

**EFFECTOS DE LA ALTITUD SOBRE LA CALIDAD DEL CAFÉ TORREFACTADO
(Coffea arábica L. Var. Colombia) PRODUCIDO EN LOS MUNICIPIOS DE BUESACO
Y LA UNION – NARIÑO, PERTENECIENTES AL ECOTOPO E – 220 A**

PAULA ANDREA DIAZ SANTACRUZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTA**

2014

**EFFECTOS DE LA ALTITUD SOBRE LA CALIDAD DEL CAFÉ TORREFACTADO
(Coffea arábica L. Var. Colombia) PRODUCIDO EN LOS MUNICIPIOS DE BUESACO
Y LA UNION – NARIÑO, PERTENECIENTES AL ECOTOPO E – 220 A**

PAULA ANDREA DÍAZ SANTACRUZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero de Alimentos

ASESOR

CAMPO ELÍAS RIAÑO LUNA

Dr. EAD; MSc Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ**

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Asesor del Proyecto

Bogotá, 15 de Julio de 2014

DEDICATORIA

A mis padres: Les doy gracias por la oportunidad brindada, los méritos alcanzados y la dedicación y entrega en cada etapa del camino. Gracias por confiar en mí y por darme la oportunidad de lograr mi carrera universitaria, gracias por sus oraciones y todos sus esfuerzos, los amo con todo mi corazón. Que Dios los bendiga siempre.

A mis amigos: Por ser el apoyo incondicional en ésta larga carrera de la vida, por no permitirme desfallecer antes de tiempo y por dejarme formar parte en sus vidas ya que siempre termino por aprender de sus experiencias y sus errores, gracias por dejarme llamarlos “mi familia”.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme llenado de paciencia y sabiduría para sobrellevar los compromisos en éste arduo camino, por brindarme la vida y una familia que me apoya en cada una de mis decisiones, por darme la oportunidad de aprender cada día a ser mejor persona y por sobre todas las cosas por darme fortaleza de siempre sonreír antes las adversidades y salir adelante por méritos propios.

Al Dr. EAD; MSc Ingeniero Campo Elías Riaño Luna, asesor técnico del proyecto de investigación. Agradezco por su orientación en éste proceso, que Dios lo bendiga.

Al Ingeniero Jairo Granados por su valiosa educación en el manejo de equipos, instrumentos y reactivos de laboratorio, por su disposición, orientación y compromiso con las nuevas investigaciones, y a todos los profesionales del programa de Agrarias de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por su apoyo en la aplicación experimental de ésta investigación.

Al personal de los laboratorios y plantas piloto de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por ser personas de entrega y compromiso con las investigaciones, por toda la disposición de sus instalaciones para quienes desean y van en búsqueda de nuevos conocimientos.

Agradezco a los Ingenieros Juan Fernando Muñoz Paredes Director de Posgrados en Ingeniería en la Universidad Mariana de San Juan de Pasto – Colombia y al Ingeniero Mario Andrés Montenegro, Ingeniero de sistemas de la Universidad de Nariño de San Juan de Pasto – Colombia; gracias por sus orientaciones y apoyo incondicional en el manejo de nuevas tecnologías y formación de líderes en ésta región.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO
RESUMEN
OBJETIVOS
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
HIPOTESIS

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DEL ECOTOPO E-220 A

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Influencia del Suelo y el Clima en el Café.
 - 1.2.1. Identificación y codificación de los Ecotopos en Colombia.
- 1.3. Identificación del Ecotopo nariñense.
- 1.4. Ecotopo E – 220 A
 - 1.4.1. Generalidades.
 - 1.4.2. Municipios de estudio del Departamento de Nariño. La Unión y Buesaco.
 - 1.4.2.1. Municipio de La Unión.
 - 1.4.2.2. Municipio de Buesaco.
- 1.5. La producción de café en Nariño.
- 1.6. Ciclos de cosecha en el departamento de Nariño

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

- 2.1. Generalidades del cafeto
 - 2.1.1. El café. Definición.
- 2.2. Historia del café.
- 2.3. El fruto del árbol de café.
 - 2.3.1. Pulpa
 - 2.3.2. Mucílago o mesocarpio
 - 2.3.3. Pergamino o cisco
 - 2.3.4. Película plateada
 - 2.3.5. Grano de café o albumen.
- 2.4. Clases de café.
 - 2.4.1. Tipo de beneficio en Coffea Arábica y Canephora.
 - 2.4.1.1. Arábicos Suaves-Lavados
 - 2.4.1.2. Arábicos No Lavados
 - 2.4.1.3. Coffea Canephora o Robusta
- 2.5. Beneficio y procesamiento del café.
- 2.6. Trillado del café
- 2.7. Clasificación de los granos de café después de la trilla.

- 2.8. Cafés especiales
 - 2.8.1. Cafés de origen
 - 2.8.2. Cafés de preparación.
 - 2.8.3. Cafés sostenibles.
- 2.9. Proceso de torrefacción del café.
 - 2.9.1. Etapas de la torrefacción.
 - 2.9.1.1. Secado.
 - 2.9.1.2. Tostión o pirolisis.
 - 2.9.1.3. Enfriamiento.
 - 2.9.2. Cambios físicos ocurridos con la torrefacción.
 - 2.9.2.1. Pérdida de peso (pp).
 - 2.9.2.2. Aumento del volumen.
 - 2.9.2.3. Cambios del color.
 - 2.9.2.4. Resistencia a la compresión.
 - 2.9.2.5. Incremento de solubles en el agua.
 - 2.9.3. Cambios químicos ocurridos en la torrefacción.
 - 2.9.3.1. Carbohidratos
 - 2.9.3.2. Pentosanos
 - 2.9.3.3. Ácidos
 - 2.9.3.4. Compuestos volátiles
 - 2.9.3.5. Proteínas
 - 2.9.3.6. Lípidos
 - 2.9.3.7. Cafeína
 - 2.9.3.8. Dióxido de carbono (CO₂)
 - 2.9.3.9. Minerales
- 2.10. Clasificación de componentes principales del café.
 - 2.10.1. Sustancias Minerales.
 - 2.10.2. Compuestos nitrogenados.
 - 2.10.3. Lípidos.
 - 2.10.4. Compuestos fenólicos.
 - 2.10.5. Carbohidratos.

