la parte posterior del paladar y se quedan después de que el café se expectore o sea tragado. Si el sabor residual fuera corto o desagradable, se dará un valor mas bajo.

Acidez. Se describe como brillantez, cuando es favorable o agria, cuando es desfavorable. En su mejor forma, la acidez contribuye a una vivacidad del café, al dulzor y al carácter

de fruta fresca y es experimentada y evaluada inmediatamente cuando el café es sorbido en la boca. La acidez que es excesivamente intensa o dominante puede ser desagradable, sin embargo, la acidez excesiva no puede ser apropiada al perfil del sabor de la muestra.

Cuerpo. Se basa en la sensación táctil del líquido en la boca, especialmente como se percibe entre la lengua y el paladar superior de la boca. La mayoría de las muestras con cuerpo pesado pueden recibir un puntaje alto en términos de calidad debido a la presencia de coloides (de infusión). Sin embargo, algunas muestras con el cuerpo más ligero pueden tener también una sensación agradable en la boca.

Balance o equilibrio. Como todos los diferentes aspectos del sabor: sabor, sabor residual, acidez y cuerpo de la muestra trabajan juntos y se complementan, o se contrastan uno al otro, lo resultante es el balance. Si la muestra no tiene ciertos atributos de aroma o sabor o si algunos atributos se opacan, el puntaje del balance se reduciría.

El dulzor. Se refiere a una plenitud agradable del sabor así como algún dulzor obvio o su percepción es el resultado de la presencia de ciertos carbohidratos. Lo contrario del dulzor en este contexto es el agrio, astringencia o los sabores verdes. Esta cualidad no se puede percibir directamente en productos cargados de sacarosa tal como refrescos, pero afecta otros atributos del sabor. Se dan 2 puntos a cada taza que presente este atributo para una cuenta máxima de 10 puntos.

Taza limpia. Se refiere a una falta de impresiones negativas de la primera ingestión hasta el sabor residual, una transparencia en la taza. Al evaluar este atributo, se debe prestar atención a la experiencia total del sabor del tiempo de la ingestión inicial al tragar o la expectoración final. Cualquier sabor o aroma sin características típicas del café descalifica una taza individual.

La uniformidad. La uniformidad se refiere a la consistencia del sabor de las tazas de la muestra probada. Si las tazas saben diferente, la calificación de este aspecto no será alta. Se dan 2 puntos para cada taza que presenta este atributo, con un máximo de 10 puntos si todas las tazas son iguales.

Puntaje catador. El aspecto total del puntaje se da para reflejar la calificación integrada de la muestra como es percibida por el panelista individual. Una muestra con muchos aspectos sumamente agradables, pero que no llegue exactamente a la medida recibiría una evaluación mas baja. Un café que cumple con las cualidades en cuanto a su carácter y la calidad particular del sabor de su origen, recibiría un puntaje alto.

Un ejemplo fuerte de características preferidas no completamente reflejadas en el puntaje individual de los atributos, quizás reciba una cuenta más alta. Este es el paso donde los panelistas hacen su evaluación personal.

Los defectos. Los defectos son los sabores negativos o malos que bajan la calidad del café. Estos se clasifican de dos maneras. Un defecto ligero es un des-sabor que es notable, pero no choca, encontrado generalmente en los aspectos aromáticos. Al defecto ligero se le da un 2 en la intensidad. Un defecto es un des-sabor, encontrado generalmente en los aspectos del sabor, que choca o deja la muestra no tomable y se le da un 4 en la escala de la intensidad. El defecto se debe a clasificar primero como un defecto ligero o como un defecto.

El rechazo es un defecto más grave que puede ser descrito como agrio, fermentado, fenólico, entre otros. El número de tazas en que se encuentra el defecto es entonces notado y la intensidad del defecto se registra como un 2 ó 4. El puntaje de la intensidad del defecto se multiplica por el número de tazas que lo presentaron y este valor es restado del puntaje total según las instrucciones en el formato de catación.

Puntaje final. El puntaje final es calculado primero sumando los puntajes individuales dados para cada uno de los atributos primarios.

Los defectos entonces se restan de la cuenta total para llegar a la cuenta final. El puntaje final que se obtiene define significativamente la calidad, la cual está se referencia en la siguiente tabla:

Cuadro 15. Descripción del puntaje final

Puntaje total	Descripción de la especialidad	Clasificación
95 - 100	Ejemplar	Especialidad súper premio
90 - 94	Extraordinario	Premio a la especialidad
85 - 89	Excelente	Especialidad
80 - 84	Muy bueno	Premio
75 - 79	Bueno	Calidad usual buena
70 - 74	Pasable	Calidad media
60 - 70		Grado de cambio
50 - 60		Comercial
40 - 50		Abajo del grado
<40		Fuera del Grado

Fuente: SCAA, Science and Technology, Specialty Coffee Assn. of America.

Actualmente, el análisis sensorial es una herramienta imprescindible para evaluar y analizar la calidad del café y sus productos. Específicamente, el análisis sensorial descriptivo es cada vez más aplicado tanto a nivel de investigación como de control de calidad del producto. Esta calidad incide directamente en la reacción de compra y demanda del consumidor; de allí la importancia tecnológica y económica de contar con un buen análisis descriptivo ya que en última instancia este puede condicionar el éxito o el fracaso del mercado del grano y de sus productos derivados.

Es importante destacar que el contar con un lenguaje común, además de aumentar la facilidad y rapidez del análisis sensorial descriptivo del café, aumenta la reproducibilidad de los resultados obtenidos por diferentes catadores. Es por ello que se han creado normas que brindan las definiciones más comúnmente utilizadas en el análisis sensorial del café. Estas normas son:

- ✓ NTC 3314:1992, Café y sus productos. Vocabulario. Términos y definiciones.
- ✓ NTC 3501:1993, Análisis sensorial. Vocabulario. Términos y definiciones.
- ✓ NTC 2758: 2002, Análisis sensorial. Vocabulario.

4.3 Aceites esenciales. Según Obando B., N.I.; Narváez A., F.G., en su estudio de factibilidad para el montaje de una planta de extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de Limonaria, 2004, los aceites esenciales, su clasificación y métodos de extracción, se refieren de la siguiente manera.

Los aceites esenciales son sustancias líquidas, aromáticas y volátiles situadas en cualquier parte del vegetal, (cavidades, células, pelos o canales secretores). Los aceites esenciales pueden considerarse como metabolitos secundarios no imprescindibles para las funciones vitales en la planta, químicamente consisten en mezclas de pequeñas moléculas orgánicas, de ahí su volatilidad del grupo de terpenoides cuya molécula unitaria con cinco moléculas de carbono es el isopreno; solo se unen dos, tres o raramente más moléculas, pero al poder estar modificadas en sus funciones químicamente las combinaciones son numerosas.

Un aceite esencial suele poseer de diez a quince componentes principales y otros tantos muy escasos denominados trazas. Los aceites esenciales pueden además estar conformados por un grupo heterogéneo de sustancias orgánicas (alcoholes, aldehídos, ésteres, cetonas, etc.).

Las esencias pueden ser producidas por tejidos secretorios, mientras que en otros casos se encuentran como enlace glucosídico en el interior de la planta. Los aceites esenciales son fracciones líquidas volátiles generalmente destilables por arrastre con vapor de agua que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética, industria de alimentos e industria farmacéutica.

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de cien compuestos que pueden ser, compuestos alifáticos de bajo peso molecular como alcanos, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos, monoterpénos, sesquiterpénos y fenilpropanos. En su gran mayoría son de olor agradable aunque existen unos de olor relativamente desagradable los cuales contienen compuestos azufrados

4.3.1 Clasificación de los aceites esenciales. Se conocen más de 200 aceites esenciales para los cuales se han identificado más de 300 compuestos químicos de ahí que éstos se han clasificado de acuerdo a diferentes criterios, consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

De acuerdo a su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas; las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente. Los bálsamos son de consistencia más espesa, son

poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, por otra parte las oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas. De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticos. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosos. Los artificiales se obtienen a través del enriquecimiento de la misma esencia o con uno o varios de sus componentes. Los aceites esenciales sintéticos son los producidos por la combinación de sus componentes, los cuales son la mayoría de las veces por procesos de síntesis química.

Desde el punto de vista químico y a pesar de su composición compleja los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de sustancia predominante o componente mayoritario, es así como los aceites esenciales ricos en monoterpenos se denominan aceites esenciales monoterpenoides, los ricos en sesquiterpenos son llamados aceites esenciales sesquiterpenoides y aquellos ricos en fenilpropanos se denominan aceites esenciales fenilpropanoides.

4.3.2 Métodos de obtención de aceites esenciales. Los principales métodos extractivos empleados a escala industrial para las esencias más comunes se basan en el arrastre contenido en las plantas con vapor de agua. Existen otros métodos que si bien en lo referente a la calidad del producto son excelentes, sus costos operativos y de inversión son elevados y no se justifica su aplicación para la gran mayoría de los aceites esenciales.

La clasificación de los procesos disponibles para la extracción de los aceites esenciales se menciona a continuación.

La expresión, es un método de obtener aceites esenciales de plantas o partes de plantas aplicando presión, empleada para liberar el aceite, ser recolectado y filtrado, su uso es frecuente en la extracción de aceites esenciales e frutos.

El método de enflorado o enfleurage, es una técnica empleada en flores. El material se pone en contacto con un aceite vegetal, la esencia se solubiliza en éste, actuando como vehículo extractor, se obtiene inicialmente una mezcla de

aceite esencial y aceite vegetal la cual se separa posteriormente por métodos fisicoquímicos.

La hidrodestilación, se basa en la extracción de una sustancia mediante vapor generado dentro del equipo; el material a procesar no esta en contacto directo con el agua. Esta característica permite diferenciar este proceso con la cohovación en el cual el material a extraer está sumergido en agua.

En la extracción por arrastre de vapor, el vehículo extractor (vapor) es producido en un generador e inyectado en el equipo por medio de distribuidores.

Para la extracción de aceites esenciales por disolución en un solvente, es necesario el empleo de equipos especializados al igual que el empleo de un solvente adecuado el cual es separado del aceite esencial por destilación generalmente a presión reducida, el material a extraer debe estar seco y molido, al estar en contacto con el solvente se logra solubilizar la esencia al igual que otras sustancias como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura siendo de menor calidad, por tal motivo su empleo se limita a escala de laboratorio, además de los riesgos de explosión e incendio de muchos solventes orgánicos volátiles.

La extracción supercrítica es similar al caso anterior con la diferencia de que en este método se da la utilización de un gas en condiciones especiales de presión y temperatura llamadas condiciones supercríticas. Este es el método de desarrollo mas reciente, las esencias son así solubilizadas y arrastradas, el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor es eliminado por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente obteniendo de esta manera una esencia pura. Aunque presenta varias ventajas como altos rendimientos, compatibilidad ecológica, facilidad en la eliminación y/o reciclaje del solvente, empleo de temperaturas relativamente bajas que no alteran químicamente los componentes de la esencia, su empleo no ha sido plenamente difundido al requerir equipos relativamente costosos con bombas de alta presión y sistemas capaces de soportar su funcionamiento.

4.3.3 Extracción de aceites esenciales por arrastre con vapor. La extracción de aceite esencial por arrastre con

vapor es una técnica ampliamente difundida en la industria, debido a que muestra ventajas sobre las demás técnicas de extracción, entre estas se encuentra el bajo capital necesario para adquirir los equipos y accesorios siendo estos móviles y versátiles en cuanto a fuentes de energía, prácticamente son procesos simples y flexibles que permiten trabajar con volúmenes grandes en cada lote incluso sin tratamiento previo, sin embargo pueden existir ciertas desventajas con respecto a la calidad del producto ya que este puede sufrir cambios químicos indeseables como oxidación, hidrólisis y oligomerización por degradación térmica.

Las características típicas de una instalación de obtención de aceites esenciales por arrastre con vapor pueden describirse a continuación de la siguiente manera.

Extractor. Consiste en un recipiente con tapa donde en su interior se coloca el material a extraer. Este se puede acomodar dentro de un canasto o bien utilizar un fondo removible para retirar el material agotado. En la parte inferior se ingresa el vapor de agua necesario para la extracción de los aceites esenciales.

Condensador. Es un equipo que tiene como función condensar el vapor de agua mas los vapores de aceite arrastrados. Se recomienda utilizar aquellos condensadores de cascos y tubos, donde por el interior de los tubos circula el agua de refrigeración y por la camisa el vapor a condensar.

Separador-decantador primario. Es un componente que tiene como función separar las gotas de aceite extraído del agua condensada. Por diferencia de densidad, las gotas de aceite sobrenadan en el agua, y pueden separarse fácilmente. Una variable importante de diseño del separador es el tiempo de residencia de las fases para lograr una buena decantación.

Decantador final. Es un equipo que tiene como función final coleccionar todo el aceite extraído en el proceso, dejándolo reposar por un tiempo determinado. Toda el agua decantada quedará en el fondo del decantador final, siendo fácilmente retirado del mismo.

Los equipos de extracción de aceites esenciales pueden clasificarse según la forma de generar el vapor, de esta

manera, los extractores de aceite esencial pueden llamarse convencionales cuando el vapor necesario para realizar la extracción es obtenido a partir de una caldera o generador de vapor externo al extractor propiamente dicho; los extractores integrales son aquellos equipos en los cuales el vapor de extracción es generado en el mismo cuerpo del extractor.

4.3.4 Análisis de aceites esenciales. Para evaluar la calidad de los aceites esenciales al igual que para detectar ciertas adulteraciones es necesario recurrir a pruebas específicas, las cuales, se encuentran estandarizadas por organizaciones como la Internacional Standard Organization (ISO), European Pharmacopoeia, British Pharmacopoeia, Essential Oils Association, French AFNOR Estándard.

Análisis físico. Se establecen con el fin de caracterizar al aceite desde el punto de vista físico, referente a las constantes como índice de refracción, gravedad específica, rotación óptica, rotación específica, solubilidad en alcohol etílico, punto de congelación, residuo no volátil, intervalo de ebullición.

Análisis químico. Las pruebas que encierra este tipo de análisis incluyen métodos para determinar el valor ácido, número o índice de ester después de la acetilación (con el fin de determinar el contenido de alcoholes libres), contenido de fenoles, índice de carboxilo (para determinar los aldehídos y cetonas totales).

Análisis sensorial. Debido a que los análisis fisicoquímicos no son capaces de dar una idea básica de la calidad de los aceites es necesario recurrir a pruebas sensoriales después de unas semanas de extracción donde las características del aceite están en su plenitud.

4.3.5 Usos de los aceites esenciales. Los aceites esenciales son muy utilizados dentro de la industria de alimento y perfumería empleándolos ya sean puros, como parte de una mezcla particular o como base para la producción de un componente específico.

Según Guenther, existen un sin número de probabilidades del uso de estos productos, entre ellos se encuentra el empleo en la industria de adhesivos, como gomas, papel, cintas industriales, cementos porcelanizados, etc. En la industria de productos horneados como bizcochos, pasteles, galletas, tortas, pudines, etc. En la industria de alimentación animal, en insecticidas, en la industria farmacéutica, en la industria textilera, en la industria de aseo y limpieza para la formulación de jabones, limpiadores, desinfectantes, cremas para brillo, odorizantes y ambientadores.⁶

4.4 Aceite de café

Es un producto obtenido a partir del café tostado, el cual posee una alta cantidad de compuestos odoríferos, los cuales son producto de transformaciones y degradaciones químicas, logradas al someter el café verde a un proceso de tostado. Un criterio importante en la valoración de la calidad del café es su aroma, el aceite esencial presenta una alta carga volátil, encontrándose permanencia en sus características organolépticas.

Según los estudios de Innovación y desarrollo tecnológico de aceite esencial de café Colombiano del CIAL Univalle, se define también como un aceite fijo con una alta carga volátil, el cual se encuentra tanto en el grano verde como en el tostado. Es en la tosti3n donde los precursores de aroma presentes en el café verde (aproximadamente 228 compuestos identificados), se convierten en nuevos compuestos volátiles característicos del café tostado, dentro de los cuales se han identificado 15 componentes como importantes para el aroma, de un total de 800 estimados. Para obtener el máximo contenido de aceite, se recomienda una perdida en peso del 17% en la tosti3n del café. Por otro lado la composici3n química del aceite fijo es similar a la de muchos aceites vegetales comestibles. El contenido de aceite fijo oscila entre 12 y 18% en peso dependiendo de la variedad de café y de la técnica de extracci3n usada, de la cual depende además la calidad sensorial del aceite extraído. De las diferentes formas de extraer aceites esenciales, la que presenta mejores características de calidad en el producto final, es la extracci3n con fluidos supercríticos, calentando y

⁶ Guenther, Ernest. The essential oils. New Jersey: Lancaster press, 1960.

comprimiendo un gas o un líquido a un estado superior a su punto crítico. Esta tecnología es utilizada en la industria para descontaminar suelos, lavar máquinas y textiles, para fabricar polímeros, productos farmacéuticos, cosméticos, alimentos y aceites esenciales. Esta técnica se basa en 4 etapas básicas: extracción, expansión, separación y compresión del disolvente.

Según Hernán Calle, en su libro Subproductos del café, se han realizado numerosos trabajos sobre el aceite de café, porque este sería un renglón muy importante para industrializar la almendra, para aprovechar los ripios o residuos de la escogida y las borras de la tosti6n. En Cenicafé se encontr6 que la pulpa puede producir un 9% de aceite y cera, si se la descompone en fosas, se la muele, se seca hasta un 12% de humedad y se le extrae con hexano durante 4 horas en un soxhlet. En las almendras de distintas variedades se encuentran contenidos desde un 4 a un 17% de aceite.

La planta de grasas COGRA S.A, por solicitud de la Federaci6n de Cafeteros de Colombia, realiz6 un ensayo de extracci6n y refinaci6n del aceite en la planta industrial. De cafés de baja calidad, se obtuvieron de 70 a 150 kilos de aceite por tonelada de café. La refinaci6n es difícil por su alto contenido de insaponificables, pero estos pueden tener valor para la preparaci6n de hormonas sintéticas. El aceite bruto, tiene un color oscuro muy difícil de eliminar por los tratamientos corrientes. El instituto de investigaciones tecnológicas (IIT) de Bogotá, encontr6 que el mejor blanqueador es el peroxido de hidrógeno. La merma en refinaci6n es muy apreciable. Comparado con el de ajonjolí, 1.000 kilos de aceite bruto de ajonjolí dan 970 de neutro, 1.000 kilos de aceite crudo de café dan 600. Se han realizado diferentes métodos de extracci6n y refinaci6n, ensayados en Cenicafé.

“Extracci6n con alcohol de aceite de la almendra de café. Se utiliza alcohol etílico de 97%. El grano se calienta por 3 minutos hasta que toma el color característico de la tosti6n. Se somete a extracci6n por reflujo durante 7 horas en aparato soxhlet. El producto resultante es un aceite amarillo verdoso, con buen sabor, con un rendimiento del 5%”⁷.

⁷ Hernán Calle Velez, Subproductos del café. Cenicafé, 1.977. Pag. 46.

Obtención de cafeína y aceite de la almendra de café. Se tostó la almendra a una temperatura de 250°C durante 5 minutos, posteriormente se molió y se extrajo en soxhlet con éter de petróleo durante 2 ½ horas. El aceite obtenido se colocó en una nevera durante 2 horas, lo cual causó la cristalización y precipitación de la cafeína que se separó por simple filtración.⁸

Extracción de aceite de café de las Borrás. Solamente un 1% del aceite pasa a la bebida y la mayor parte queda en los residuos de extracción. En Cenicafé se utilizaron los desperdicios de fábricas de solubles, los cuales se secaron en estufa y se extrajo el aceite por reflujo con éter de petróleo, durante 1 ½ hora. El rendimiento fue de un 9 a 10% en promedio.⁹

Extracción de aceite de café de las Borrás, con lejías. Se hierven las borras en una lejía de soda cáustica al 18% durante 2 horas. Aproximadamente se emplea un litro de lejía para 500 cc de borras. Al enfriarse, sobrenada el aceite y se separa de la lejía en embudo de filtración.¹⁰

Según, Roselius; Wilhelm (Bremen St. Magnus, DE); Vitzthum; Otto (Bremen, DE); Hubert; Peter (Bremen-Lesum, DE). United States Patent: 4,328,255. Method of extracting coffee oil containing aroma constituents from roasted coffee. 1982, propone el siguiente método de extracción de aceite de café.

Método de extracción de aceite de café, conteniendo los constituyentes del aroma del café tostado, con CO₂ supercrítico.

Este método se ha descrito principalmente en lo referente al CO₂, porque es considerado como el medio preferido para la extracción de aceite de café.

El objetivo de este método concierne la extracción de aceite conteniendo los aromas constituyentes del café tostado, el cual se caracteriza en que el aceite está extraído con CO₂ supercrítico en la fase fluida, en un circuito cerrado, a presiones de por lo menos 80 atmósferas calibradas y a las temperaturas de alrededor 31.3 °C.

⁸ Hernán Calle Velez, Subproductos del café. Cenicafé, 1.977. Pag. 47.

⁹ Hernán Calle Velez, Subproductos del café. Cenicafé, 1.977. Pag. 47

¹⁰ Hernán Calle Velez, Subproductos del café. Cenicafé, 1.977. Pag. 48

Con este método es posible extraer el aceite arriba del 10%. Además, debido al poder de disolución generada por el aumento de la presión, no solo aceites sino también los antioxidantes se extraen, además de las sustancias aromáticas. Un factor decisivo a este método, es el hecho de que las sustancias aromáticas están siempre obtenidas junto con los antioxidantes. Consecuentemente los productos son almacenados desde el principio y no son sujetos a la descomposición. El contenido de aceite del extracto se puede ajustar según lo deseado variando la temperatura y presión o presión parcial de CO₂. Cierta proporción de aceite debería ser extraída siempre simultáneamente, porque el aceite es deseable como portador para el enlace adsorbente y para proteger los componentes de aroma volátiles contra la oxidación.

Es por lo tanto preferiblemente trabajar con el dióxido de carbono a presiones entre 200 y 400 atmósferas calibradas y en las temperaturas sobre 35 °C, para obtener una fracción del aceite de cerca de 10 a el 12% del peso del café.

Altas presiones sobre 350 atmósferas proporcionan además la ventaja de la polaridad y por lo tanto la selectividad de CO₂, de tal modo se modifica y se hace posible controlar la calidad de la composición del aroma. Variando la temperatura de la extracción, es además posible modificar el carácter del olor de los aceites. Así por ejemplo, el aroma varía de "liviano, suave" de 50 °C - 70 °C a "más pesado, denso" de 130 °C - 150 °C.

El CO₂ seco se puede utilizar solo o mezclado con otros gases inertes, en este caso será necesario trabajar sobre la temperatura crítica más alta que ocurre en la mezcla. Es también posible que los gases mencionados a continuación puedan ser utilizados solo como medios facilitadores de la extracción.

Estos gases pueden ser:

- ✓ Sulfuro hexafluoruro SF₆ (temperatura crítica 45.6 °C).
- ✓ Trifluorometano CHF₃ (temperatura crítica 33 °C).
- ✓ Monochlorodifluorometano CHF₂Cl (temperatura crítica 96 °C).
- ✓ Monochlorotrifluorometano CF₃Cl (temperatura crítica 28.8 °C).
- ✓ Perfluoropropano C₃F₈ (temperatura crítica 71.9 °C).

El CO₂ gaseoso tiene la capacidad de absorber los aceites con el incremento de la presión, así como también se caracteriza por tener un alto poder solvente con el aumento de la misma. Por lo tanto es extremadamente sorprendente que en este método, la capacidad de la fase supercrítica del CO₂, de absorber componentes de aroma, aceites de café y los antioxidantes, son considerablemente más grandes que el poder solvente del CO₂ líquido, de modo que con la licuefacción de la fase supercrítica es posible que los componentes absorbidos por él, puedan ser separados.

Leandro S. Oliveira; Adriana S. Franca; Juliana C.F. Mendonça; Mario C. Barros-Júnior. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Federal de Minas Gerais, Bello Horizonte, MG, Brasil. 2004, propone:

Composición aproximada y perfil de ácidos grasos de grano verde y grano defectuoso tostado, en la extracción de aceite de café brasileño.

Los granos de café defectuosos son los responsables de la depreciación de la calidad del café de Brasil. La extracción de aceite de granos defectuosos dirigidos a la aplicación en el sector alimentario y farmacéutico, esta empezando a considerarse como una alternativa de uso para estos granos.

La cantidad de ácidos grasos extraídos de los granos defectuosos fue pequeña en relación con la cantidad extraída con granos maduros sanos. La composición de los ácidos grasos del aceite de granos defectuosos, no tiene diferencia significativa con la cantidad extraída de granos maduros y sanos.

El uso del aceite de café en la industria alimentaria y farmacéutica se ha venido incrementando significativamente, prestándole atención a la extracción y el perfil químico del aceite de granos defectuosos. Sin embargo, los granos inmaduros o con un diferente grado de madurez, agrios y negros, estuvieron sujetos a fermentación microbiana. Por ello fue necesario el estudio de su fracción lipídica en el orden de verificar cualquier alteración en su composición química y adicionalmente el análisis de la posibilidad de emplearse en la industria alimentaria y farmacéutica.

La composición proximal de los dos tipos de grano de café, defectuoso y no defectuoso fue evaluada. No hay diferencias significativas en los niveles de proteína, después de la corrección de cafeína y nitrógeno trigonelina. Diferencias significativas fueron observadas para contenidos de ceniza de las muestras de café, con evaluaciones de fondo de los granos negros. Los granos de café no defectuosos presentan altos contenidos lipídicos. Después de la tostión, los contenidos de proteína y ceniza permanecieron aproximadamente constantes. También se observó que no hubo diferencias en la composición de los ácidos grasos para todas las muestras, crudas y tostadas. De este modo, se puede concluir que solo hay unas pequeñas variaciones en la composición de los granos no defectuosos comparado con los granos defectuosos. Observando los parámetros de la calidad del aceite, evaluados para aceite de café crudo están dentro de los estándares usados para otros aceites comestibles, excepto para el contenido de materia insaponificable y los ácidos libres.

López F.,E.M.; Castaño C.,J.J. Características del aceite esencial obtenido de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé 50(2):119-125. 1999, propone:

Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino.

Entre los subproductos de la trilla del café pergamino seco se encuentra el denominado café pasilla y el café perforado por insectos es uno de los componentes que lo constituyen. En Cenicafé se utilizó este tipo de café para demostrar que a partir de este tipo de subproductos es posible obtener aceite, con el fin inmediato de brindar alternativas para su utilización y comercialización. Para la extracción del aceite de café se utilizaron dos métodos: extracción por extrusión y extracción por solventes. Al aceite obtenido se le midieron factores de variación físicos y químicos. Mientras que en la extracción por extrusión se obtiene un aceite fijo de café, con una alta carga volátil, en la extracción con solventes se obtiene solo aceite fijo. Es relevante en futuras investigaciones realizar evaluaciones de las características sensoriales del aceite de café, obtenido por extrusión. De acuerdo a los resultados obtenidos, el método de extracción por expresión (extrusión) resulta muy favorable, desde el punto de vista del rendimiento.

El aceite contenido en el grano de café verde o tostado tiene una composición química similar a la de muchos aceites vegetales comestibles como el de la semilla de algodón, soya, maíz, coco, oliva, linaza, entre otros. Este aceite es líquido a temperatura ambiente y tiene una porción relativamente grande de compuestos no saponificables la cual varía del 7 al 12%.

Se tiene que para grados de daño alto y porcentajes de infestación altos, se presentan valores de rendimiento menores que, además, son significativamente diferentes con respecto a los demás tratamientos en lo que al exprimido se refiere. En cuanto a la extracción con solventes los más altos rendimientos se obtienen con grado de daño 3, e infestaciones de 50%, 75% y 100%. En la medición del rendimiento de aceite de café obtenido por extracción con solventes, se encontró que el rendimiento no depende ni del grado de daño ni del nivel de infestación. En cuanto a la cantidad de aceite obtenido, es mucho más favorable la extracción con solventes (hexano) con rendimientos entre 16 y 18%, mientras que en la extracción por extrusión se obtienen rendimientos entre 7 y 9%.

Características del aceite esencial obtenido de subproductos de la trilla de café pergamino.

Se analizaron las características organolépticas y se hizo el análisis cualitativo de los volátiles del aceite esencial extraído por extrusión del grano de café perforado por insectos, el cual constituye uno de los defectos más importantes del denominado café pasilla, subproducto de la trilla de café pergamino. Al realizar la extracción por extrusión, parte significativa del contenido aromático del café, que varía según el método de extracción usado, también se extrae con el aceite. Se utilizó café tostado el cual posee una alta cantidad de compuestos odoríferos, los cuales son producto de transformaciones y degradaciones químicas, logradas al someter el café verde a un proceso de tostación. Es relevante saber que un criterio importante en la valoración de la calidad del café es su aroma. El aceite fijo presentó una alta carga volátil (aceite esencial). Se encontró permanencia de las características organolépticas en el aceite obtenido.

El aroma característico del café en una prueba de taza se desarrolla en el proceso de tostación de los granos verdes y está determinado por la cantidad de aceite esencial presente. El contenido de aceite en los granos de café varía entre un 12 y 18% en peso, aproximadamente y las características sensoriales de éste dependen de la variedad del café y del método de extracción que se utilice. Al hacer la extracción, parte significativa del contenido aromático del café se extrae con el aceite. Existen algunos métodos con los cuales se obtiene un aceite fijo con una alta carga volátil (aceite esencial de café), el cual puede emplearse en diversos usos.

Se observó que el aceite de café obtenido por extrusión en los tratamientos sometidos a catación tiene buenas características sensoriales, de acuerdo a la escala de calificación utilizada. Se puede concluir que dentro de la exactitud experimental no hay diferencia significativa en lo que se refiere a la aceptación del aceite proveniente de grano bueno y 100% perforado por insectos o brocados, grado 1. No sucede lo mismo con el aceite proveniente de granos brocados 100% grado 2 y grado 3, los cuales tienen una aceptación significativamente menor que los anteriores, aunque no se encontró diferencia significativa entre ellos. Después de realizar el análisis cualitativo de los volátiles por GC/MS, se evidencio la presencia de compuestos heterocíclicos (furanos, pirroles, piridinas, pirazina, etc.), que representan las principales familias de compuestos volátiles de los aceites de café.

Oliveira, Cruz, Eberlin y Cabral. Aceite de café Brasileño obtenido por expulsado mecánico, análisis composicional por GC/MS. Ciencia y tecnología de alimentos, Campinas, Brazil, 2.005, propone:

Aceite de café Brasileño obtenido por expulsado mecánico, análisis composicional GC/MS.

Un análisis preliminar por GC/MS, comparando los espectros de masas de los compuestos, con los espectros de masas de la base de datos Wiley 275 L. fue utilizado para identificar los ácidos grasos y los principales compuestos volátiles responsables del sabor del aceite de café tostado. El aceite obtenido por expulsado mecánico de granos de café Brasileño (*Coffea arabiga*), fueron tostados a 238 °C por 10 minutos, se prepararon diferentes muestras como la metodología headspace,

absorción con succión en trampa y esterificación. Fue posible identificar pirazinas, piridinas, furanos y derivados de otros compuestos no reportados en la literatura.

Cuando se usa presión, el aceite de café contiene una buena proporción de constituyentes aromáticos de media y baja volatilidad, pero puede contener un intenso olor a quemado por la pirolisis parcial ocurrida durante la extracción causada por las altas presiones y temperaturas usadas.

La fracción aromática del aceite de café es compleja, contiene más de 800 compuestos con diferentes grupos funcionales. Por inyección directa fue posible identificar cafeína, algunos ácidos grasos libres como palmítico, linoleico y otros ácidos esteáricos y otros compuestos volátiles. Por esterificación fue posible identificar 5 ácidos grasos presentes en la fracción lipídica del aceite de café, estos son: palmítico, linoleico, oleico, esteárico y araquidónico.

Para Headspace la concentración volátil que estuvo en la fase gaseosa no fue suficiente para la identificación en el analizador GC/MS; 9 compuestos fueron identificados pero con menor intensidad. En la absorbancia por succión, un reconocimiento más intenso de los iones cromatográficos, con una gran cantidad de compuestos con bajas volatilidades registrados, los compuestos analizados fueron pirazinas, 1 furano, 2 ketones, 1 fenol y 2 alcoholes, pero la gran mayoría son hidrocarburos aromáticos y otra clase de hidrocarburos.

Analizando las diferentes metodologías se puede concluir que la fracción lipídica puede ser evaluada usando la misma metodología aplicada a la evaluación de los aceites vegetales.

Características del aceite de café, según el Código Alimentario Argentino, capítulo XIV, artículo 1174.

Líquido oleoso de color marrón oscuro con suave aroma a café.

Índice de acidez, Máx: 15"

Índice de iodo (Wijs): 80 - 110

Índice de refracción a 25°C: 1,465 - 1,480

Índice de saponificación: 165 a 199

Insaponificable, Máx: 10,0 %

Peso específico: 0,915 a 0,952

Aceite de café de la Empresa Iguazu, Brasil.

“El aceite de café es un líquido oleoso de color marrón oscuro con un suave aroma característico, el cual puede presentar las siguientes características”¹¹:

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

- Humedad y volátiles: < 2%
- Densidad relativa: 0,9 a 1,2 (a 25° C)
- Índice de refracción: 1,46 a 1,49 (a 25° C)
- Ácidos grasos libres: 3 a 5,5%
- Viscosidad: máximo 300 cP (100 RPM a 25° C)

CARACTERÍSTICAS

- Aspecto: líquido viscoso
- Color: marrón

APLICACIONES SUGERIDAS

- Café instantáneo
- Cafés líquidos en lata
- Iced coffee
- Capuccinos
- Postres/helados
- Flanes
- Golosinas
- Otras preparaciones a base de leche

ALMACENAMIENTO

- Almacenar en buenas condiciones de

¹¹ www.iguazu.com.br

higiene, de preferencia a una temperatura inferior a los 15° C y una humedad relativa inferior al 70%

VALIDEZ

- 12 meses a partir de la fecha de fabricación, cuando se trate un embalaje cerrado y mantenido en un lugar seco y fresco

5. MATERIALES Y MÉTODOS

"La presente investigación se realizó en al Ciudad de San Juan de Pasto, ubicada al extremo sur occidental de Colombia, se encuentra a una altura de 2.527 m.s.n.m, con una temperatura media de 14°C, Latitud 1°10'N Longitud 77°16'O"²⁵.

5.1 Determinación de la variedad y calidad del grano. "El café utilizado fue comprado en calidad de grano verde, a Empresas de Nariño, ubicada en la ciudad de San Juan de Pasto, con las siguientes características"²⁶:

- ✓ **Café tipo Supremo, malla 18.** Este tipo de café esta compuesto por grano grande, plano, parejo retenido por encima de malla No. 18. Esta condición es ideal para cafés especiales. También se puede referir este café como Excelso Premium. Empresas de Nariño ofrece esta clase de café verde con un 95% de confiabilidad de que sea retenido por encima de malla No. 18 y con características excelentes en taza.
- ✓ **Café Excelso tipo Consumo Superior.** Esta compuesto de grano plano y caracol, tamaño grande, mediano y pequeño; retenido por encima de malla No. 15 para Excelso tipo Europa y retenido por malla No. 14 para Excelso UGQ, con una tolerancia del 2.5% y 1.5% respectivamente de café de tamaño inferior a estas mallas, pero retenido por la malla No. 12 debidamente seleccionado. A esta clase de café se le ha denominado de consumo superior y garantizado por Empresas de Nariño.
- ✓ **Café tipo Pasillas.** Esta compuesto por todo grano de café defectuoso según la tabla de defectos de la Federecafe. Admite hasta el 5% de pasilla en peso con base en almendra. Este café fue comprado a Empresas de Nariño.

Después de la compra y recepción de la materia prima, se tuvo en cuenta que cada tipo de café cumpliera con las características anteriormente establecidas.

5.2 Optimización del proceso de tosti3n.

²⁵ www.cpqs.blogspot.com

²⁶ Caicedo C., N.M.; Chavez D.,W.G. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta trilladora de cafés especiales de exportación en el municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, 2004.

El proceso de tuestión se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad de la Cooperativa de Caficultores de Occidente, ubicado en la ciudad de San Juan de Pasto. Se contó con la colaboración del personal especializado en catación, quienes fueron el Señor Juan Carlos Caicedo y el Ingeniero Agroindustrial Carlos Oliva, asesores tanto en el proceso de tuestión como en los análisis de catación correspondientes a esta investigación. Los análisis certificados se presentan en el Anexo D.

Por otra parte, para el estudio del rendimiento de aceite en cada una de las muestras tostadas, se realizó un análisis del extracto etéreo (método soxhlet), en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, sede torobajo.

5.2.1 Determinación del punto óptimo de tuestión en función del rendimiento de aceite de café, en las diferentes calidades de grano verde. El objetivo de este análisis es encontrar el punto óptimo de tuestión donde se pueda obtener el máximo rendimiento en cuanto a la extracción de aceite. Se seleccionaron como variables la temperatura de tuestión y el tiempo en que se encuentran los granos expuestos al calor y sus respectivos niveles, de la siguiente manera:

Cuadro 16. Factores y niveles de evaluación para Rendimiento

Factor	Nivel mínimo	Nivel máximo
Temperatura	170 °C	210 °C
Tiempo	8 minutos	16 minutos

"Los valores de los niveles de temperatura y tiempo fueron tomados a partir de los estudios realizados por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé²⁷, y por la experiencia adquirida de tostadores de café del Departamento de Nariño".

El proceso se aplicó para los diferentes tipos de café verde utilizados, como son: café supremo, café excelso tipo consumo superior y café pasilla.

La tuestión se realizó en una tostadora de referencia Lab Sample Roaster TC-300 R/G, marca Quantik, de doble tambor y

²⁷ Café orgánico: caracterización, torrefacción y enfriamiento. Macías., A; Riaño L., C.E. Cenicafé 53(4):281-292, 2002.

extractor de energía eléctrica, con control de temperatura. Se encuentra dotada de termómetro digital para cada tambor, al cual se le puede fijar una temperatura determinada según el diseño establecido.

Para la evaluación del proceso de tostión se utilizó el diseño factorial central compuesto 2^2 con puntos estrella (metodología de superficie de respuesta), rotatorio. Los ensayos de tostión fueron realizados por duplicado y de manera aleatoria.

Se escogió esta metodología ya que se van a estudiar las interacciones y efectos que tienen tanto la temperatura como el tiempo sobre el rendimiento y además encontrar los valores óptimos de tostión.

Mediante la metodología de superficie de respuesta empleada, es posible determinar la magnitud del efecto de cada factor, la significancia de dichos factores, la interacción entre ellos, la curvatura de la superficie de respuesta, la estimación del error experimental, el modelo matemático que describe la influencia de los factores sobre la variable de respuesta y los valores físicos que optimizan la misma; donde se encuentran los puntos óptimos de tostión. Para proporcionar la información anterior de manera clara y concisa, se seleccionaron las siguientes pruebas estadísticas y diagramas suministrados por el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.0.

- ✓ Tabla ANOVA de análisis de varianza. Se utiliza para determinar los efectos que son estadísticamente significativos y es la que mejor describe el comportamiento de los mismos.
- ✓ Diagrama de Pareto. Este diagrama permite mostrar en forma gráfica cuales de los efectos sin estandarizar, son los más grandes en cuanto a su magnitud.
- ✓ Diagrama de los efectos principales. Permite observar la influencia de cada uno de los factores sobre la variable de respuesta de manera individual.
- ✓ Diagrama de interacciones. Sirve para observar el efecto de interacción entre las variables, en los diferentes

niveles.

- ✓ Superficie de respuesta. Permite observar la curvatura del sistema y la localización del punto óptimo.
- ✓ Valores óptimos de la respuesta. Indica los valores físicos que optimizan la respuesta (punto óptimo).

"La definición de las pruebas estadísticas anteriormente mencionadas fue tomada de la literatura"²⁸.

Cuadro 17. Matriz de diseño experimental para Rendimiento de aceite de café, en las diferentes calidades de grano verde

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO SOXHLET (%)
1	170	8	
2	210	8	
3	170	16	
4	210	16	
5	161,716	12	
6	218,284	12	
7	190	6,34315	
8	190	17,6569	
9	190	12	
10	190	12	
11	190	12	
12	190	12	
13	170	8	
14	210	8	
15	170	16	
16	210	16	
17	161,716	12	
18	218,284	12	
19	190	6,34315	
20	190	17,6569	
21	190	12	
22	190	12	
23	190	12	
24	190	12	

Fuente: Esta investigación.

El proceso de tostión se llevó a cabo con el siguiente procedimiento:

²⁸ Gutiérrez, H. De La Vara, R. Análisis y diseño de experimentos. McGraw-Hill. México 2003.

1. Preparación de la hoja de evaluación, donde se consignan los datos de temperatura y tiempo de tuestión como se describen anteriormente en los diseños experimentales. Ver Anexos A, B, C.
2. Calentamiento de la tostadora, en donde la temperatura se incrementa progresivamente, aproximadamente entre media a una hora, debido a que esta funciona con energía eléctrica y es necesario esperar este tiempo para alcanzar la temperatura deseada.
3. Se pesa una muestra de 100 gramos de café verde y por medio de una sonda se la introduce en la tostadora, con el fin de dar inicio al proceso de tuestión durante el tiempo determinado por el diseño.
4. Después de tostada la muestra se saca y se enfría rápidamente por medio del extractor, impidiendo que continúe el proceso de tuestión.
5. Por ultimo se empaca en bolsas resellables para luego realizar la molienda y hacer las respectivas determinaciones.

Después del proceso de tuestión se utilizaron 5 g. de café tostado y molido para evaluar el rendimiento de aceite, mediante el análisis del extracto etéreo (Método Soxhlet), en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño. Ver Anexo D.

Descripción de la determinación de extracto etéreo. Después de realizadas las tuestiones, a las temperaturas y tiempos arrojadas por el análisis estadístico, se toma 5 gramos de cada una de las muestras para determinar la cantidad de materia grasa que poseen. Esta determinación se realiza por el método soxhlet que se describe a continuación.

La grasa se extrae con un solvente orgánico (éter etílico) a partir de la muestra seca.

- ✓ Materiales y equipos. Sistema extractor soxhlet, estufa con graduación de temperatura, papel de filtro o dedales de celulosa, desecador y balanza analítica.

- ✓ Procedimiento. Se tara un balón de fondo plano, luego se pesa con precisión 1 gramo de muestra seca. Se transfiere la muestra al papel filtro y se la coloca en el extractor; se acopla el balón conteniendo 100 ml. de solvente orgánico al equipo extractor; se conecta a la plancha de calentamiento y se controla la temperatura a aproximadamente 35 °C. Se extrae la grasa bajo reflujo durante 8 horas y se desmonta la muestra para recuperar el solvente. Finalmente se secan los balones a 65 °C durante 1 hora, se enfría en desecador y se pesa.
- ✓ Cálculos.

Cuadro 18. Determinación del extracto etéreo

$$\% \text{ Extracto Etéreo} = \frac{\text{Peso del extracto etéreo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Fuente: Laboratorios Especializados, Universidad de Nariño.

Los resultados de este procedimiento se encuentran descritos en el Anexo D.

5.2.2 Determinación del punto óptimo de tosti3n en funci3n de la Impresi3n Global, en las diferentes calidades de grano verde. El objetivo de este an3lisis es encontrar el punto 3ptimo de tosti3n, donde se pueda encontrar las mejores caracter3sticas organol3pticas percibidas en la Impresi3n Global, dada por el panel de cataci3n.

La impresi3n global se define como la valoraci3n total de las caracter3sticas del caf3, en cuanto a su aroma, fragancia, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, dulzor, taza limpia, uniformidad, balance y defectos, por medio de la prueba de taza.

Las pruebas estad3sticas y diagramas fueron suministrados por el programa estad3stico STATGRAPHICS PLUS 5.0.

El formato que se escogi3 para hacer las evaluaciones sensoriales fue tomado del Manual de Cataci3n del Programa de Caf3s Especiales de Colombia. Ver Anexo E, F, G.

Cuadro 19. Matriz de dise1o experimental para la optimizaci3n del proceso de tosti3n en funci3n de la Impresi3n Global, en

las diferentes calidades de grano verde

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	IMPRESIÓN GLOBAL
1	170	8	
2	210	8	
3	170	16	
4	210	16	
5	161,716	12	
6	218,284	12	
7	190	6,34315	
8	190	17,6569	
9	190	12	
10	190	12	
11	190	12	
12	190	12	
13	170	8	
14	210	8	
15	170	16	
16	210	16	
17	161,716	12	
18	218,284	12	
19	190	6,34315	
20	190	17,6569	
21	190	12	
22	190	12	
23	190	12	
24	190	12	

Fuente: Esta investigación.

Se seleccionó como variables la temperatura de tosti3n y el tiempo que se encuentran los granos expuestos al calor y sus respectivos niveles, de la siguiente manera:

Cuadro 20. Factores y niveles de evaluaci3n para Impresi3n Global

Factor	Nivel m3nimo	Nivel m3ximo
Temperatura	170 °C	210 °C
Tiempo	8 minutos	16 minutos

Fuente: Esta investigaci3n.

Lo anterior se aplic3 para cada uno de los tipos de caf3 verde utilizados, como son, caf3 supremo, caf3 excelso tipo consumo superior y caf3 pasilla.

El Diseño factorial, la metodología y el procedimiento de evaluación utilizados para la optimización de la Impresión Global fueron los mismos que se utilizó para la optimización del Rendimiento.

5.2.3 Determinación del grado de tosti3n, por medio del m3todo de colorimetría. Después de realizar la tosti3n de las muestras, se procede a tomar 50 gramos de cada una, para someterlas al proceso de molienda y realizar el an3lisis de colorimetría, por medio del equipo Agtron E10-CP el cual ilumina la muestra de caf3 tostado y mide la energía de ciertas longitudes de onda infrarrojas reflejadas en su superficie. Dicho an3lisis se realiz3 en el laboratorio de Science and Technology, Specialty Coffee Assn. of America (SCAA), en la ciudad de Long Beach, California, Estados Unidos; el cual esta a cargo del Ingeniero Químico, Joseph Rivera. Esta determinaci3n sirve para establecer con exactitud el color de cada muestra de caf3 tostado.

5.3 Descripci3n del proceso de arrastre con vapor para la extracci3n de aceite de caf3.

El proceso de arrastre por corriente de vapor es uno de los m3todos m3s antiguos y sencillo de utilizar en la extracci3n de aceites esenciales. De acuerdo con los objetivos planteados anteriormente, se pretende recurrir al diseño de experimentos y su an3lisis estadístico a fin de determinar las condiciones m3s favorables para la extracci3n del aceite de caf3. Para ello es necesario realizar unas pruebas preliminares, con el fin de identificar el funcionamiento de los equipos y la correcta utilizaci3n de la materia prima para que conduzca a un proceso eficiente.

Cabe anotar, que de los resultados que se obtengan de las pruebas preliminares, dependerá el planteamiento del diseño experimental, de acuerdo a la capacidad de los equipos de extracci3n a utilizar, cantidad de materia prima y presi3n de trabajo.

5.3.1 Equipos utilizados. Los equipos empleados dentro de esta etapa, corresponden a las unidades de extracci3n de arrastre con vapor (1 y 2) y a la unidad de reacci3n multiprop3sito, de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, sede Torobajo.

Unidad de extracción de arrastre con vapor 1. La unidad de extracción de aceites y extractos esta construida en acero inoxidable 304, dentro de sus diferentes aplicaciones se encuentra la obtención de aceites y grasas animales y vegetales, permite implementar una serie de procesos de separación utilizando la totalidad o algunas partes de la unidad.

La unidad de extracción se compone de las siguientes partes:

- ✓ Tanque extractor. Con una capacidad de 100 lt., su calentamiento se debe al flujo de vapor que circula alrededor de una camisa o a vapor directo; el control de la temperatura y la presión se hace a partir de una válvula de seguridad a 22 psi con indicador de nivel. El tanque es pivotante lo que implica que pueda ser inclinado para carga o descarga de los sólidos.
- ✓ Condensador. Corresponde a un intercambiador de tubos y coraza en acero inoxidable 304 con cabezales desmontables, el medio de enfriamiento es el agua que posee un rotámetro en PVC para la medición del flujo del agua de entrada.
- ✓ Separador de fases. Construido en acero inoxidable 304, posee un visor de vidrio borosilicado.
- ✓ Tanque colector. Construido en acero inoxidable 304, cuenta con una válvula de descarga y un visor de vidrio.
- ✓ Evaporador. Construido en acero inoxidable, con calandria para calentamiento; se encuentra aislado térmicamente con medidores de temperatura y presión. La tapa de la calandria es desmontable con el fin de facilitar la limpieza.
- ✓ Calandria. Consiste en un intercambiador de tubos y coraza de relación 1:2, de un metro de longitud. Esta construida en acero inoxidable con medición de temperatura a la salida del condensado por medio de una termocupla.
- ✓ Tuberías y accesorios para las líneas del proceso. Construidas en acero inoxidable 304 y 316 SCH 40 x 150 psi.

- ✓ Tuberías y accesorios para líneas de vapor. Construidas en acero al carbón SCH 40 x 150 psi.
- ✓ Tuberías y accesorios para líneas de agua. Construidas en hierro galvanizado SCH 40 x 150 psi.
- ✓ Instrumentación del equipo. El equipo también incluye termocuplas, manómetros de carátula hasta 15 psi y rozamiento en PVC.
- ✓ Tablero de control. Este consta de un termómetro digital, dos pilotos de encendido, interruptor, selector de 6 canales y entradas de conexiones.

Figura 5. Unidad de Extracción de arrastre con vapor 1



Fuente: Esta investigación.

Unidad de extracción de arrastre con vapor 2. La unidad de extracción de arrastre con vapor opera a presión atmosférica, permite extraer aceites esenciales y extractos concentrados de vegetales de hojas como las de eucalipto, menta, limonaria y de cáscaras de cítricos. El método empleado para realizar de estos procedimientos es la inyección directa de vapor sobrecalentado de agua.

La unidad de extracción se compone de las siguientes partes:

- ✓ Capacidad. 0,13 m³

- ✓ Fuente de alimentación. Vapor de agua para tanque de extracción Y 110 V para la bomba de alimentación.
- ✓ Potencia del motor. ½ HP para bomba de alimentación de agua.
- ✓ Material de construcción. Acero inoxidable 304.
- ✓ Tanque de extracción. Posee control de presión y válvula de seguridad. La tapa puede quitarse fácilmente para cargar o descargar sólidos. Canastilla de 46 cm de diámetro y 38 cm de alto.
- ✓ Caldera eléctrica.
- ✓ Tanque. Se trata de un tanque de almacenamiento de agua para caldera.
- ✓ Bomba de alimentación. De agua para caldera de ½ HP de potencia
- ✓ Condensador. Intercambiador de calor 1:1, construido en acero inoxidable 304.

Figura 6. Unidad de Extracción de arrastre con vapor 2



Fuente: Esta investigación.

Unidad de reacción multipropósito. La unidad de reacción multipropósito de la planta piloto es una unidad muy versátil

que permite la operación en lotes y en forma continua; la unidad permite el trabajo a presión atmosférica y a vacío, logrando la realización de diferentes prácticas. Esta unidad permite trabajar con operaciones a reflujo y cuenta con la instrumentación necesaria para realizar los balances de masa y energía en un proceso determinado. Por medio de esta unidad se logran diferentes prácticas: realizando reacción se pueden obtener ácido cítrico y jabón, y, en evaporación por diferencia de puntos de ebullición se pueden separar mezclas, e incluso se pueden llevar a cabo procesos lácteos como la producción de leche condensada.

La unidad de reacción multipropósito cuenta con las siguientes partes:

- ✓ Capacidad. Tanque de alimentación con capacidad de 80 L.
- ✓ Fuente de alimentación. Vapor de agua para el calderín, 220 V para motor de agitación, 220 V para bomba de alimentación y 220 V para bomba de vacío.
- ✓ Potencia del motor. 0,6 HP para motor de agitador, ½ HP para bomba centrífuga y 1/3 HP para bomba de vacío.
- ✓ Material de construcción. Acero inoxidable 304.
- ✓ Tanque de alimentación. Con capacidad de 25 L. Se emplea en el proceso de destilación continua. Posee un nivel en vidrio. Cuenta con una tapa en acero inoxidable que se ajusta a través de tres (3) muelles de presión.
- ✓ Calderín de reacción. Fijo encaquetado (con una presión de diseño de 60 psi) para calentamiento con vapor y aislado térmicamente con fibra de vidrio forrada en acero inoxidable, con capacidad de 80 L en operación batch. Permite la alimentación directa de vapor vivo. Posee un termopozo para la medición de temperatura, manovacúmetro, válvula de seguridad e indicador de nivel. La línea de vapor cuenta con válvula de globo, manovacúmetro y la salida de condensados con su respectiva trampa de vapor. Cuenta con una mirilla de borosilicado para supervisión, la cual se utiliza para cargar los reactivos. Tiene una válvula para descarga de los fondos. Cuenta con dos (2) válvulas de seguridad, tanto para la chaqueta (25 psi), como para el propio calderín (25 psi). El reactor también

- tiene una entrada de gas o aire.
- ✓ Columna. Con empaque de vidrio. Posee una chaqueta para calentamiento por vapor, la cual tiene una válvula de seguridad con disparo a 25 psi. Cuenta con su pozo para determinar el nivel de inundación de la columna.
 - ✓ Condensador. Intercambiador de tubos y coraza 1:1, 100 cm de longitud y 10 cm de diámetro con tubos de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Tiene una termocupla para medición de la temperatura a la salida del condensado.
 - ✓ Separador de fases. Con bridas en acero inoxidable y cuerpo en vidrio borosilicado.
 - ✓ Postenfriador. Intercambiador de tubos y coraza 1:1, 60 cm de longitud y 10 cm de diámetro con tubos de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Tiene una termocupla para medición de la temperatura a la salida del condensado. Se emplea para enfriar el producto destilado que es conducido a los colectores.
 - ✓ Sistema de vacío. Cuenta con una bomba de alto vacío. Tiene una trampa de vacío para proteger la bomba del posible paso de líquido hacia ella.
 - ✓ Bomba de alimentación. Opera cuando se opera en un sistema de reacción continua.
 - ✓ Tanques colectores. Dos (2) tanques colectores de 25 L cada uno, con sus respectivos niveles en bronce cromado y válvulas para descargar el producto.
 - ✓ Motor con agitador de paletas de $\frac{1}{4}$ HP y turbina intercambiable; incluye regulador de velocidad y raspador a través de un cambio de poleas.
 - ✓ Tuberías y accesorios para las líneas de proceso. Todas las tuberías y accesorios para las líneas de procesos son en acero inoxidable 304 y 316 SCH 40 por 150 psi.
 - ✓ Tuberías y accesorios para las líneas de vapor. El material de las tuberías y accesorios para las líneas es acero al carbón SCH 40 por 150 psi.
 - ✓ Tuberías y accesorios para las líneas de agua. El material de las líneas de agua, tanto de enfriamiento, como de agua

- de proceso es hierro galvanizado SCH 40 por 150 psi.
- ✓ Instrumentación de proceso. Rotámetros en vidrio, uno para la alimentación y el otro para los condensados. Seis termocuplas tipo J para la medición de la temperatura en las diferentes partes del equipo. Manómetros de carátula hasta 15 psi. Manuvacuómetro de -30 in Hg a 15 psi. Vacuómetro de -30 a 0 in Hg.
 - ✓ Tablero de control. Constituido por termómetro digital, selector de temperatura de 12 canales, interruptor general, arrancador para el motor del tanque de reacción, arrancador para la bomba de vacío, tacómetro digital (para leer la velocidad de agitación), un amperímetro, tres (3) pilotos de encendido, contactores y protectores térmicos.

Figura 7. Unidad de reacción multipropósito

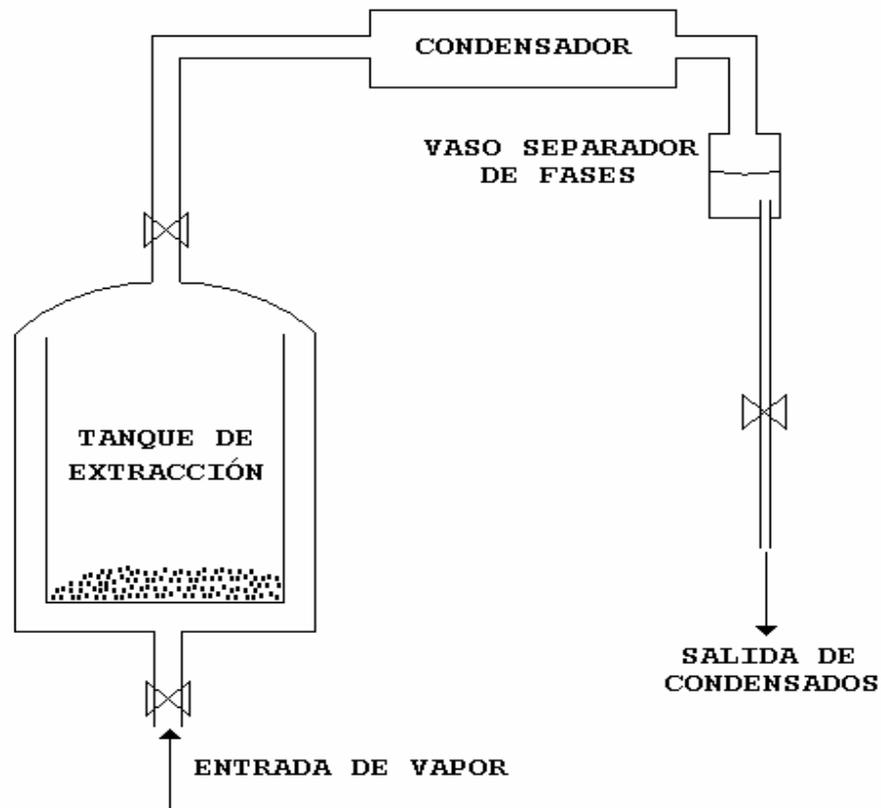


Fuente: Esta investigación.

5.3.2 Desarrollo de las pruebas preliminares. Para el desarrollo de estas pruebas, se utilizó café recién tostado en las condiciones óptimas que resultaron del análisis de tuestión evaluado anteriormente, de la siguiente manera:

1. El primer montaje, es realizado en la unidad de extracción de arrastre con vapor, en la cual se utiliza café tostado y molido, en una proporción de 5 kilogramos. Sobre el fondo de la canastilla se coloca un lienzo, de tal forma que lo cubra totalmente. Después de montada la canastilla con el café en el tanque extractor, se inyecta el vapor en forma directa hacia el interior del tanque, con el fin de que este sea el medio de arrastre del aceite. Este vapor pasa al condensador y de ahí al vaso separador de fases. La presión de vapor utilizada en el proceso es de 10 psi por un tiempo de 3 horas. Este ensayo se realiza con el fin de verificar si efectivamente el vapor inyectado se constituye como el medio de arrastre del aceite de café.

Figura 8. Unidad de extracción, primer montaje

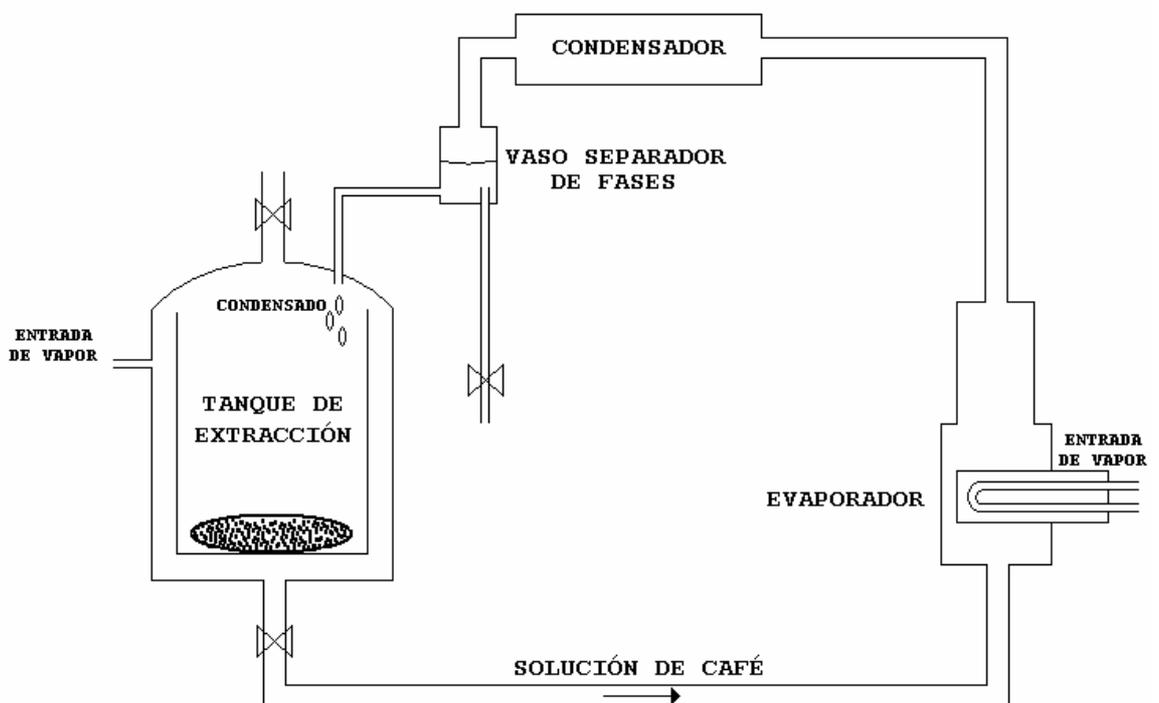


Fuente: Esta investigación.

2. El segundo montaje se realiza en la misma unidad que en el anterior ensayo, utilizando igual cantidad de materia

prima. Aquí el café se almacena dentro de una almohadilla elaborada en tela de lienzo y sobrepuesta en el fondo de la canastilla, a la cual se le adiciona agua. El vapor es inyectado por la chaqueta del tanque extractor con el fin de calentar el café humedecido. Esta solución pasa al evaporador, de ahí al condensador y por último al vaso separador de fases. La presión de vapor a utilizar en el proceso es de aproximadamente 10 psi, la cual se mantiene por un tiempo de 4 horas. Este ensayo se realiza con el fin de comprobar si la solución que se evapora, es efectivamente la que arrastra el aceite de café.

Figura 9. Unidad de extracción, segundo montaje

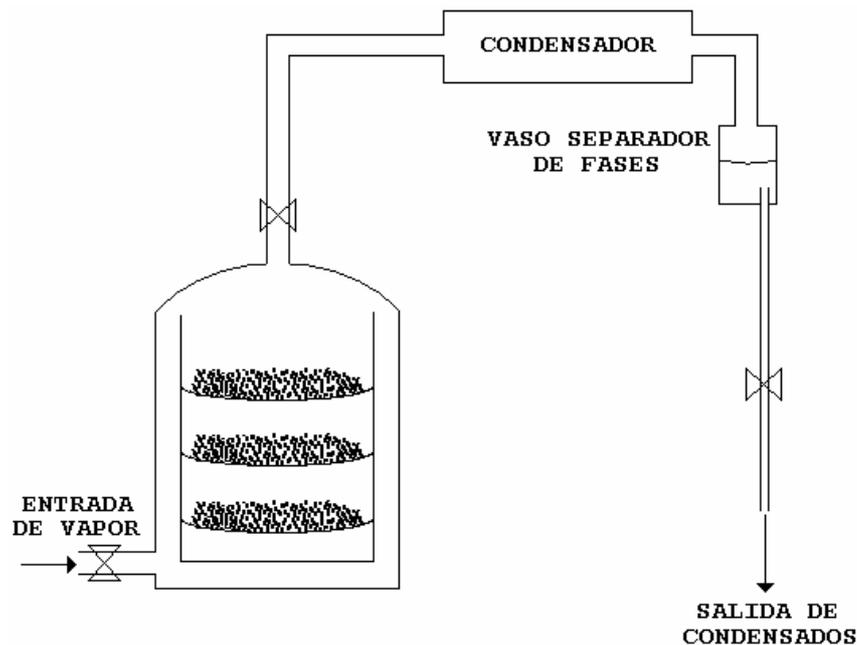


Fuente: Esta investigación.

3. El tercer montaje se realiza en la unidad de extracción de arrastre con vapor 2, utilizando café tostado y molido el cual se dispuso sobre muselina. En este caso se realiza un montaje compuesto por tres niveles en muselina, ubicados a lo largo del tanque extractor, con el fin de distribuir el café y permitir que la corriente de vapor tenga mayor contacto con el mismo. De igual manera aquí el vapor se constituye como medio de arrastre del aceite, pasando al condensador para finalmente ser recolectado en un vaso

florentino. La presión de vapor a utilizar en el proceso es de aproximadamente 10 psi, la cual se mantiene por un tiempo de 3 horas. Este ensayo se hizo con el fin de permitir que el vapor tenga mayor área de contacto con el café.

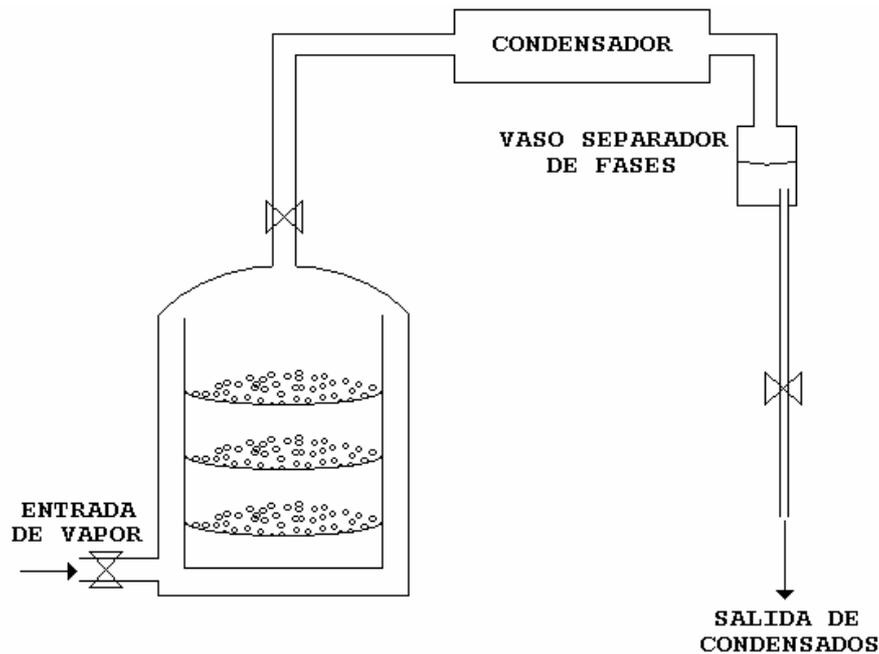
Figura 10. Unidad de extracción, tercer montaje



Fuente: Esta investigación.

4. El cuarto montaje se realiza de igual manera que el anterior, pero en este caso se utiliza café tostado en grano entero.

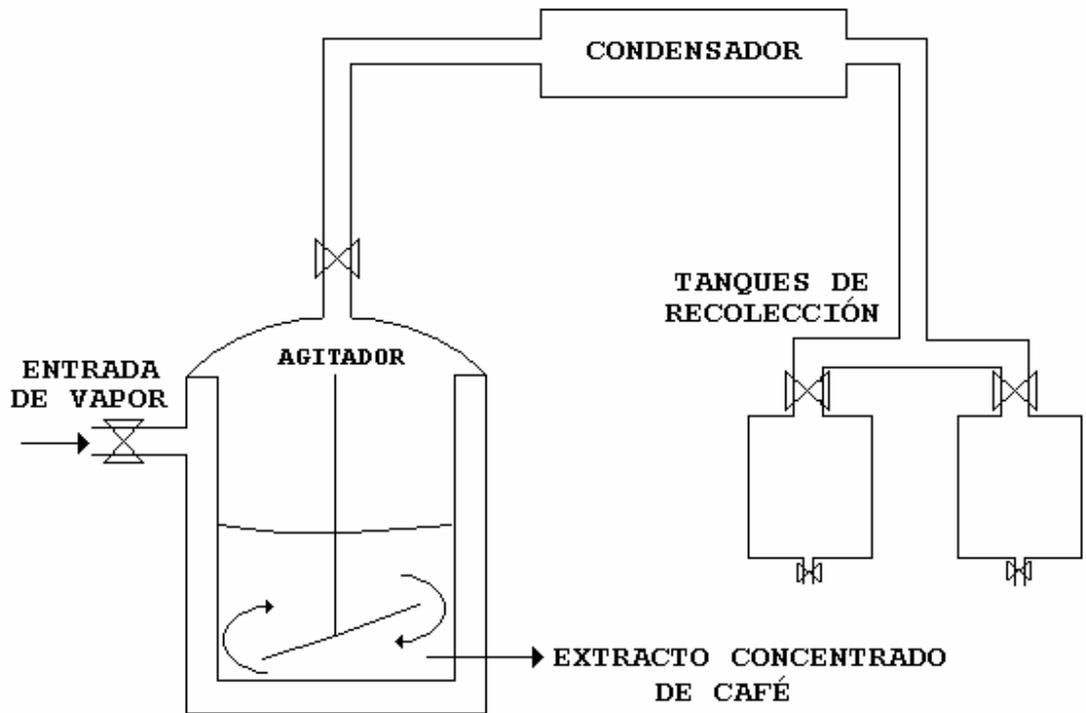
Figura 11. Unidad de extracción, cuarto montaje



Fuente: Esta investigación.

El quinto montaje se realiza en la unidad de reacción multipropósito, para lo cual se produce un extracto de café el cual se obtiene haciendo pasar agua caliente por la almohadilla de lienzo, que contiene café tostado y molido, hasta obtener 20 litros. Este extracto se coloca dentro del calderín bajo agitación continua con el fin de facilitar su evaporación. El vapor que se genera dentro del calderín, se considera como el medio de arrastre del aceite, el cual pasa al condensador y por último es recolectado en los tanques dispuestos para este fin. La presión de vapor a utilizar en el proceso es de aproximadamente 4 psi, la cual se mantiene por un tiempo de 8 horas. Este ensayo se hizo con el fin de comprobar si el aceite contenido en el extracto puede ser arrastrado por el vapor.

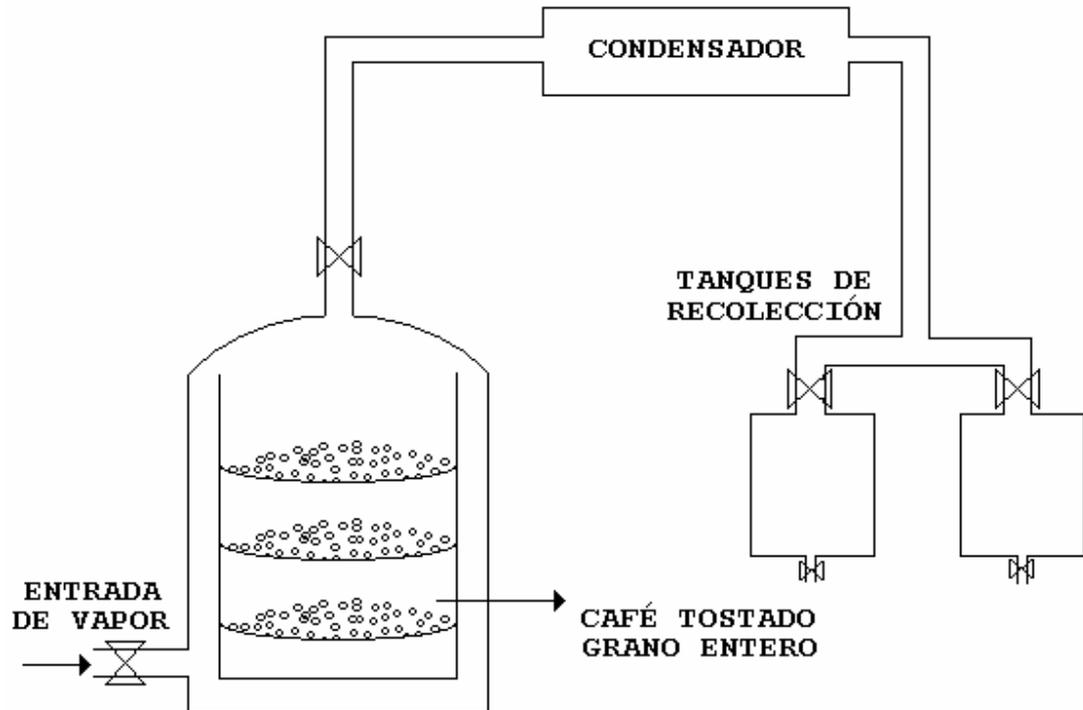
Figura 12. Unidad de reacción multipropósito, quinto montaje



Fuente: Esta investigación.

6. El sexto montaje se realiza en misma unidad de reacción que el anterior, en el cual se utiliza café tostado en grano entero dispuesto en tres niveles de muselina. En este caso se realiza un montaje compuesto por tres niveles en muselina. De igual manera aquí el vapor se constituye como medio de arrastre del aceite, pasando al condensador para finalmente, el condensado ser recolectado en los tanques de almacenamiento. La presión de vapor a utilizar en el proceso es de aproximadamente 4 psi, la cual se mantiene por un tiempo de 8 horas. Este ensayo se hizo con el fin de comprobar si el aceite presente en la superficie de los granos de café puede ser arrastrado por el vapor.

Figura 13. Unidad de reacción multipropósito, sexto montaje



Fuente: Esta investigación.

5.4 Descripción del proceso de prensado. Este proceso se realiza con café de calidad supremo y pasilla, tostado y en grano entero; dichas tostiones se realizan a las temperaturas y tiempos óptimos determinados por el diseño experimental planteado anteriormente.

Para el desarrollo de este proceso se diseñó un prototipo de prensa hidráulica, que permitiera estandarizar por medio de ensayos experimentales la extracción del aceite. Esta prensa funciona por medio de la acción de un gato hidráulico convencional, el cual permite la generación de presión sobre los granos de café tostado.

En la Figura 14. se muestra el prototipo construido de la prensa para la extracción del aceite.

Figura 14. Prensa



Fuente: Esta investigación.

La estructura de la prensa se conforma de las siguientes partes:

- ✓ Tres platos en acero negro de 35 cm. de diámetro y 2.5 cm. de espesor.
- ✓ Dos ejes de acero rígido de 2 pulgadas de diámetro y 92 cm. de largo.
- ✓ Pistón en aluminio de 11 cm. de altura y 9.5 cm. de diámetro, al cual esta acoplado un tornillo sin fin de 37 cm. de largo y 1.5 pulgadas de diámetro.
- ✓ Platina en acero inoxidable de 6 mm. de espesor y 9.5 cm. de diámetro.
- ✓ Camisa para el pistón en aluminio, de 9.5 cm. de diámetro

interno, 10.5 cm. de diámetro externo y 23 cm. de altura. El fondo de la camisa tiene acoplado un sello en acero negro de 10.5 cm. de diámetro y 1 pulgada de espesor, con 37 perforaciones de diámetro de 1/8 de pulgada.

- ✓ Sobrefondo en acero negro de 13 cm. de diámetro y 5 cm. de largo, en donde se asienta la camisa.
- ✓ Guía para el sobrefondo de 13.5 cm. de diámetro.
- ✓ Gato hidráulico de 20 toneladas.
- ✓ Accesorios. Tuercas de 1 ¼ de pulgada, volante de ajuste para el pistón, guías perforadas en teflón para los ejes, espirales de 2 ¾ de pulgada de diámetro y 58 cm. de largo, barra para accionar el gato de 43 cm. de largo y ¾ de pulgada de diámetro.

El sistema formado por la camisa-pistón, constituyen el lugar donde se verifica el prensado y la extracción de aceite propiamente dicha. La camisa de este sistema posee un volumen total de 1630.3 cm³.

Paralelamente a este diseño se elaboró un dispositivo camisa-pistón a menor escala, a fin de hacer más efectivo el proceso de prensado utilizando menor cantidad de materia prima. Ver Figura 15.

Este diseño lo constituyen las siguientes partes:

- ✓ Eje en acero negro de 20 cm. de largo y 1 ¼ de pulgada de diámetro. En el extremo inferior y a 1 cm. de la base, posee un o´ring.
- ✓ Eje perforado en acero negro de 2 pulgadas de diámetro y 15 cm. de altura. En el extremo inferior posee un orificio de 1/8 de pulgada.
- ✓ Sobrefondo en acero negro de 2 ½ pulgadas de diámetro y una altura de 5 cm.
- ✓ Cápsula de vidrio de 3 cm. de diámetro.

Figura 15. Sistema camisa-pistón a menor escala



Fuente: Esta investigación.

Los dos diseños anteriormente mencionados, se acoplan entre sí, complementando su funcionamiento para los fines de la extracción del aceite de café.

Figura 16. Sistema de prensa completo



Fuente: Esta investigación.

Los ensayos pertinentes a la extracción de aceite de café por prensado, para café tipo supremo y tipo pasilla, se realizaron en los laboratorios de suelos de Ingeniería Civil de la universidad de Nariño, en donde se encuentra una prensa hidráulica la cual realiza pruebas de resistencia de materiales (Figura 17.). A esta se le acopla el sistema camisa-pistón a menor escala y se realizan los ensayos, a diferentes presiones, con el fin de determinar el rendimiento de aceite en función de la presión.

Para el desarrollo de los ensayos se necesita que el café, tanto supremo como pasilla, esté en su punto óptimo de tuestión, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1. Se pesan 10 o 20 gramos según el ensayo que se vaya a realizar, de cada calidad de café, en una balanza analítica.
2. Se coloca la muestra en el eje perforado, que sirve de recipiente contenedor.
3. Se ubica el eje sobre la muestra, en forma de émbolo, para que presione el café.
4. Se acopla el sistema a la prensa hidráulica (Figura 15.), para poder ejercer la fuerza necesaria y así extraer el aceite.
5. Se deja drenar el aceite por espacio de una hora.
6. Por último se desmonta el sistema, se retira la cápsula de vidrio y se pesa en una balanza analítica el aceite obtenido, para efectos del análisis del proceso y su respectivo rendimiento.

Para la realización de estos ensayos se utilizó muestras de café tostado en grano entero. El volumen de la camisa del sistema a menor escala permite almacenar hasta 20 gramos de materia prima, es por esto que además de utilizar esta cantidad, también se realizó los ensayos empleando 10 gramos, con el fin de establecer de una mejor manera, la eficiencia del sistema y poder determinar si a menor fuerza ejercida se logra un mayor rendimiento.

Figura 17. Prensa Hidráulica, laboratorio de suelos de Ingeniería Civil, Universidad de Nariño



Fuente: Esta investigación.



Fuente: Esta investigación.

Para realizar la evaluación del proceso de prensado se diseñó una serie de experimentos, en donde se tuvo en cuenta la fuerza aplicada por un tiempo de una hora, para determinar la cantidad de aceite que drena; los cuales se describen en los cuadros 20, 21, 22 y 23.

La presión indicada en los cuadros, fue obtenida de la ecuación $P=F/A$, donde la fuerza está expresada en Kilogramos fuerza y el área donde se ejerce la presión es de 1.2 pulgadas cuadradas.

Cuadro 21. Experimentos de prensado - café supremo, base de cálculo 10 g.

EXPERIMENTOS PRENSADO - CAFÉ SUPREMO

BASE DE CALCULO: 10 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000		
2	18.000	30.000		
3	21.000	35.000		
4	24.000	40.000		
5	27.000	45.000		
6	30.000	50.000		

Fuente: Esta investigación.

Cuadro 22. Experimentos de prensado - café supremo, base de cálculo 20 g.

EXPERIMENTOS PENSADO - CAFÉ SUPREMO
BASE DE CALCULO: 20 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000		
2	18.000	30.000		
3	21.000	35.000		
4	24.000	40.000		
5	27.000	45.000		
6	30.000	50.000		

Fuente: Esta investigación.

Cuadro 23. Experimentos de prensado - café pasilla, base de cálculo 10 g.

EXPERIMENTOS PENSADO - CAFÉ PASILLA
BASE DE CALCULO: 10 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000		
2	18.000	30.000		
3	21.000	35.000		
4	24.000	40.000		
5	27.000	45.000		
6	30.000	50.000		

Fuente: Esta investigación.

Cuadro 24. Experimentos de prensado - café pasilla, base de cálculo 20 g.

EXPERIMENTOS PENSADO - CAFÉ PASILLA
BASE DE CALCULO: 20 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000		
2	18.000	30.000		
3	21.000	35.000		
4	24.000	40.000		
5	27.000	45.000		
6	30.000	50.000		

Fuente: Esta investigación.

Después de realizar los ensayos se procede al análisis de los resultados, para determinar cual es la presión necesaria para obtener un buen rendimiento en extracción de aceite.

5.5 Análisis del aceite de café obtenido. Después de haber obtenido el aceite, se realizan análisis organoléptico, fisicoquímico y de perfil cromatográfico para determinar sus características:

1. Densidad, definida como la relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ésta ocupa. Generalmente se expresa en g/ml. En la medida de la densidad del aceite de café se utilizó un picnómetro de 5 ml, debidamente calibrado.
2. Índice de refracción, este índice es una medida física la cual evalúa la luz reflejada del aceite, desde un ángulo determinado, por lo tanto un aceite que no sea puro desviara la luz hacia otra dirección que la habitual, según la empresa Iguazú el índice de refracción debe estar entre 1.46 y 1.49 a 25 °C. Se determinó mediante un refractómetro, marca Baush y Lomb. El índice de refracción se midió a la temperatura ambiente (20 a 25°C).
3. Punto de ebullición, se define como la temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a la atmosférica. El punto de ebullición depende de la presión externa, de forma que se denomina punto de ebullición normal cuando la presión externa es a una atmósfera. El punto de ebullición no corregido se presenta cuando la presión de vapor del líquido es igual a la del medio ambiente. Esta última temperatura es la que se halla en el laboratorio y debe ser corregida mediante la fórmula:

Cuadro 25. Determinación del punto de ebullición

$$P.E = T_0 + 1,2 \times 10^{-4}(760 - P) \cdot (T_a + 273)$$

T_0 : Temperatura observada, en °C

P : Presión atmosf. del sitio donde se está realizando el experimento, en mm de Hg

T_a : Temperatura ambiente, en °C

Se sella empleando la llama del mechero un capilar por uno de sus extremos. Coloque 0,5 ml de la muestra en un tubo Durham e introduzca el capilar con el extremo abierto

hacia abajo. Una el tubo Durham al bulbo de un termómetro con alambre de cobre. Introduzca el termómetro con el tubo Durham en un tubo de Thiele que contenga aceite mineral, teniendo la precaución de que el extremo superior del tubo Durham quede por encima del nivel del aceite. Caliente hasta que aparezca un rosario de burbujas que salen del capilar y ascienden a través de la muestra. En este momento suspenda el calentamiento y anote la temperatura a la cual dejan de salir las burbujas y la muestra asciende por el capilar. Este valor corresponde a T_o , se reemplaza los valores en la fórmula y se halla el punto de ebullición corregido para la muestra.

4. Miscibilidad en etanol, como su nombre lo indica nos muestra que tan soluble es el aceite en etanol. Este análisis se realiza agregando cierta cantidad de aceite en etanol. Posteriormente se hace ebullicir la solución etanol aceite con el fin de determinar la cantidad de aceite que se haya solubilizado en el etanol.
5. Análisis de ácidos grasos, para esta determinación se realiza un proceso de derivatización y posterior inyección en el cromatógrafo de gases (GC), se realiza con HCl en metanol (5% v/v). Se toman cuatro muestras de referencia de agua potable de 500 ml (una de ellas se utilizó como blanco) y se les agrega 20 μ l de aceite de café. Se realizó el proceso de extracción con la mezcla de hexano-diclorometano (80:20). La capa orgánica se concentró utilizando un sistema de destilación hasta un volumen final entre 1 y 4 ml. Posteriormente se adiciona 5 ml de agente derivatizante (solución al 5% v/v de HCl en metanol) y 1 g de sulfato de sodio anhidro. Se deja en baño de agua al 50 °C durante 12 horas. La fase orgánica donde están los ésteres metílicos se separa de la fase acuosa, el exceso de ácido en la fase orgánica se eliminó con una solución de bicarbonato de potasio al 5% w/v; se determina el volumen final del extracto y se adiciona sulfato de sodio anhidro con el fin de eliminar cualquier rastro de agua.

Para el análisis de la muestra se realiza la extracción con 60 ml de la mezcla de hexano-diclorometano (80:20), luego se concentra la muestra a un volumen entre 1 y 4 ml utilizando un destilador convencional, posteriormente se realiza la derivatización de las grasas y aceites en las

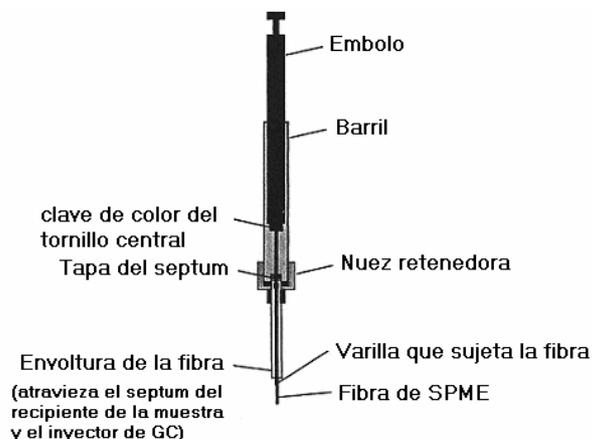
muestras con el procedimiento para las muestras de referencia. Se realiza el análisis cromatográfico con la inyección de 1 µl de la muestra en el equipo de GC.

Para la cuantificación e identificación de los ácidos grasos se utiliza el método del estándar interno. Como estándar interno se utiliza un ácido graso que no este presente en muestras analizadas. Para el factor de respuesta, teniendo en cuenta la intensidad de las señales, se prepara una solución de 12.5 ppm de metil caprilato (estándar interno) y 6.0 ppm para los demás estándares. La mezcla se inyecta al cromatógrafo de gases.

Condiciones de análisis

- ✓ Equipo: SHIMADZU QP 5000
 - ✓ Columna: Supelcowax-10(30 m x 0.25 mm ID 0.25 µm)
 - ✓ Detector: MS selectivo 70 eV 280 °C
 - ✓ Gas Carrier: Helio 1 ml/min
 - ✓ Programación de Temperatura: 40 °C - 130 °C (15 °C/min) - 240 (10 min) 30 °C/min
 - ✓ Tiempo de análisis: 20 minutos
 - ✓ Inyector: 250 °C - Splitless 20:1
 - ✓ Volumen de inyección: 1 µl
6. Determinación de los compuestos volátiles del aceite por medio de cromatografía de gases, utilizando la metodología de microextracción en fase sólida (SPME): esta técnica se basa en el recorrido de los analitos de la matriz de la muestra al recubrimiento de la fibra. La microextracción en fase sólida utiliza una pequeña, fina, varilla sólida de sílice fundida, (típicamente de 1 cm. de largo por 0.11 mm de diámetro externo), revestida con un polímero adsorbente, la fibra es del mismo tipo de sílice fundida químicamente inerte usado en la fabricación de columnas capilares para GC y este es muy estable aún en altas temperaturas. El revestimiento de sílice fundida (fibra SPME) es sujeta a una varilla metálica y ambos son protegidos por una envoltura de metal que cubre la fibra cuando no esta en uso. Por eficacia, este montaje es localizado en un soporte para fibra, así, el sistema es semejante a una jeringa modificada como se muestra en la figura 15.

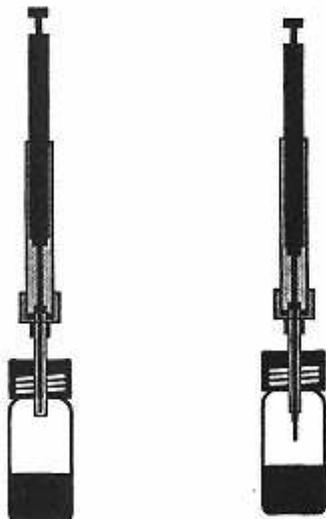
Figura 18. Fibra de SPME con soporte



Fuente: PAWLISZYN, J. Solid Phase Microextraction

La técnica de extracción SPME se fundamenta en dos procesos: (1) la repartición de los analitos entre la muestra y el revestimiento de la fibra, y (2) la concentración de los analitos desorbidos del revestimiento de la fibra a un instrumento de análisis. El funcionamiento de la extracción en muestras acuosas que contienen analitos orgánicos o muestras sólidas que contienen analitos orgánicos volátiles, se lleva a cabo en un vial que luego es cerrado con una tapa y un septum. La fibra de SPME es protegida por una envoltura que atraviesa el septum, luego, se introduce la fibra directamente en la muestra acuosa o se expone en el espacio de cabeza (headspace) de la muestra (figura 19). Los analitos de interés son subsecuentemente extraídos de la matriz de la muestra hacia el revestimiento de la fibra, después de un tiempo de absorción predeterminado, la fibra es ubicada en la envoltura de protección y extraída fuera del vial de muestreo. La envoltura de protección es insertada inmediatamente en el puerto de inyección de un GC donde se desembolsa otra vez la fibra. Durante este tiempo, la fibra es expuesta a una alta temperatura en el inyector del GC donde la concentración de los analitos es térmicamente desorbida y reenfocada dentro de la columna.

Figura 19. Headspace SPME



Fuente: PAWLISZYN, J. Solid Phase Microextraction

Condiciones de análisis

- ✓ Equipo: SHIMADZU QP 5000
- ✓ Columna: Supelcowax-10(30 m x 0.25 mm ID 0.25 μ m)
- ✓ Detector: MS selectivo 70 eV 250 $^{\circ}$ C
- ✓ Gas Carrier: Helio 2 ml/min
- ✓ Programación de Temperatura: 40 $^{\circ}$ C (5 min) - 200 $^{\circ}$ C (5 min) 5 $^{\circ}$ C/min - 250 (10 min) 10 $^{\circ}$ C/min
- ✓ Tiempo de análisis: 60 minutos
- ✓ Inyector: 270 $^{\circ}$ C - Splitless 20

Análisis por SPME

- ✓ Fibra: Carboxen/Polidimetilsiloxano (CAR/PDMS) Supelco 75 μ m
- ✓ Tiempo de extracción HS-SPME: 60 minutos
- ✓ Temperatura de extracción: 30 $^{\circ}$ C
- ✓ Tiempo de desorción en el puerto de inyección: 5 minutos

7. Análisis organoléptico, El análisis sensorial del aceite de café lo realizó el jefe de control de calidad del laboratorio de la Cooperativa de Caficultores de Occidente de Nariño, Ing. Carlos Oliva, experto en catación de cafés especiales. El análisis consistió en la valoración del aroma, sabor y color; para tal efecto se empleó una escala de calificación de 1 a 9, donde 1 es la calificación dada

a un aroma y sabor de total rechazo y 9 a un aceite de excelentes características sensoriales.

Estas pruebas ayudarán a identificar las características del aceite obtenido e indicaran su calidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para el análisis de la determinación del punto de tuestión óptimo, tanto para el rendimiento como para la impresión global en la extracción de aceite de café, se utilizó el software estadístico Statgraphics plus versión 5.0. Los resultados se muestran a continuación.

6.1 Diseño experimental para la determinación del punto óptimo de tuestión en función del rendimiento de aceite.

6.1.1 Rendimiento de aceite en café Supremo. En el cuadro 26 se presentan los resultados que se obtuvieron para la optimización del proceso de tuestión en función del rendimiento del aceite obtenido.

Cuadro 26. Rendimiento de aceite en café supremo

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO SOXHLET(%)
1	170	8	6,33
2	210	8	9,71
3	170	16	9,34
4	210	16	17,63
5	161,716	12	6,36
6	218,284	12	17,71
7	190	6,34315	6,48
8	190	17,6569	16,48
9	190	12	13,81
10	190	12	12,92
11	190	12	14,43
12	190	12	11,28
13	170	8	6,33
14	210	8	9,71
15	170	16	9,34
16	210	16	17,63
17	161,716	12	6,36
18	218,284	12	17,71
19	190	6,34315	6,48
20	190	17,6569	16,48
21	190	12	13,81
22	190	12	12,92
23	190	12	14,43
24	190	12	11,28

Fuente: Esta investigación.

Los datos del desarrollo de la tostión están consignados en el Anexo A.

La tabla ANOVA permite encontrar que factores e interacciones son estadísticamente significativos. Dado que el p-value es menor de 0.05 (nivel de significancia establecido) para todos los factores e interacciones estudiados, entonces estos tienen un efecto significativo sobre la variabilidad en el rendimiento de aceite.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 27.), se puede afirmar que todos los factores y sus interacciones son estadísticamente significativos ya que su p-value son menores de 0.05, es decir con un nivel de confianza es del 95%.

Cuadro 27. Tabla ANOVA para rendimiento en café supremo

Analysis of Variance for Rendimiento					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Temperatura	192,118	1	192,118	144,17	0,0000
B:Tiempo	157,154	1	157,154	117,93	0,0000
AA	7,9633	1	7,9633	5,98	0,0257
AB	12,054	1	12,054	9,05	0,0079
BB	14,5522	1	14,5522	10,92	0,0042
blocks	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
Total error	22,6535	17	1,33256		
Total (corr.)	402,947	23			

R-squared = 94,378 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 92,8164 percent
Standard Error of Est. = 1,15437
Mean absolute error = 0,802344
Durbin-Watson statistic = 2,21525 (P=0,2266)
Lag 1 residual autocorrelation = -0,185944

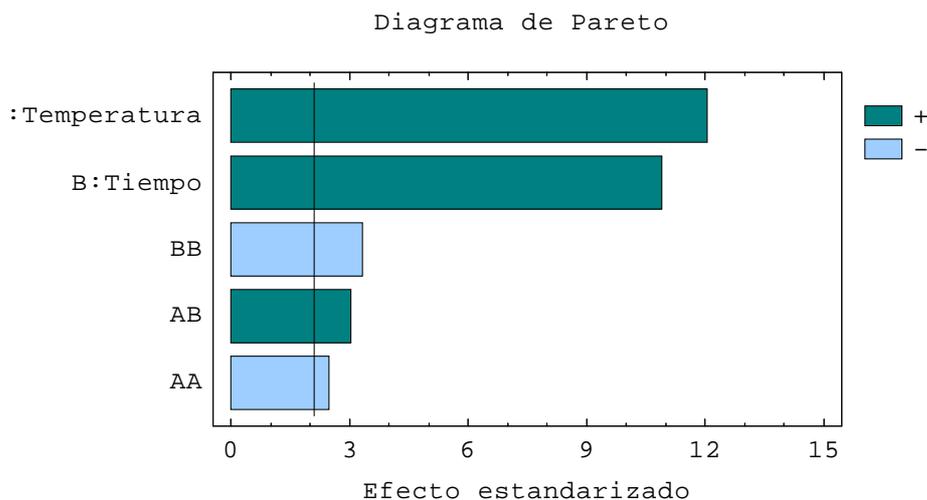
También se determino que el R - cuadrado (r-squared), indica que el modelo encontrado explica el 94.378% de la variabilidad en nuestra variable de respuesta.

El test de Durbin - Watson, indica que el valor de p es mayor de 0.05 (P=0.2266), lo que muestra que no hay autocorrelación en el residual de los datos, es decir que los experimentos fueron realizados aleatoriamente de manera adecuada.

El diagrama de Pareto de la Figura 20, indica que todas las variables y sus interacciones son estadísticamente significativas, al encontrarse a la derecha de la línea

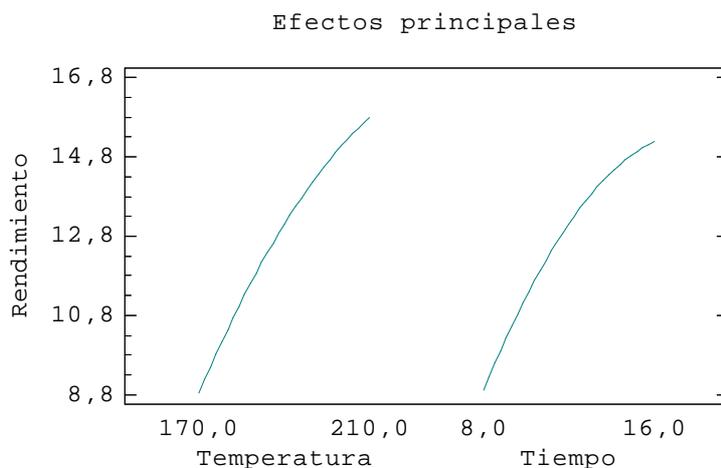
divisoria. Además se puede afirmar que en orden de importancia la temperatura y el tiempo son los factores más determinantes en el proceso de tostión, en función del rendimiento de aceite de café.

Figura 20. Diagrama de Pareto para rendimiento en café supremo



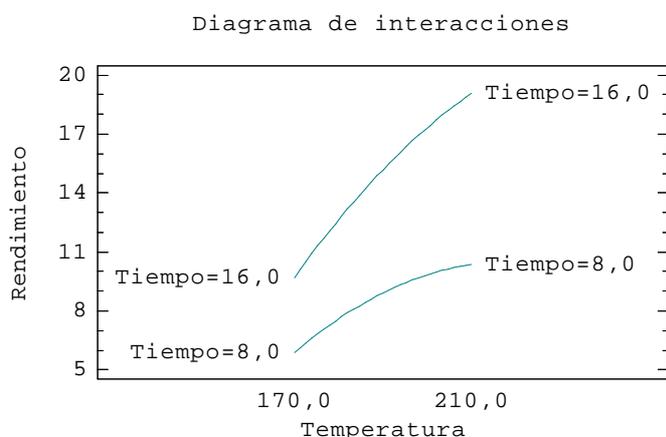
El diagrama de los efectos principales de la Figura 21, indica un marcado efecto de la temperatura y el tiempo sobre el rendimiento de aceite; esto significa que a medida que aumenta la temperatura aumenta el rendimiento y lo mismo ocurre con el tiempo.

Figura 21. Diagrama de efectos principales para el rendimiento en café supremo



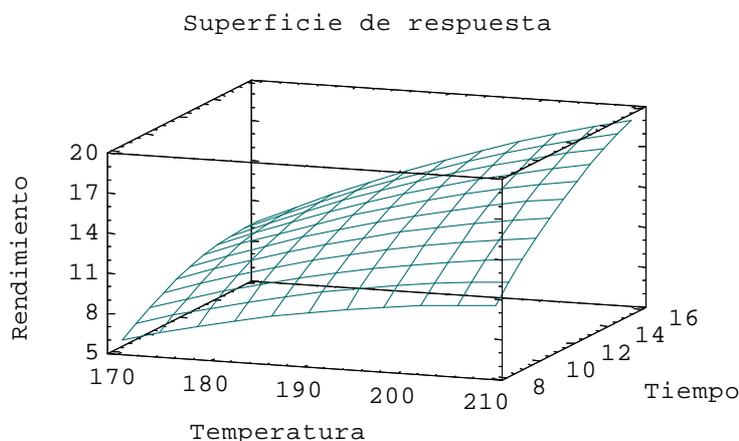
En el diagrama de interacciones de la Figura 22, la interacción del tiempo con la temperatura muestra una significancia estadística, porque al pasar de un nivel inferior (8 minutos) a un nivel superior (16 minutos), se indica un incremento considerable en el rendimiento. Como se puede observar en la figura, la pendiente del nivel superior con respecto a la pendiente del nivel inferior, es mayor.

Figura 22. Diagrama de interacciones para rendimiento café supremo



El análisis de la superficie de respuesta de la Figura 23, indica que las condiciones óptimas de temperatura y tiempo, se presentan a 218 °C y 18 minutos respectivamente. Estos valores se verifican en el cuadro de respuesta óptima (cuadro 28.), donde se encuentran con exactitud los resultados de dichas variables.

Figura 23. Superficie de respuesta para rendimiento café supremo



Cuadro 28. Respuesta óptima para rendimiento en café supremo

Optimize Response

Goal: maximize Rendimiento

Optimum value = 21,1876

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	161,716	218,284	218,284
Tiempo	6,34315	17,6569	17,6569

El modelo matemático para el Rendimiento en café supremo, se muestra en el cuadro 29. Este explica el Rendimiento a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Cuadro 29. Modelo matemático para el Rendimiento en café supremo

R = Rendimiento (%)

T = Temperatura (°C)

t = tiempo (min)

$$R = -75,0098 + 0,738461*T - 0,532442*t - 0,00197191*T^2 + 0,0153438*T*t - 0,0666402*t^2$$

6.1.2 Rendimiento de aceite en café Excelso, tipo consumo superior. En el cuadro 30 se presentan los resultados que se obtuvieron para la optimización del proceso de tostión en función del rendimiento del aceite de café excelso, tipo consumo superior obtenido.

Cuadro 30. Rendimiento de aceite en café excelso, tipo consumo superior

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO SOXHLET(%)
1	170	8	6,45
2	210	8	10,85
3	170	16	8,56
4	210	16	17,14
5	161,716	12	7,76
6	218,284	12	16,93
7	190	6,34315	6,31
8	190	17,6569	14,91
9	190	12	11,28
10	190	12	11,81
11	190	12	13,41

12	190	12	12,67
No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO SOXHLET (%)
13	170	8	6,45
14	210	8	10,85
15	170	16	8,56
16	210	16	17,14
17	161,716	12	7,76
18	218,284	12	16,93
19	190	6,34315	6,31
20	190	17,6569	14,91
21	190	12	11,28
22	190	12	11,81
23	190	12	13,41
24	190	12	12,67

Fuente: Esta investigación.

Los resultados del desarrollo de la tosti3n est3n consignados en el Anexo B.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 31.), se puede afirmar que los factores temperatura, tiempo, su respectiva interacci3n y el cuadrado del tiempo son estad3sticamente significativos ya que su p-value son menores de 0.05, es decir con un nivel de confianza del 95%. En el caso del cuadrado de la temperatura, su p-value es mayor de 0.05, lo que indica que no es estad3sticamente significativo.

Cuadro 31. Tabla ANOVA para rendimiento en caf3 excelso tipo consumo superior

Analysis of Variance for Rendimiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Temperatura	168,329	1	168,329	261,23	0,0000
B:Tiempo	105,702	1	105,702	164,04	0,0000
AA	0,310017	1	0,310017	0,48	0,4973
AB	8,7362	1	8,7362	13,56	0,0018
BB	13,3989	1	13,3989	20,79	0,0003
blocks	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
Total error	10,9542	17	0,644366		
Total (corr.)	307,152	23			

R-squared = 96,4336 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 95,443 percent

Standard Error of Est. = 0,802724

Mean absolute error = 0,5774

Durbin-Watson statistic = 2,21426 (P=0,2273)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,114141

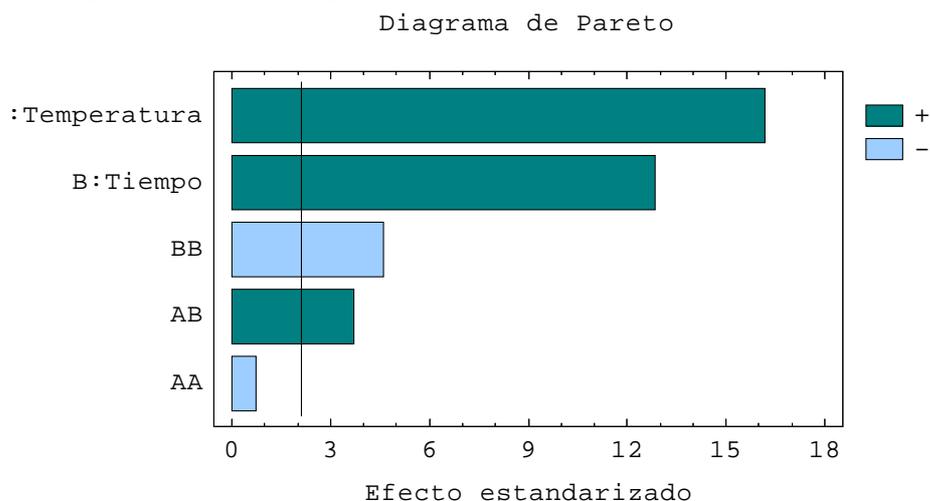
Tambi3n se determin3 que el R - cuadrado (r-squared), indica

que el modelo diseñado explica el 96.4336% de la variabilidad en el rendimiento.

El test de Durbin - Watson, indica que P - valor es mayor de 0.05 ($P=0.2273$), lo que muestra que no hay autocorrelación residual de los datos, es decir que los experimentos fueron realizados de una manera aleatoria adecuada.

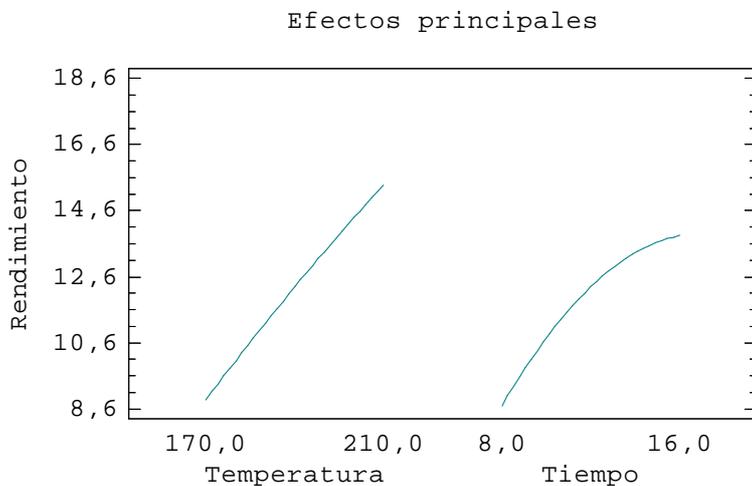
El diagrama de Pareto de la Figura 24, indica que las variables temperatura, tiempo, la interacción temperatura-tiempo y el cuadrado del tiempo son estadísticamente significativas, al encontrarse a la derecha de la línea divisoria. Además se puede afirmar que en orden de importancia la temperatura y el tiempo son los factores más determinantes en el proceso de tuestión, en función del rendimiento de aceite de café.

Figura 24. Diagrama de Pareto para rendimiento en café excelso tipo consumo superior



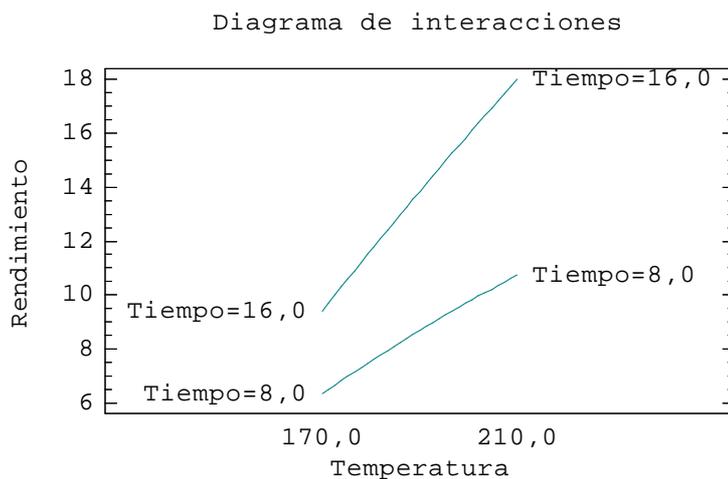
El diagrama de los efectos principales de la Figura 25, indica un marcado efecto de la temperatura sobre el rendimiento; esto significa que a medida que aumenta la temperatura aumenta el rendimiento de aceite. Por otra parte al aumentarse el tiempo, se muestra un leve descenso del rendimiento de aceite.

Figura 25. Diagrama de efectos principales para el rendimiento en café excelso tipo consumo superior



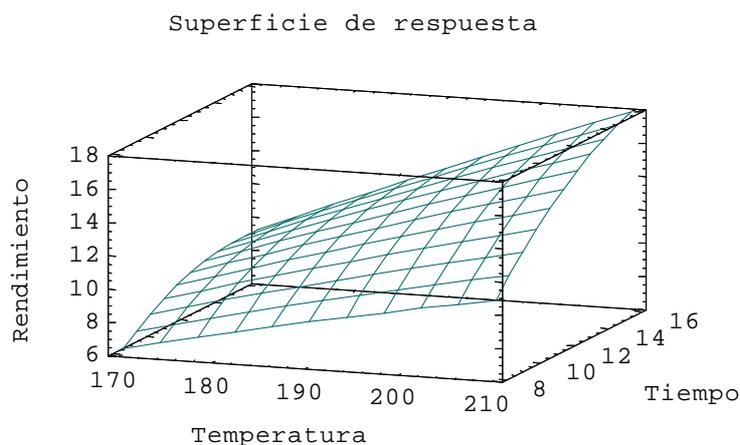
En el diagrama de interacciones de la Figura 26, la interacción del tiempo con la temperatura muestra una significancia estadística, porque al pasar de un nivel inferior (8 minutos) a un nivel superior (16 minutos), se indica un incremento considerable en el rendimiento. Como se puede observar en la figura, la pendiente del nivel superior con respecto a la pendiente del nivel inferior, es mayor.

Figura 26. Diagrama de interacciones para rendimiento café excelso tipo consumo superior



El análisis de la superficie de respuesta de la Figura 27, indica que las condiciones óptimas de temperatura y tiempo, se presentan a 218 °C y 18 minutos respectivamente. Estos valores se verifican en el cuadro de respuesta óptima (cuadro 32.), donde se encuentran con exactitud los resultados de dichas variables.

Figura 27. Superficie de respuesta para rendimiento café excelso tipo consumo superior



Cuadro 32. Respuesta óptima para rendimiento en café excelso tipo consumo superior

Optimize Response

Goal: maximize Rendimiento
Optimum value = 20,247

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	161,716	218,284	218,284
Tiempo	6,34315	17,6569	17,6569

El modelo matemático para el Rendimiento en café excelso tipo consumo superior, se muestra en el cuadro 33. Este explica el Rendimiento a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Cuadro 33. Modelo matemático para el Rendimiento en café excelso tipo consumo superior

R = Rendimiento (%)
 T = Temperatura (°C)
 t = tiempo (min)

$$R = -19,7034 + 0,153277*T - 0,304624*t - 0,000389076*T^2 + 0,0130625*T*t - 0,063945*t^2$$

6.1.3 Rendimiento de aceite en café Pasilla. En el cuadro 34 se presentan los resultados que se obtuvieron para la optimización del proceso de tosti3n en funci3n del rendimiento del aceite obtenido.

Cuadro 34. Rendimiento de aceite en caf3 pasilla

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO SOXHLET(%)
1	170	8	7,55
2	210	8	13,54
3	170	16	9,33
4	210	16	15,87
5	161,716	12	8,57
6	218,284	12	16,50
7	190	6,34315	7,46
8	190	17,6569	13,81
9	190	12	10,61
10	190	12	10,94
11	190	12	10,81
12	190	12	12,48
13	170	8	7,55
14	210	8	13,54
15	170	16	9,33
16	210	16	15,87
17	161,716	12	8,57
18	218,284	12	16,50
19	190	6,34315	7,46
20	190	17,6569	13,81
21	190	12	10,61
22	190	12	10,94
23	190	12	10,81
24	190	12	12,48

Fuente: Esta investigaci3n.

Los resultados del desarrollo de la tosti3n est3n consignados en el Anexo C.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 35.), se puede afirmar que

los factores de temperatura, tiempo y el cuadrado de la temperatura son estadísticamente significativos ya que sus p-value son menores de 0.05, es decir con un nivel de confianza es del 95%. En el caso de la interacción de temperatura-tiempo y el cuadrado del tiempo, tienen p-value mayor de 0.05, lo que indica que no son estadísticamente significativos.

Cuadro 35. Tabla ANOVA para rendimiento en café pasilla

Analysis of Variance for Rendimiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Temperatura	140,953	1	140,953	222,40	0,0000
B:Tiempo	42,8389	1	42,8389	67,59	0,0000
AA	5,56515	1	5,56515	8,78	0,0087
AB	0,15125	1	0,15125	0,24	0,6314
BB	1,08114	1	1,08114	1,71	0,2089
blocks	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
Total error	10,7745	17	0,633792		
Total (corr.)	202,663	23			

R-squared = 94,6835 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 93,2067 percent

Standard Error of Est. = 0,796111

Mean absolute error = 0,596833

Durbin-Watson statistic = 2,24087 (P=0,2086)

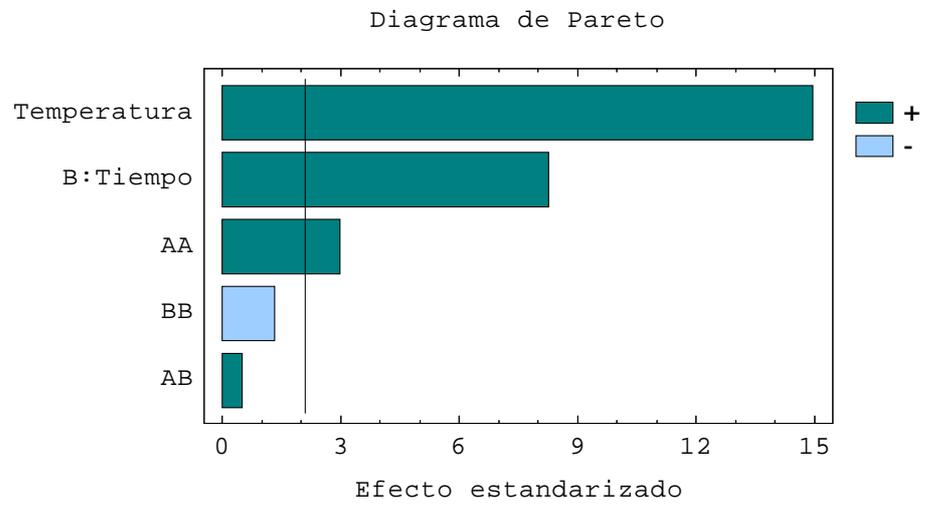
Lag 1 residual autocorrelation = -0,204193

También se determinó que el R - cuadrado (r-squared), indica que el modelo diseñado explica el 94.6835% de la variabilidad en el rendimiento.

El test de Durbin - Watson, indica que P - valor es mayor de 0.05 (P=0.2086), lo que muestra que no hay autocorrelación residual de los datos.

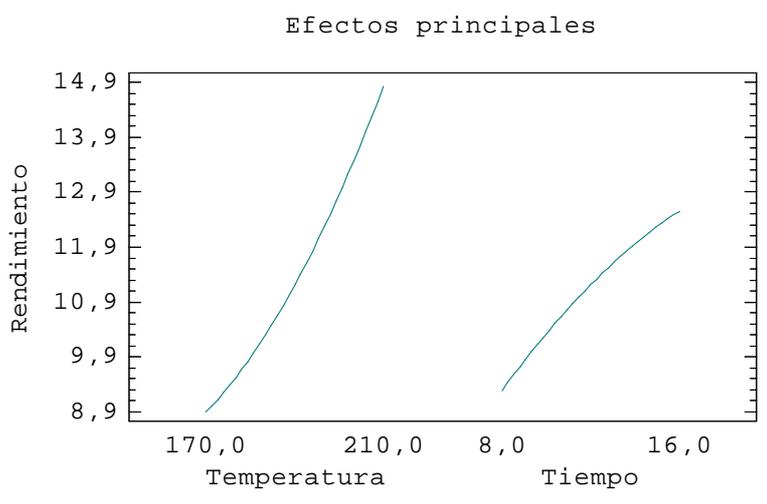
El diagrama de Pareto de la Figura 28, indica que las variables temperatura, tiempo y el cuadrado de la temperatura, son estadísticamente significativas, al encontrarse a la derecha de la línea divisoria. Además se puede afirmar que en orden de importancia la temperatura y el tiempo son los factores más determinantes en el proceso de tostión, en función del rendimiento de aceite de café. En el caso del cuadrado del tiempo y la interacción temperatura-tiempo, no son estadísticamente significativos, por encontrarse a la izquierda de la línea divisoria.

Figura 28. Diagrama de Pareto para rendimiento en café pasilla



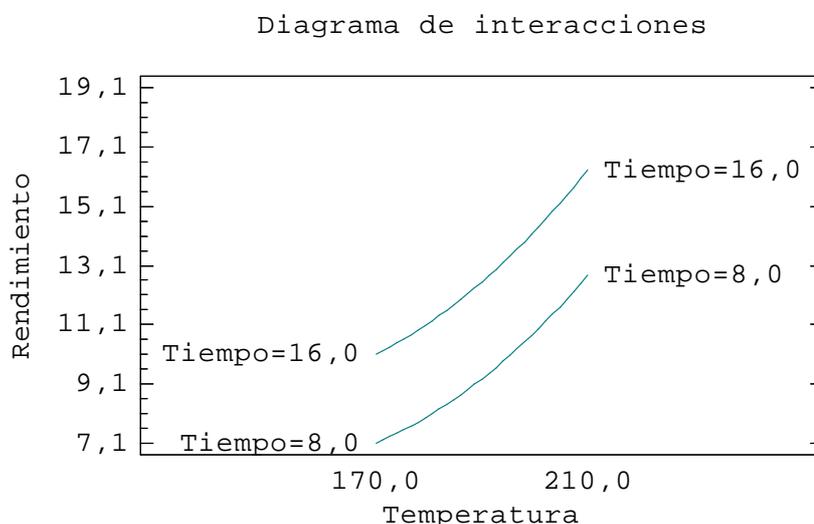
El diagrama de los efectos principales de la Figura 29, indica un marcado efecto de la temperatura y el tiempo sobre el rendimiento de aceite; esto significa que a medida que aumenta la temperatura aumenta el rendimiento y lo mismo ocurre con el tiempo.

Figura 29. Diagrama de efectos principales para el rendimiento en café pasilla



En el diagrama de interacciones de la Figura 30, la interacción del tiempo con la temperatura muestra una significancia estadística, porque al pasar de un nivel inferior (8 minutos) a un nivel superior (16 minutos), se indica un incremento en el rendimiento, pero no en la misma intensidad que en el café supremo y excelso. Como se puede observar en la figura, las pendientes de los niveles indican una aditividad.

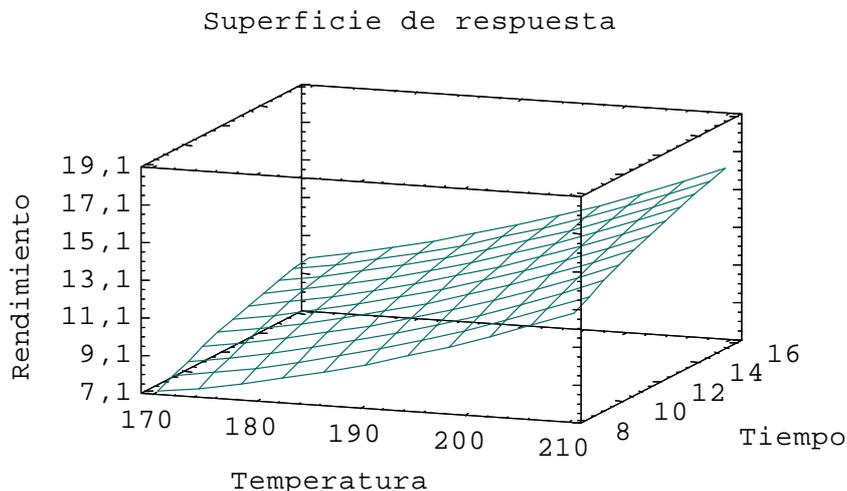
Figura 30. Diagrama de interacciones para rendimiento café pasilla



El análisis de la superficie de respuesta de la Figura 31, indica que las condiciones óptimas de temperatura y tiempo, se presentan a 218 °C y 18 minutos respectivamente. Estos valores se verifican en el cuadro de respuesta óptima (cuadro 36.), donde se encuentran con exactitud los resultados de dichas variables.

El rendimiento esperado en aceite de café pasilla es menor en comparación con los indicados para café supremo y excelso tipo consumo superior.

Figura 31. Superficie de respuesta para rendimiento café pasilla



Cuadro 36. Respuesta óptima para rendimiento en café pasilla

Optimize Response

Goal: maximize Rendimiento

Optimum value = 18,734

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	161,716	218,284	218,284
Tiempo	6,34315	17,6569	17,6569

El modelo matemático para el Rendimiento en café pasilla, se muestra en el cuadro 37. Este explica el Rendimiento a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Cuadro 37. Modelo matemático para el Rendimiento en café pasilla

R = Rendimiento (%)

T = Temperatura (°C)

t = tiempo (min)

$$R = 38,9169 - 0,498637*T + 0,518446*t + 0,00164847*T^2 + 0,00171875*T*t - 0,0181641*t^2$$

6.1.4 Análisis de la impresión global en café supremo.

Como anteriormente se afirmó la impresión global describe las características organolépticas globales del café, dadas en el panel de catación. Es importante tener en cuenta que se parte de una evaluación cualitativa para llegar a una cuantitativa, teniendo como referencia el manual de catación del programa de cafés especiales de Colombia, lo que permite realizar el análisis estadístico y observar el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la impresión global.

En el cuadro 38 se presentan los resultados obtenidos para la optimización del proceso de tuestión en función de la Impresión Global del café supremo.

Cuadro 38. Impresión Global de café supremo

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	IMPRESIÓN GLOBAL
1	170	8	7,47
2	210	8	8,03
3	170	16	8,67
4	210	16	8,30
5	161,716	12	7,80
6	218,284	12	8,32
7	190	6,34315	7,45
8	190	17,6569	8,32
9	190	12	8,57
10	190	12	8,65
11	190	12	8,50
12	190	12	8,67
13	170	8	7,40
14	210	8	8,62
15	170	16	8,30
16	210	16	8,37
17	161,716	12	7,37
18	218,284	12	8,52
19	190	6,34315	7,42
20	190	17,6569	8,45
21	190	12	8,57
22	190	12	8,75
23	190	12	8,67
24	190	12	8,52

Fuente: Esta investigación.

Los datos del desarrollo de la catación para café supremo están consignados en el Anexo E.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 39.), se puede afirmar que

todos los factores y sus interacciones son estadísticamente significativos ya que su p-value son menores de 0.05, es decir con un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 39. Tabla ANOVA para impresión global en café supremo

Analysis of Variance for Impresión Global

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Temperatura	1,0222	1	1,0222	32,05	0,0000
B:Tiempo	1,34968	1	1,34968	42,32	0,0000
AA	0,86944	1	0,86944	27,26	0,0001
AB	0,45125	1	0,45125	14,15	0,0016
BB	1,23504	1	1,23504	38,72	0,0000
blocks	0,0054	1	0,0054	0,17	0,6859
Total error	0,542214	17	0,0318949		

Total (corr.) 5,13113 23

R-squared = 89,4329 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 86,4975 percent

Standard Error of Est. = 0,178592

Mean absolute error = 0,114997

Durbin-Watson statistic = 2,26576 (P=0,1919)

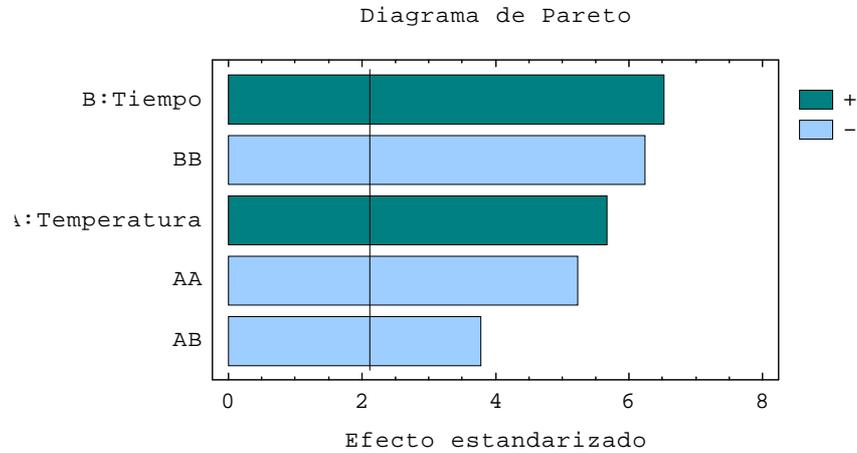
Lag 1 residual autocorrelation = -0,189993

También se determinó que el R - cuadrado (r-squared), indica que el modelo diseñado explica el 89.4329% de la variabilidad en nuestra variable de respuesta.

El test de Durbin - Watson, indica que P - valor es mayor de 0.05 (P=0.1919), lo que muestra que no hay autocorrelación residual de los datos.

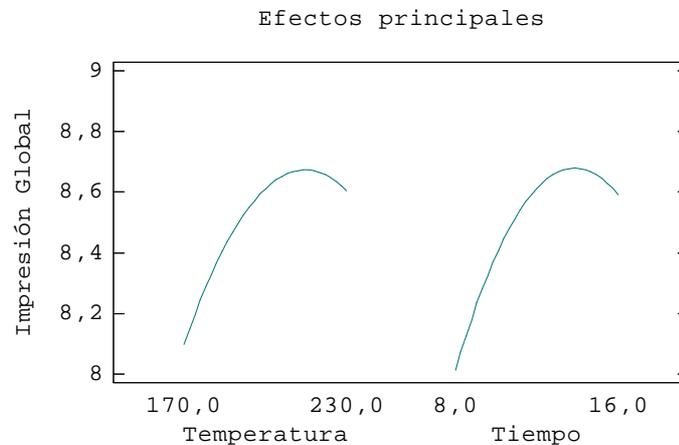
El diagrama de Pareto de la Figura 32, indica que todas las variables y sus interacciones son estadísticamente significativas, al encontrarse a la derecha de la línea divisoria. Además se puede afirmar que en orden de importancia el tiempo, el cuadrado del tiempo y la temperatura, son los factores más importantes en el proceso de tostión, en función de la Impresión Global del café supremo.

Figura 32. Diagrama de Pareto para la impresión global en café supremo



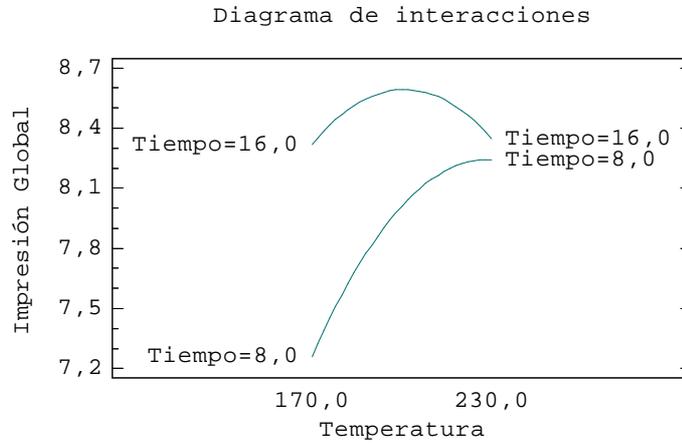
El diagrama de los efectos principales de la Figura 33, indica que el efecto de la temperatura y el tiempo de tostión sobre la Impresión Global del café supremo, comienza a descender aproximadamente a los 215 °C y a los 14 minutos.

Figura 33. Diagrama de efectos principales para la impresión global en café supremo



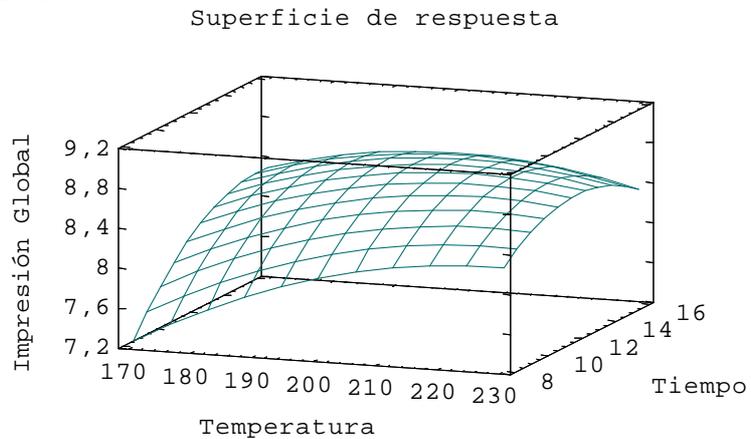
En el diagrama de interacciones de la Figura 34, la interacción del tiempo en su nivel inferior muestra una significancia estadística, porque a este nivel y con un rango de temperatura entre 170°C y 230°C, se indica un incremento considerable en la Impresión Global del café supremo. Por otra parte la interacción del tiempo en su nivel superior, indica un decrecimiento de la Impresión Global a una temperatura aproximada de 200°C.

Figura 34. Diagrama de interacciones para la impresión global en café supremo



El análisis de la superficie de respuesta de la Figura 35, indica que las condiciones óptimas de temperatura y tiempo, se presentan a 210°C y 13.3 minutos respectivamente. Estos valores se verifican en el cuadro de respuesta óptima (cuadro 35.), donde se encuentran con exactitud los resultados de dichas variables.

Figura 35. Superficie de respuesta para la impresión global en café supremo



Cuadro 40. Respuesta óptima para la impresión global en café supremo

Optimize Response

Goal: maximize Impresión Global

Optimum value = 8,70372

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	157,574	242,426	209,867
Tiempo	6,34315	17,6569	13,3676

El modelo matemático para la impresión global en café supremo, se muestra en el cuadro 41. Este explica la Impresión global a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Cuadro 41. Modelo matemático para la impresión global en café supremo

Impresión Global = I.G.

Temperatura = T (°C)

Tiempo = t (min)

$$I.G. = -13,073 + 0,14801*T + 0,934377*t - 0,000289587*T^2 - 0,00197917*T*t - 0,0194139*t^2$$

6.1.5 Análisis de la impresión global en café excelso tipo consumo superior.

La impresión global en café excelso tipo consumo superior, se caracterizó por presentar el defecto de reposo, el cual se evidenció de una forma marcada en la prueba de taza; lo que impidió realizar un análisis significativo de las variables a estudiar.

El Reposo se debe principalmente a almacenamientos prolongados en condiciones poco favorables, haciendo que el aroma, sabor y acidez disminuyan de manera considerable. Por lo anterior este defecto es castigado con severidad, haciendo que para los efectos de la investigación, este café no cumple con los requisitos necesarios para la extracción de un aceite de buena calidad.

En el cuadro 42., se presentan los resultados obtenidos para

la optimización del proceso de tuestión en función de la Impresión Global del café excelso tipo consumo superior.

Cuadro 42. Impresión Global de café excelso tipo consumo superior

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	IMPRESIÓN GLOBAL
1	170	8	7,27
2	210	8	8,12
3	170	16	7,45
4	210	16	8,45
5	161,716	12	6,27
6	218,284	12	8,22
7	190	6,34315	6,27
8	190	17,6569	8,47
9	190	12	8,57
10	190	12	8,35
11	190	12	5,80
12	190	12	8,60
13	170	8	3,77
14	210	8	3,57
15	170	16	3,60
16	210	16	8,52
17	161,716	12	8,17
18	218,284	12	8,52
19	190	6,34315	7,17
20	190	17,6569	6,12
21	190	12	3,65
22	190	12	3,72
23	190	12	3,77
24	190	12	8,57

Fuente: Esta investigación.

Los datos del desarrollo de la catación para café excelso tipo consumo superior están consignados en el Anexo F.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 43.), se puede afirmar que todos los factores y sus interacciones NO son estadísticamente significativos ya que su p-value son mayores de 0.05, es decir que se confirma la hipótesis nula.

H_0 = Hipótesis nula = El efecto de los factores es igual a cero (0). (No son estadísticamente significativos).

$\alpha = 0.05$ → Nivel de significancia

$P < \alpha$ → Rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ → No se rechaza la hipótesis nula

Cuadro 43. Tabla ANOVA para impresión global en café excelso tipo consumo superior

Analysis of Variance for Impresión Global

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:temperatura	229,732	1	229,732	1,27	0,2745
B:Tiempo	311,222	1	311,222	1,73	0,2062
AA	89,5732	1	89,5732	0,50	0,4903
AB	426,028	1	426,028	2,36	0,1425
BB	64,8864	1	64,8864	0,36	0,5564
blocks	310,608	1	310,608	1,72	0,2067
Total error	3063,29	17	180,194		
Total (corr.)	4470,01	23			

R-squared = 31,4702 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 12,4341 percent

Standard Error of Est. = 13,4236

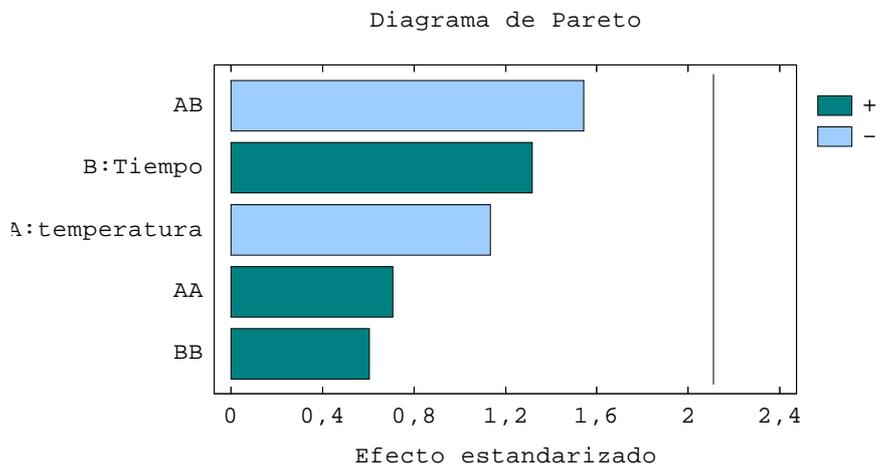
Mean absolute error = 6,6785

Durbin-Watson statistic = 2,22795 (P=0,2176)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,119461

El diagrama de Pareto de la Figura 36, indica que todas las variables y sus interacciones NO son estadísticamente significativas, al encontrarse a la izquierda de la línea divisoria.

Figura 36. Diagrama de Pareto para la impresión global en café excelso tipo consumo superior



6.1.6 Análisis de la impresión global en café pasilla.

En el cuadro 44 se presentan los resultados obtenidos para la optimización del proceso de tuestión en función de la Impresión Global del café pasilla.

Cuadro 44. Impresión Global de café pasilla

No. DE EXPERIMENTO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	IMPRESIÓN GLOBAL
1	170	8	4,50
2	210	8	4,67
3	170	16	5,75
4	210	16	6,12
5	161,716	12	4,90
6	218,284	12	5,62
7	190	6,34315	4,60
8	190	17,6569	6,15
9	190	12	6,02
10	190	12	7,30
11	190	12	6,35
12	190	12	7,35
13	170	8	5,77
14	210	8	4,90
15	170	16	6,45
16	210	16	5,75
17	161,716	12	5,55
18	218,284	12	5,72
19	190	6,34315	5,67
20	190	17,6569	8,05
21	190	12	7,77
22	190	12	8,30
23	190	12	7,67
24	190	12	8,10

Fuente: Esta investigación.

Los datos del desarrollo de la catación para café pasilla están consignados en el Anexo G.

Al analizar la tabla ANOVA (Cuadro 45.), se puede afirmar que los factores cuadrado de la temperatura, cuadrado del tiempo y tiempo son estadísticamente significativos ya que su p-value son menores de 0.05, es decir con un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 45. Tabla ANOVA para impresión global en café pasilla

Analysis of Variance for Impresión Global

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Temperatura	0,00326724	1	0,00326724	0,01	0,9137
B:Tiempo	5,81595	1	5,81595	21,54	0,0002
AA	13,6208	1	13,6208	50,45	0,0000
AB	0,0171125	1	0,0171125	0,06	0,8042
BB	5,98958	1	5,98958	22,18	0,0002
blocks	4,56754	1	4,56754	16,92	0,0007
Total error	4,58973	17	0,269984		
Total (corr.)	31,6576	23			

R-squared = 85,5019 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 81,4747 percent

Standard Error of Est. = 0,5196

Mean absolute error = 0,333958

Durbin-Watson statistic = 2,04593 (P=0,3640)

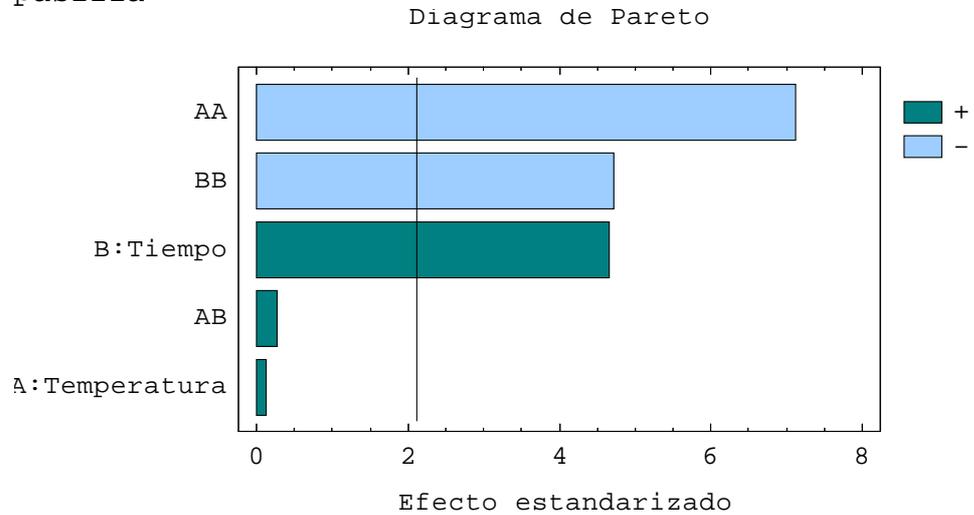
Lag 1 residual autocorrelation = -0,0351589

También se determinó que el R - cuadrado (r-squared), indica que el modelo diseñado explica el 85.5019% de la variabilidad en nuestra variable de respuesta.

El test de Durbin - Watson, indica que P - valor es mayor de 0.05 (P=0.3640), lo que muestra que no hay autocorrelación residual de los datos.

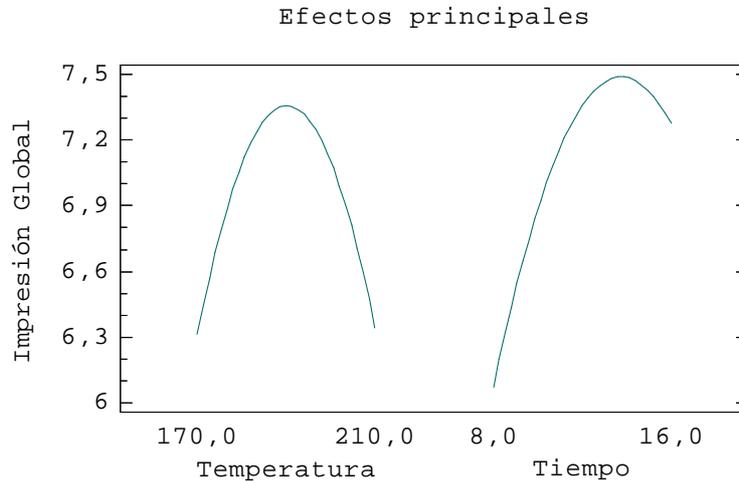
El diagrama de Pareto de la Figura 37, indica que los factores cuadrado de la temperatura, cuadrado del tiempo y tiempo son estadísticamente significativos por encontrarse a la derecha de la línea divisoria. Por otra parte el factor temperatura y la interacción tiempo-temperatura no son estadísticamente significativos por encontrarse a la izquierda de la línea divisoria.

Figura 37. Diagrama de Pareto para la impresión global en café pasilla



El diagrama de los efectos principales de la Figura 38, indica que el efecto de la temperatura y el tiempo de tostión sobre la Impresión Global del café pasilla, comienza de descender aproximadamente a los 190 °C y a los 14 minutos.

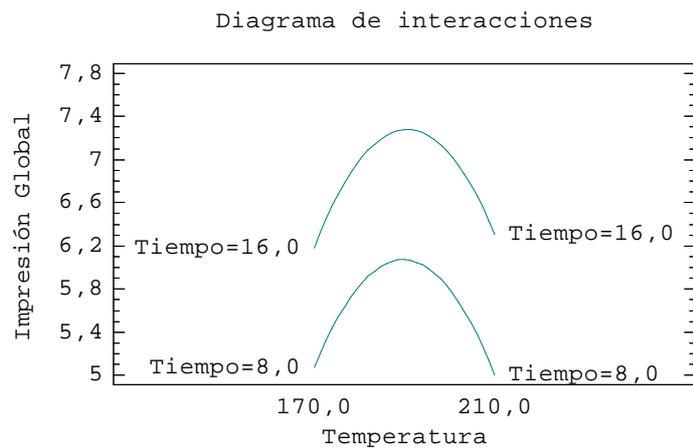
Figura 38. Diagrama de efectos principales para la impresión global en café pasilla



Como se puede observar en el diagrama de interacciones de la figura 39, las pendientes de los niveles de tiempo, tanto superior como inferior indican una aditividad. Esto se refiere a que si empleamos el nivel superior de tiempo bajo el rango de temperatura entre 170°C y 210°C, se evidencia un

crecimiento significativo de la Impresión Global hasta una temperatura aproximada de 190°C, después de la cual esta comienza a descender. El mismo comportamiento se presenta empleando el nivel inferior de tiempo, pero con una menor Impresión Global.

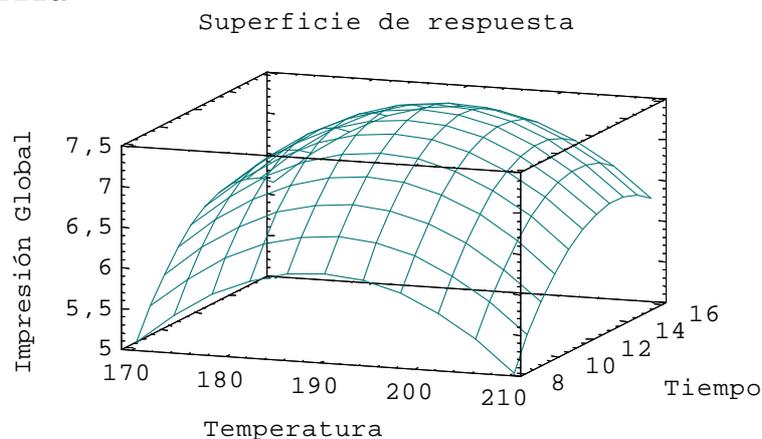
Figura 39. Diagrama de interacciones para la impresión global en café pasilla



El análisis de la superficie de respuesta de la Figura 40, indica que las condiciones óptimas de temperatura y tiempo, se presentan a 190°C y 14 minutos respectivamente. Los factores y niveles representan adecuadamente la respuesta estudiada, por la curvatura dada.

Estos valores se verifican en el cuadro de respuesta óptima (cuadro 46.), donde se encuentran con exactitud los resultados de dichas variables.

Figura 40. Superficie de respuesta para la impresión global en café pasilla



Cuadro 46. Respuesta óptima para la impresión global en café pasilla

Optimize Response

 Goal: maximize Impresión Global
 Optimum value = 7,49064

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	161,716	218,284	190,336
Tiempo	6,34315	17,6569	13,7659

El modelo matemático para la impresión global en café pasilla, se muestra en el cuadro 47, la cual explica la Impresión global a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados. Se debe tener en cuenta que el error medio absoluto fue bajo y por lo tanto el modelo matemático es adecuado para predecir el comportamiento de las variables evaluadas. La ecuación se presenta de la siguiente manera:

Cuadro 47. Modelo matemático para la impresión global en café pasilla

Impresión Global = I.G.
 Temperatura = T (°C)
 Tiempo = t (min)

$$I.G. = -92,5254 + 0,973778*T + 1,06696*t - 0,00257895*T^2 - 0,000578125*T*t - 0,0427534*t^2$$

6.2 Determinación del grado de tosti3n por colorimetría. Como ya se había expuesto anteriormente el análisis de colorimetría se realizó en el equipo Agtron E10-CP, el cual arrojó resultados numéricos que explican las longitudes de onda reflejadas en la muestra, descrito en el siguiente cuadro:

Cuadro 48. Análisis colorimétrico de tosti3n

ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE TOSTI3N

No.	TIPO DE CAFÉ	TEMPERATURA °C	TIEMPO min.	Agtron E10-CP	DESCRIPCI3N DE LA TOSTI3N
1	Café Supremo	170	8	96,3	Excesivamente claro
2	Café Supremo	210	8	67,2	Muy claro
3	Café Supremo	170	16	63,8	Muy claro
4	Café Supremo	210	16	26,3	Muy oscuro
5	Café Supremo	161,716	12	96,3	Excesivamente claro
6	Café Supremo	218,284	12	26,5	Muy oscuro
7	Café Supremo	190	6,34	96,3	Excesivamente claro
8	Café Supremo	190	17,65	27,8	Muy oscuro
9	Café Supremo	190	12	51,5	Medio claro
10	Café Supremo	190	12	54,7	Claro medio
11	Café Supremo	190	12	42,2	Medio oscuro
12	Café Supremo	190	12	56,4	Claro medio
13	Café Excelso C.S	170	8	96,3	Excesivamente claro
14	Café Excelso C.S	210	8	68,2	Extremadamente claro
15	Café Excelso C.S	170	16	75,5	Excesivamente claro
16	Café Excelso C.S	210	16	26	Muy oscuro
17	Café Excelso C.S	161,716	12	93,6	Excesivamente claro
18	Café Excelso C.S	218,284	12	13,5	Excesivamente oscuro
19	Café Excelso C.S	190	6,34	96,3	Excesivamente claro
20	Café Excelso C.S	190	17,65	32,6	Oscuro
21	Café Excelso C.S	190	12	53,2	Claro medio
22	Café Excelso C.S	190	12	56,1	Claro medio
23	Café Excelso C.S	190	12	48,3	Medio claro
24	Café Excelso C.S	190	12	52,6	Medio claro
25	Café Pasilla	170	8	96,3	Excesivamente claro
26	Café Pasilla	210	8	60,3	Claro
27	Café Pasilla	170	16	74,5	Excesivamente claro
28	Café Pasilla	210	16	31,1	Oscuro
29	Café Pasilla	161,716	12	85,7	Excesivamente claro
30	Café Pasilla	218,284	12	17,2	Excesivamente oscuro
31	Café Pasilla	190	6,34	96,3	Excesivamente claro
32	Café Pasilla	190	17,65	43,9	Medio
33	Café Pasilla	190	12	65,9	Muy claro
34	Café Pasilla	190	12	65,9	Muy claro
35	Café Pasilla	190	12	67	Muy claro
36	Café Pasilla	190	12	56,1	Claro medio

Fuente: Esta investigaci3n.

Como se evidencia en el cuadro 48, el equipo Agtron E10-CP, cuantifica el color de cada muestra de café tostado; encontrando que entre mayor sea el valor, más clara es la tostión y entre menor sea el valor, la tostión es más oscura.

Según los estándares de tostión mundial descritos en el Cuadro 9., los puntos óptimos de tostión obtenidos para café supremo y café pasilla, se encuentran entre los valores de 23 y 43, que describen tostiones que van de muy oscuras a medio oscuras.

6.3 Determinación del punto óptimo de tostión para café supremo y café pasilla.

Teniendo en cuenta los análisis estadísticos que arroja el programa Statgraphics, se observa los diferentes puntos óptimos de tostión en cuanto a rendimiento e impresión global, tanto para café supremo como para café pasilla. Al analizar las condiciones óptimas de tostión en función del rendimiento y de la impresión global, se observa que éstas son diferentes dependiendo de la respuesta evaluada tal como se muestra en el cuadro 49.

Cuadro 49. Condiciones óptimas de tostión en café supremo

PUNTO ÓPTIMO DE TOSTIÓN CAFÉ SUPREMO

RENDIMIENTO		IMPRESIÓN GLOBAL	
Temperatura °C	Tiempo min.	Temperatura °C	Tiempo min.
218,284	17,6569	209,867	13,3676

Fuente: Esta investigación.

Dado que las condiciones de temperatura y tiempo, son diferentes, se buscaron unas condiciones que permitieran establecer una relación de compromiso entre el rendimiento de aceite de café supremo y su impresión global, de manera que no se sacrificaran considerablemente ninguna de las respuestas evaluadas. Para ello se utilizaron los modelos estadísticos de rendimiento e impresión global y se optimizaron las respuestas, buscando que las condiciones de temperatura y tiempo proporcionarán un rendimiento e impresión global máximos.

El Cuadro 50. muestra los resultados obtenidos de la optimización del rendimiento de aceite e impresión global para café supremo.

Cuadro 50. Optimización del rendimiento e impresión global con las variables temperatura y tiempo en café supremo

TEMPERATURA °C	TIEMPO min.	RENDIMIENTO %	IMPRESIÓN GLOBAL
218,3	17,6	21,1	8,2
218,3	13,4	17,9	8,7
214	15,5	19,3	8,6
209,9	13,4	17,1	8,7
209,9	17,6	19,8	8,3
214	17,6	20,5	8,3
214	13,4	17,6	8,7
218,3	15,5	19,8	8,5
209,9	15,5	18,7	8,6

Fuente: Esta investigación

Las condiciones que presentan la mejor relación de compromiso entre rendimiento e impresión global, para café supremo, están a una temperatura de 209.9 °C y a un tiempo de 13.4 minutos, proporcionando un rendimiento del 17.1% y una impresión global de 8.7.

Cuadro 51. Condiciones óptimas de tuestión en café pasilla

PUNTO ÓPTIMO DE TOSTIÓN CAFÉ PASILLA

RENDIMIENTO %		IMPRESIÓN GLOBAL	
Temperatura °C	Tiempo min.	Temperatura °C	Tiempo min.
218.284	17.6569	190.336	13.7659

Fuente: Esta investigación

En este caso también se estableció una relación de compromiso entre el rendimiento de aceite de café pasilla y su impresión global, de tal manera que no se sacrificaran apreciablemente ninguna de las respuestas evaluadas.

Cuadro 52. Optimización del rendimiento e impresión global con las variables temperatura y tiempo en café pasilla

TEMPERATURA °C	TIEMPO min	RENDIMIENTO %	IMPRESIÓN GLOBAL
218,3	17,6	18,7	4,9
218,3	13,8	17,5	5,5
218,3	15,7	18,2	5,3
190,3	13,7	11,9	7,5
190,3	17,6	13,0	6,8
190,3	15,7	12,5	7,3
204,3	15,7	15,0	6,8
204,3	17,6	15,5	6,4
204,3	13,7	14,4	7,0

Fuente: Esta investigación

Las condiciones que presentan la mejor relación de compromiso entre rendimiento e impresión global, para café pasilla, están a una temperatura de 204.3 °C y a un tiempo de 13.7 minutos, proporcionando un rendimiento del 14.4% y una impresión global de 7.

6.4 Evaluación y discusión de resultados del proceso de extracción de aceite de café por arrastre por vapor. Las observaciones y conclusiones encontradas en cada uno de los ensayos propuestos, se indican a continuación:

- ✓ El primer montaje (Figura 8), después de transcurrido el tiempo de exposición del café tostado y molido, al vapor vivo, no se evidenció aceite en el vaso separador de fases, por lo cual se recogió el condensado en un vaso florentino para dejarlo reposar. Este no contuvo aceite. Lo que si se pudo evidenciar fue que el condensado contenía una gran carga de compuestos volátiles, porque al percibirlo, éste presentaba el aroma característico de la bebida de café. Se puede afirmar que el ensayo fue ineficiente ya que al destapar el tanque de extracción, el café se encontraba seco y solo poseía humedad en la parte central, es decir, por la parte donde se había inyectado el vapor. Por lo tanto este tratamiento se lo considera no apropiado para los efectos de extracción.

- ✓ El segundo montaje (Figura 9), tampoco evidenció resultados positivos, ya que el vapor generado de la solución café-agua, en el evaporador, no arrastró consigo el aceite. En este ensayo no se presentó ninguna evidencia de aceite en el vaso separador de fases, por lo cual este procedimiento se lo considera no apropiado para los efectos de extracción.
- ✓ Para el tercer y cuarto montaje (Figuras 10 y 11), se trató de mejorar la eficiencia del sistema con los niveles de muselina, para que el vapor vivo inyectado a la unidad pueda pasar por toda la superficie del café tanto, en grano molido como entero y así arrastrar consigo el aceite. Como en los anteriores ensayos no se obtuvo ningún resultado positivo. El condensado se recogió en un vaso florentino para dejarlo reposar, pero transcurrido el tiempo no se observó aceite sobrenadante, por lo tanto este ensayo se lo considera no apropiado para los efectos de extracción.
- ✓ En el quinto ensayo (Figura 12), se recogió el condensado en un recipiente para dejar reposar y determinar o no la presencia de aceite, pero tampoco se evidenció la presencia del mismo. Este ensayo se lo considera no apropiado para los efectos de extracción.
- ✓ En el sexto ensayo (Figura 13), se trató de mejorar el sistema de extracción con el montaje de las capas de muselina. Después de transcurrido el tiempo de extracción, se recogió el condensado en un vaso florentino y se lo dejó reposar. Posteriormente se revisó el condensado pero éste tampoco contenía aceite. Por lo tanto este ensayo se descartó para los efectos de la extracción de aceite.

Después de haber analizado cada uno de los anteriores ensayos se concluyó que el sistema de extracción de aceite por arrastre con vapor, no es el más adecuado, debido a que ninguna prueba evidenció la presencia del mismo. Lo que sí se puede afirmar es que los compuestos volátiles del café fueron arrastrados por el vapor, ya que todos los condensados poseían el aroma característico de la bebida de café.

Según Oliveira, Cruz, Eberlin y Cabral. Aceite de café Brasileño obtenido por expulsado mecánico, análisis composicional por GC/MS. Ciencia y tecnología de alimentos,

Campinas, Brazil, 2.005., la aplicación de calor en la tostión, induce a muchos cambios en los granos y los compuestos aromáticos son formados principalmente por la pirólisis de los compuestos hidrosolubles presentes en los granos; la fracción lipídica de los granos sufre pequeños cambios y protege a los compuestos aromáticos de la degradación por la tostión. La fracción aromática es suficientemente soluble en agua y confiere las características del café tostado a la bebida. Durante la preparación de la bebida, la fracción lipídica no comienza a solubilizarse en el agua, en su mayor parte se retiene en los conchos. Cuando se usa presión, el aceite de café contiene una buena proporción de constituyentes aromáticos de baja y media volatilidad. El aceite de café obtenido contiene además de contenidos lipídicos, diterpenos, cafesterol y kahweol.

Por lo anterior se puede concluir que solo la fracción aromática fue arrastrada por el vapor, al ser hidrosoluble, por lo tanto el aceite queda retenido y no es posible extraerse al poseer un elevado peso molecular y baja solubilidad.

6.5 Evaluación y discusión de los resultados del proceso de obtención de aceite de café por prensado. La extracción de aceite por prensado se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en el numeral 5.4, donde la fuerza ejercida se mantuvo durante una hora.

Después de realizados los ensayos experimentales, se obtuvieron los siguientes resultados, que se describen en los cuadros 53, 54, 55 y 56.

Cuadro 53. Resultados del proceso de prensado para café supremo, base de cálculo 10 g.

**EXPERIMENTOS PRENSADO - CAFÉ SUPREMO
BASE DE CALCULO: 10 (g)**

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000	0,3179	3,2
2	18.000	30.000	0,3193	3,2
3	21.000	35.000	0,3474	3,4
4	24.000	40.000	0,3102	3,1
5	27.000	45.000	0,2882	2,8
6	30.000	50.000	0	0

Fuente: Esta investigación

Cuadro 54. Resultados del proceso de prensado para café supremo, base de cálculo 20 g.

EXPERIMENTOS PRENSADO - CAFÉ SUPREMO

BASE DE CALCULO: 20 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000	0	0
2	18.000	30.000	0	0
3	21.000	35.000	0,5398	2,7
4	24.000	40.000	0,3764	1,9
5	27.000	45.000	0,5362	2,7
6	30.000	50.000	0,5275	2,6

Fuente: Esta investigación

Cuadro 55. Resultados del proceso de prensado para café pasilla, base de cálculo 10 g.

EXPERIMENTOS PRENSADO - CAFÉ PASILLA

BASE DE CALCULO: 10 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000	0,0788	0,7
2	18.000	30.000	0,2386	2,4
3	21.000	35.000	0,4023	4
4	24.000	40.000	0,3378	3,4
5	27.000	45.000	0	0
6	30.000	50.000	0	0

Fuente: Esta investigación

Cuadro 56. Resultados del proceso de prensado para café pasilla, base de cálculo 20 g.

EXPERIMENTOS PRENSADO - CAFÉ PASILLA

BASE DE CALCULO: 20 (g)

No.	Fuerza (Kg.f)	Presión (psi)	Aceite drenado (g)	Rendimiento (%)
1	15.000	25.000	0,0447	0,2
2	18.000	30.000	0,1722	0,9
3	21.000	35.000	0,3939	2
4	24.000	40.000	0,3216	1,6
5	27.000	45.000	0	0
6	30.000	50.000	0	0

Fuente: Esta investigación

Para el desarrollo de los experimentos de prensado fue determinante tener en cuenta el volumen de la camisa del sistema a menor escala, puesto que éste permite almacenar hasta 20 gramos de materia prima, es por esto que además de utilizar esta cantidad, también se realizó los ensayos empleando 10 gramos, con el fin de establecer de una mejor manera, la eficiencia del sistema y poder determinar si a menor fuerza ejercida se logra un mayor rendimiento.

De los anteriores resultados se puede concluir que los mayores rendimientos de aceite tanto para café supremo como para café pasilla, son de 3.4 y 4% respectivamente, empleando 10 gramos de muestra de café tostado en grano entero a una presión ejercida sobre la muestra de 35.000 psi.

Los resultados del proceso de prensado evidencian que el aceite comienza a drenar, cuando se mantiene una presión de 25.000 psi durante una hora, a excepción del experimento de prensado utilizando 20 gramos de café supremo, el cual empieza a drenar cuando se mantiene una presión de 35.000 psi.

En el sistema de prensa planteado (Figura 16), se evidenció que a presiones mayores de 45.000 psi, la fuerza que se ejerce sobre café tostado es tal, que provoca la salida del aceite con partículas de café en una considerable proporción, lo que impide la lectura real de los datos. Es por esto que es necesario optimizar el drenaje del dispositivo planteado. También se puede establecer que con cantidades menores de materia prima, en este caso 10 g., el dispositivo planteado genera mayor eficiencia puesto que la cantidad de granos no ejerce tanta resistencia como la muestra de 20 g.

6.6 Evaluación de la calidad del aceite de café obtenido. Los métodos utilizados para la valoración de las características del aceite, se describen en el numeral 5.5. En el Cuadro 57., se muestra los análisis fisicoquímicos realizados al aceite de café obtenido por el proceso de prensado.

El análisis fisicoquímico del aceite obtenido, tanto de café supremo como de café pasilla, revelan que son muy similares entre sí y sus diferencias no son muy marcadas. Por lo anterior se puede afirmar que la optimización del proceso de tostión, fue determinante para garantizar la obtención de un aceite de alta calidad.

"Las características fisicoquímicas logradas del aceite de café, de esta investigación, reflejan similares resultados que los obtenidos por los estudios de Cenicafé y de café Iguazú (Empresas La Macsol, Brasil)"³¹.

Cuadro 57. Análisis fisicoquímico del aceite de café

ACEITE DE CAFÉ
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	
	Café Supremo	Café Pasilla
Solubilidad en etanol absoluto %	12,2	12,9
Densidad g/ml a 25 °C	0,892	0,8932
Índice de refracción a 25 °C	1,4733	1,4751
Punto de ebullición °C	330 a 340	330 a 340
Aspecto	Líquido viscoso	Líquido viscoso
Color	Marrón	Marrón oscuro

Fuente: Esta investigación.

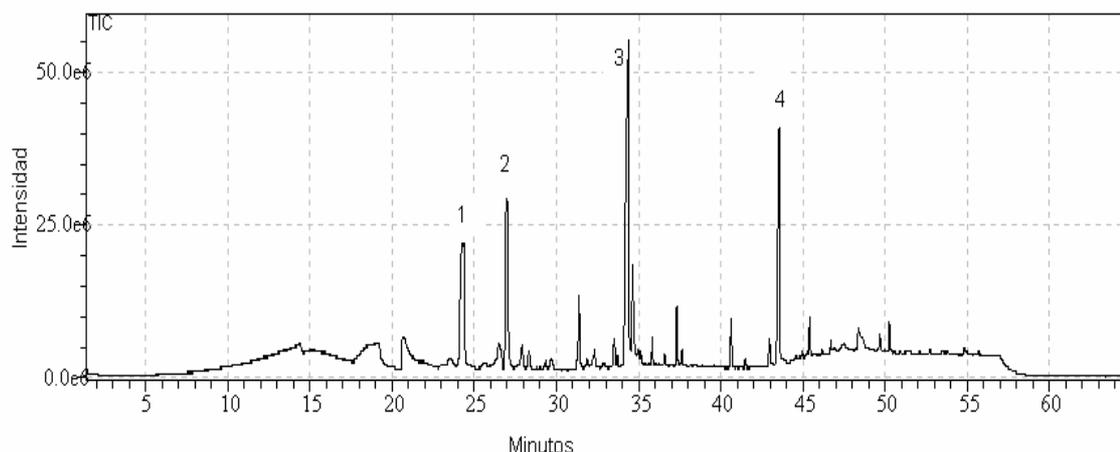
Los resultados de los análisis fisicoquímicos, están consignados en el Anexo I.

En el cromatograma de la figura 41, evaluado por la técnica de Headspace y analizado por cromatografía de gases bajo la metodología de microextracción en fase sólida, se evidencian más de 102 picos de los compuestos volátiles del aceite de café supremo, de los cuales se identificaron los compuestos más representativos (Cuadro 58), es decir, los que muestran mayor área, reconocidos por la base de datos Wiley 275 del equipo GC-MS y NIST MS Database, de los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño. Es importante tener en cuenta que los porcentajes de confiabilidad de los compuestos identificados por la base de datos, no son altos.

Los resultados del análisis de los principales compuestos volátiles del aceite de café supremo, indican que se pueden identificar compuestos pertenecientes a la familia de los alcoholes, aldehídos, ácidos, furanos, piridinas, aminas, cetonas entre otros, en donde el compuesto más representativo es el 2,2 Dimetilbutano, con un porcentaje de área de 24,50% y un grado de confiabilidad del 75%. Estos resultados se encuentran consignados en el Anexo K.

³¹ López F., E.M.; Castaño c., J.J. Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé 50(1):66-77. 1999.
www.caféiguaçu.com.br

Figura 41. Perfil cromatográfico - cromatograma de iones totales para volátiles del aceite de café supremo, por HS-SPME y GC-MS



Fuente: Esta investigación.

Cuadro 58. Identificación de los compuestos volátiles más representativos del aceite de café supremo

No	Tr	Compuesto	% Area	% Confiabilidad
1	24,692	Furfural Alcohol	6,88	90%
2	27,019	1,3 Ciclopentadiona	11,24	90%
3	34,359	2,2 Dimetilbutano	24,50	75%
4	43,531	3,5 Dimetilciclohexanona	10,39	88%

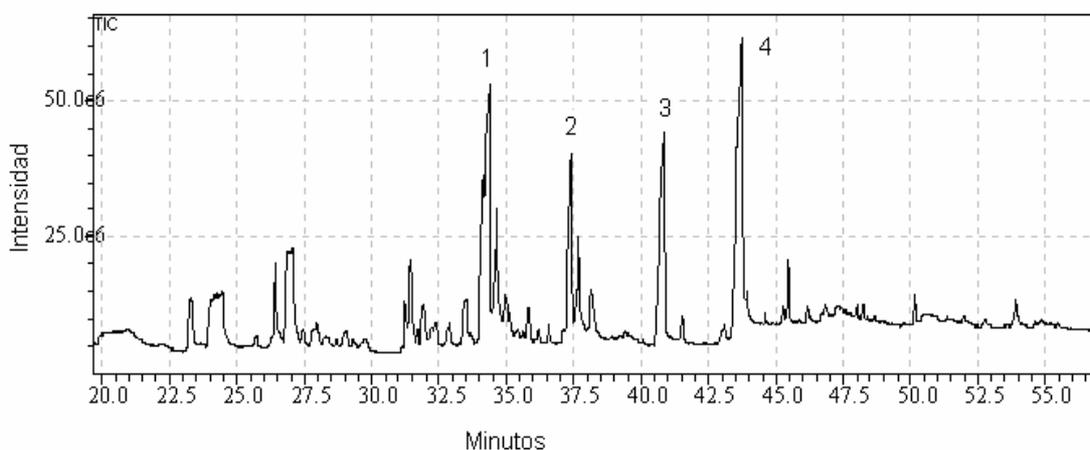
Fuente: Esta investigación.

En el cromatograma de la figura 42, evaluado por la técnica de Headspace y analizado por cromatografía de gases bajo la metodología de microextracción en fase sólida, se evidencian más de 90 picos de los compuestos volátiles del aceite de café pasilla, de los cuales se identificaron los compuestos más representativos (Cuadro 59), es decir, los que muestran mayor área, reconocidos por la base de datos Wiley 275 del equipo GC-MS y NIST MS Database, de los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño. Es importante tener en cuenta que los porcentajes de confiabilidad de los compuestos más representativos, no son altos.

Los resultados del análisis de los principales compuestos volátiles del aceite de café pasilla, indican que se pueden identificar compuestos pertenecientes a la familia de los alcoholes, aldehídos, ácidos, glicoles, furanos, piridinas, aminas, cetonas, pirroles, entre otras, donde el compuesto

más representativo es el 3,5 dimetilciclohexanona, con un porcentaje de área de 20,13% y un nivel de confiabilidad del 85%. Estos resultados se encuentran consignados en el Anexo L.

Figura 42. Perfil cromatográfico - cromatograma de iones totales para volátiles del aceite de café pasilla, por HS-SPME y GC-MS



Fuente: Esta investigación.

Cuadro 59. Identificación de los compuestos volátiles más representativos del aceite de café pasilla

No	Tr	Compuesto	% Area	% Confiabilidad
1	34,379	2,2 dimetilbutano	12,59	75%
2	37,383	Octano	6,06	85%
3	40,833	2 acetil-2,5 dimetilciclohexanona	10,12	72%
4	43.759	3,5 Dimetilciclohexanona	20,13	85%

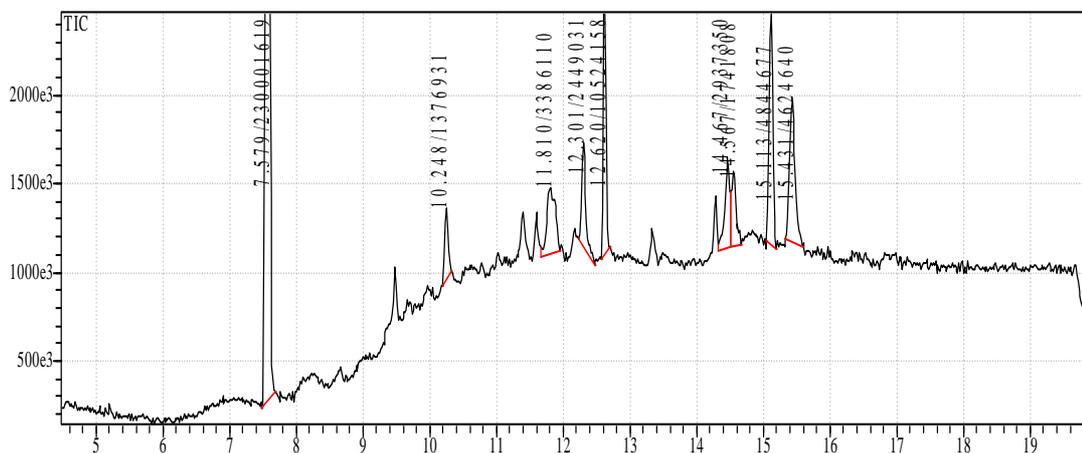
Fuente: Esta investigación.

Debido a las tostiones realizadas en las dos calidades de café, se identifican en gran parte las mismas familias de compuestos. De este modo, se puede concluir que solo hay unas pequeñas variaciones en la composición de los granos no defectuosos comparado con los granos defectuosos, al ser éstos sometidos al proceso de tostión. De hecho, podemos observar que los parámetros de la calidad del aceite obtenido son considerados como de alta similitud.

En la cuantificación e identificación de los ácidos grasos (numeral 5.5), se utilizó el método del estándar interno. Como estándar interno fue utilizado un ácido graso (metil caprilato), que no estaba presente en las muestras

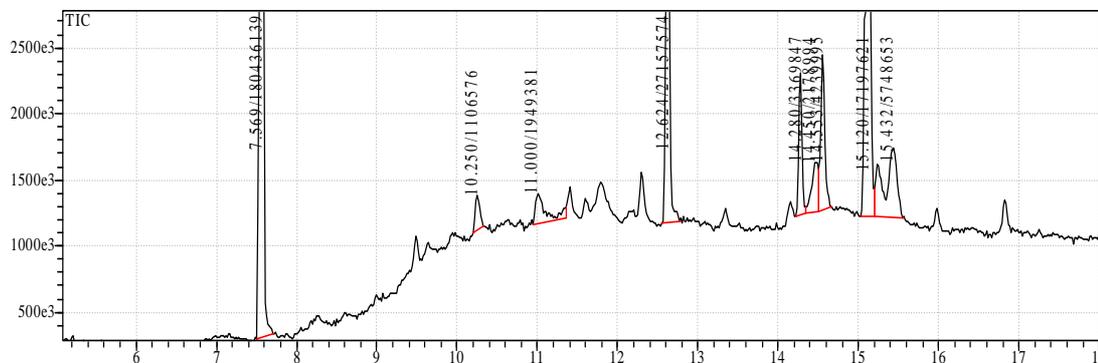
analizadas. Posteriormente el análisis fue realizado utilizando la metodología de cromatografía de gases GC. El perfil cromatográfico para la cuantificación de ácidos grasos en el aceite de café supremo y pasilla, se observan en las figuras 43 y 44, respectivamente. De estos perfiles se puede afirmar que el ácido Palmítico es el que se encuentra en mayor proporción, con valores de 0,1560 ppm para aceite de café supremo y 0,2660 ppm para aceite de café pasilla. También se pudieron identificar otros ácidos en los dos tipos de aceites, como el Oleico y el Linoleico, pero en menores proporciones como se puede observar en el cuadro 60.

Figura 43. Perfil cromatográfico - cuantificación de ácidos grasos para aceite de café supremo por GC



Fuente: Esta investigación.

Figura 44. Perfil cromatográfico - cuantificación de ácidos grasos para aceite de café pasilla GC



Fuente: Esta investigación.

Los resultados del análisis de los principales ácidos grasos del aceite de café supremo y pasilla, se describen en el Anexo M.

Cuadro 60. Ácidos grasos - aceite de café

ÁCIDOS GRASOS - ACEITE DE CAFÉ		
A. Graso	Supremo	Pasilla
Palmítico	0,1560 ppm	0,2660 ppm
Oleico	0,0017 ppm	0,0280 ppm
Linoleico	0,0043 ppm	0,1050 ppm

Fuente: Esta investigación.

El análisis organoléptico del aceite de café obtenido, consistió en la valoración del aroma, sabor y color. Para tal efecto se empleó una escala de calificación de 1 a 9, donde 1 es la calificación dada a un aroma y sabor de total rechazo y 9 a un aceite de excelentes características sensoriales.

El aceite obtenido presenta una alta carga volátil, debido a la permanencia de las características organolépticas del café en el aceite obtenido. En este caso los puntajes dados tanto para aceite de café supremo como para aceite de café pasilla fueron de 7,0 para ambos casos, lo que revela que existe una buena permanencia de la carga volátil en los aceites obtenidos, lo que se observa en los cuadros 61 y 62.

También se puede decir que el aceite de café pasilla presenta mejores características de sabor debido a que sobresale su intensidad, por la alta tostión a la que fue sometido.

Cuadro 61. Análisis organoléptico de aceite de café supremo

ACEITE DE CAFÉ - SUPREMO		
ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO		
	RESULTADO	
	Café Supremo	Observaciones
Aroma	7,0	Por su suavidad y taza limpia
Color	Medio	
Sabor	Característico	Sobresale el sabor del aceite

Fuente: Esta investigación

Cuadro 62. Análisis organoléptico de aceite de café pasilla

ACEITE DE CAFÉ - PASILLA
ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

	RESULTADO	
	Café Supremo	Observaciones
Aroma	7,0	Por su intensidad
Color	Oscuro	
Sabor	Característico	Sobresale por su alto punto de tostión

Fuente: Esta investigación

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y organoléptico, revelan que el aceite extraído posee características similares al aceite de café Iguazú, producido por la *Macsol*, en Brasil, el cual es considerado como un producto de alta calidad, referenciado bibliográficamente en el numeral 4.4, concerniente al aceite de café.

Cabe destacar que en el proceso de extracción por prensado, el aceite obtenido del café pasilla, resulta más conveniente utilizarlo como potencializador del aroma para los fines de la industria alimentaria y no alimentaria, debido a que favorecen los costos de obtención de este tipo de café y a su vez permiten darle otros usos en la cadena productiva del café.

En el cuadro 63., se presenta un resumen de las características organolépticas, fisicoquímicas y de perfil cromatográfico del aceite de café obtenido, tanto para café supremo como para café pasilla.

Cuadro 63. Resumen del análisis organoléptico, fisicoquímico y de perfil cromatográfico del aceite de café

ACEITE DE CAFÉ
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO - CROMATOGRÁFICO

PARAMETRO	RESULTADO	
	Café Supremo	Café Pasilla
Aroma	7,0	7,0
Color	Medio	Oscuro
Sabor	Característico	Característico
Solubilidad en etanol absoluto %	12,2	12,9
Densidad g/ml a 25 °C	0,892	0,8932
Índice de refracción a 25 °C	1,4733	1,4751
Punto de ebullición °C	330 a 340	330 a 340
Aspecto	Líquido viscoso	Líquido viscoso
Color	Marrón	Marrón oscuro
A. Palmítico	0,156 ppm	0,266 ppm
A. Oleico	0,0017 ppm	0,028 ppm
A. Linoleico	0,0043 ppm	0,105 ppm

Fuente: Esta investigación

7. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de una buena tostión se debe tener en cuenta que la materia prima, en este caso el grano verde, provenga de un lugar certificado, donde los procesos de trilla y selección hayan sido rigurosamente controlados. El grano verde debe estar libre de materias extrañas y de granos defectuosos, para que la impresión global no se vea afectada.

Para el desarrollo del prensado se debe tener en cuenta, que el proceso de tostión no debe anteceder a más de una semana para que el café no pierda sus características organolépticas.

Las condiciones óptimas de tostión para café supremo fueron 218 °C y 18 minutos, con un rendimiento en aceite de café, máximo de 21.2%.

Las condiciones óptimas de tostión para café excelso, tipo consumo superior fueron 218 °C y 18 minutos, con un rendimiento en aceite de café, máximo de 20.2%.

Las condiciones óptimas de tostión para café pasilla fueron 218 °C y 18 minutos, con un rendimiento en aceite de café, máximo de 19%.

Las condiciones óptimas de tostión para impresión global en café supremo fueron de 210 °C y 13 minutos, con un puntaje de 8.7.

Las condiciones óptimas de tostión para impresión global en café pasilla fueron de 190 °C y 14 minutos, con un puntaje de 7.5.

De lo anterior se puede deducir que los puntos óptimos de tostión empleados, que permitieron establecer una relación de compromiso adecuada sin sacrificar apreciablemente ninguna de las variables de respuestas evaluadas son:

El punto óptimo de tostión para la extracción de aceite, en café supremo, donde se pueda evidenciar buen rendimiento de 17.1% y buena impresión global de 8.7, se encuentra a una temperatura de 209.8 °C y un tiempo de 13.3 minutos.

El punto óptimo de tosti3n para la extracci3n de aceite, en caf3 pasilla, donde se pueda evidenciar buen rendimiento de 14.4% y buena impresi3n global de 7, se encuentra a una temperatura de 204.3 3C y un tiempo de 13.7 minutos.

El rendimiento en extracci3n de aceite de caf3, se ve fuertemente influenciado por la temperatura y el tiempo de exposici3n de los granos al calor, ya que este aumenta al aumentar el grado de tosti3n, pero se debe tener en cuenta que la impresi3n global baja al aumentar el grado de tosti3n, por lo cual, para lograr un aceite de buena calidad, la tosti3n debe contener un buen rendimiento y una buena impresi3n global.

El desarrollo del m3todo de prensado para la extracci3n de aceite de caf3 gener3 buenos resultados, ya que se determin3 que la presi3n m3xima para la extracci3n es de 35.000 psi, puesto que a esta presi3n se genera un buen drenado sin que haya presencia de part3culas de caf3 en el aceite.

La extracci3n de aceite tanto para caf3 supremo como para caf3 pasilla, se gener3 a una presi3n m3xima de 35.000 psi, obteniendo un rendimiento de 3,4 y 4% respectivamente, por cada 10 g de muestra utilizada. Se determin3 tambi3n, que esta presi3n es la m3s adecuada para el proceso ya que no se genera una compactaci3n excesiva de los granos de caf3 tostado, permitiendo un drenado eficiente del aceite.

Los resultados obtenidos del an3lisis fisicoqu3mico, organol3ptico y de perfil cromatogr3fico, revelan que el aceite extra3do posee caracter3sticas similares al aceite de caf3 obtenido por Cenicafe, en Colombia, y caf3 Iguacu, producido por la Macsol, en Brasil, el cual es considerado como un producto de alta calidad.

Los resultados del an3lisis de los principales compuestos vol3tiles del aceite de caf3 supremo, indican que el compuesto m3s representativo es el 2,2 Dimetilbutano, con un porcentaje de 3rea de 24,50%.

Los resultados del an3lisis de los principales compuestos vol3tiles del aceite de caf3 pasilla, indican que el compuesto m3s representativo es el 3,5 dimetilciclohexanona, con un porcentaje de 3rea de 20,13%.

Del perfil cromatográfico para la cuantificación de ácidos grasos en el aceite de café supremo y pasilla, se puede afirmar que el ácido Palmítico es el que se encuentra en mayor proporción, con valores de 0,1560 ppm para aceite de café supremo y 0,2660 ppm para aceite de café pasilla. También se pudieron identificar otros ácidos en los dos tipos de aceites, como el Oleico y el Linoleico, pero en menores proporciones.

El método de extracción de aceite por arrastre con vapor, no generó buenos resultados, debido a que solo los compuestos volátiles del aceite presente en el café tostado, son hidrosolubles. Caso contrario ocurre con los ácidos grasos, ya que por poseer un elevado peso molecular, las reacciones desencadenadas en el proceso de tostión, no permiten que éstos puedan ser extraídos.

Esta investigación permitió destacar que el aceite extraído de café pasilla, presenta características muy similares con respecto al aceite extraído de café supremo, lo cual conlleva a afirmar que resulta más conveniente utilizar este tipo de café para reducir los costos de producción del aceite además de generar un alto valor agregado dentro de la cadena productiva del café.

8. RECOMENDACIONES

Para el diseño de prensa planteado se ve necesario estudiar las mejoras con respecto a la eficiencia del drenado de aceite. Procesos de extrusión en los que se involucren la temperatura y la presión, pueden resultar más eficientes en una producción continua de aceite de café.

El desarrollo de la prensa da lugar a incentivar la investigación de diferentes procesos de extracción, donde se involucren otra clase de materias primas como por ejemplo la extracción de aceite de higuerilla, maní, ajonjolí, etc.

De acuerdo a los análisis realizados para café pasilla, se recomienda profundizar en su aprovechamiento, ya que el aceite obtenido de este café presenta similares características que el aceite de calidades de cafés superiores, lo que representaría una baja significativa en los costos de producción y además un uso más para este tipo de café.

Se recomienda realizar estudios que permitan la purificación del aceite obtenido, para incrementar su valor agregado y su presentación, además de estudios de extracción con solventes como por ejemplo con alcohol etílico.

Se deben considerar otros métodos para la identificación de la estructura composicional del aceite como por ejemplo la metodología HPLC (Cromatografía líquida de alta resolución).

Se deben considerar otros métodos de extracción de aceite como Soxhlet y fluidos supercríticos.

Los residuos sólidos resultantes de la extracción del aceite, pueden ser molidos y utilizados para la preparación de la bebida de café, ya que estos no pierden sus características propias.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Caicedo C., N.M.; Chavez D.,W.G. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta trilladora de cafés especiales de exportación en el municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, 2004.
- ✓ Calle V., H. Subproductos del café. Cenicafé, 1.977.
- ✓ CD Room, Statgraphics Plus 5.0 Versión 2005.
- ✓ CIAL, UNIVALLE, Innovación y desarrollo tecnológico de aceite esencial de café Colombiano.
- ✓ El manual de catación del programa de cafés especiales de Colombia. SCAA, Coffee Quality Institute, ACIDI-VOCA, USAID. Enero 2004.
- ✓ FEDERACAFE, Encuesta Nacional Cafetera 1993/1997.
- ✓ Guenter, Ernest. The essential oils. New Jersey: Lancaster press, 1960.
- ✓ Guía de procesos en trilladoras. Expocafé, segunda edición - Agosto de 1998.
- ✓ Gutiérrez, H. De La Vara, R. Análisis y diseño de experimentos. McGraw-Hill. México 2003.
- ✓ Leandro S. Oliveira; Adriana S. Franca; Juliana C.F. Mendonça; Mario C. Barros-Júnior. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2004.
- ✓ López F., E.M; Castaño C., J.J. Características del aceite esencial obtenido de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé, artículo 50 (2): 119-125. 1999.
- ✓ López F.,E.M.;Castaño c.,J.J. Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé 50(1):66-77. 1999.

- ✓ Macías M., A; Riaño L., C.E. Café orgánico: caracterización, torrefacción y enfriamiento. *Cenicafé* 53(4):281-292, 2002.
- ✓ Ministerio de Comercio Exterior, perfil cadena del café, 2004.
- ✓ Obando B., N.I.; Narváez A., F.G. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta de extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de *Limonaria (Cymbopogon citratos)* como agente aromatizante en el municipio de Sandona - Departamento de Nariño, 2004.
- ✓ Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2004.
- ✓ Oliveira, Cruz, Eberlin y Cabral. Aceite de café Brasileño obtenido por expulsado mecánico, análisis composicional por GC/MS. *Ciencia y tecnología de alimentos*, Campinas, Brazil, 2.005.
- ✓ PAWLISZYN, J. *Solid Phase Microextraction*, Ed. Wiley-VCH, Inc., New York, USA.1997 pag15.
- ✓ Puerta Q., G.I. Avances técnicos, *Cenicafé*. Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia. Octubre de 2003.
- ✓ Roselius; Wilhelm (Bremen St. Magnus, DE); Vitzthum; Otto (Bremen, DE); Hubert; Peter (Bremen-Lesum, DE). United States Patent: 4,328,255. Method of extracting coffee oil containing aroma constituents from roasted coffee. 1982.
- ✓ Subproductos del café, Hernán Calle Vélez, *Cenicafé*.
- ✓ Viani R. The composition of coffee: caffeine, coffee and health. S. Garantinini Ed. New York. Raven Press, Ltd; 1991 pa. 17-41.
- ✓ www.agtron.net
- ✓ www.cafedecolombia.com
- ✓ www.cafedecolombia.com, Federación Nacional de Cafeteros. Tiendas Juan Valdez
- ✓ www.cafedecolombia.com, Noticias, tiendas Juan Valdez.
- ✓ www.coffee-ota.org

- ✓ www.cpgs.blogspot.com
- ✓ www.iguacu.com.br
- ✓ www.juanvaldez.com