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.

- 3.1. Localización
 - 3.1.1. Materiales
- 3.2. Primera Fase. Selección del café en estudio.
 - 3.2.1. Municipio de La Unión.
 - 3.2.1.1. *Despulpado*
 - 3.2.1.2. *Fermentación*
 - 3.2.1.3. *Lavado*

- 3.2.1.4. *Secado*
- 3.2.2. Municipio de Buesaco.
 - 3.2.2.1. *Despulpado*
 - 3.2.2.2. *Fermentación*
 - 3.2.2.3. *Lavado*
 - 3.2.2.4. *Secado*
- 3.3. Segunda Fase. Control de calidad de los cafés crudos.
- 3.4. Tercera Fase. Torrefacción de las muestras tomadas
- 3.5. Cuarta Fase. Análisis físicos y químicos realizados en el café de estudio.
 - 3.5.1. Pruebas Físicas en café tostado y molido.
 - 3.5.1.1. *Densidad aparente.*
 - 3.5.1.2. *Reducción de tamaño.*
 - 3.5.1.3. *Colorimetría.*
 - 3.5.1.4. *Determinación de humedad.*
 - 3.5.1.5. *Pérdida de peso (%pp)*
 - 3.5.2. Pruebas Químicas en café tostado y molido.
 - 3.5.2.1. *Prueba de digestión.*
 - 3.5.2.2. *Prueba de extracto etéreo.*
 - 3.5.2.3. *Porcentaje de fibra cruda.*
 - 3.5.2.4. *Acidez titulable.*
 - 3.5.2.5. *Carbohidratos totales.*
- 3.6. Análisis estadísticos
 - 3.6.1. Técnicas Multivariadas
 - 3.6.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)
 - 3.6.3. Las Fases de un ACP
 - 3.6.3.1. Identificación De Los Componentes Principales
 - 3.6.3.2. Rotación de los ejes
 - 3.6.3.3. Cálculo de las puntuaciones principales.
- 3.7. Matriz de componentes
 - 3.7.1. Las Clasificación de Componente Principales

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS MULTIVARIADO

- 4.1. Recepción de muestras.
- 4.2. Control del grado de tostión en relación al tiempo.
- 4.3. Diseño experimental.
- 4.4. Metodología experimental
 - 4.4.1. Condiciones iniciales de preparación de las muestras de café.
 - 4.4.2. Elaboración del análisis factorial A por componentes principales.
- 4.5. Análisis estadístico con el sistema SPSS
 - 4.5.1. Criterio de selección de componentes principales.

- 4.5.2. La matriz de cargas o saturaciones factoriales
- 4.5.3. Comunalidad de variables.
- 4.5.4. Calculo de porcentaje de varianza explicada.
- 4.6. Análisis descriptivos de los componentes principales.
 - 4.6.1. Comprobación de la existencia de inter-correlaciones en la matriz.
 - 4.6.2. Análisis multivariado – Gráfica de Correlaciones entre las componentes.

Capítulo 5: Discusión de los Resultados.

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Apéndices.

TABLAS.

Tabla 1. Codificación de las siete grandes regiones cafeteras

Tabla 2. Zona Cafetera colombiana. Nariño.

Tabla 3. Estadísticas relacionadas con la actividad cafetera en la región de Nariño. Cifras a Marzo 19 de 2013.

Tabla 4. Tipo de variedades de café y el tiempo de maduración según la especie

Tabla 5. Clasificación botánica, taxonómica e industrial del café.

Tabla 6. Calidad granulométrica del café.

Tabla 7. Los cafés especiales colombianos. Cafés de origen.

Tabla 8. Los cafés especiales colombianos. Cafés de Preparación.

Tabla 9. Los cafés especiales colombianos. Cafés Sostenibles

Tabla 10. Composición química de los granos verdes y tostados de las especies Coffea Arábica (% base seca).

Tabla 11. Contenido aproximado de la fracción de carbohidratos en granos de café verde y tostado.

Tabla 12. Información general de las fincas de estudio.

Tabla 13. Cantidad de variables de estudio en el análisis con SPSS

Tabla 14. Matriz de componentes “a”.

Tabla 15. Comunalidades entre las variables de mayor varianza.

Tabla 16. Varianza total explicada

Tabla 17. Matriz de correlaciones “a”.

Tabla 18. Índice KMO y Prueba De Bartlett

Tabla 19. El significado de los símbolos.

Tabla 20. Leyenda del estudio general de suelos del Departamento de Nariño – Municipio de Buesaco.

Tabla 21. Leyenda del estudio general de suelos del Departamento de Nariño – Municipio de La Unión.

Tabla 22. Equipos de trabajo. Análisis de Calidad.

Tabla 23. Material empleado en la investigación.

Tabla 24. Criterio de selección del café para cada grado de molienda.

Tabla 25. Concentraciones de soluciones de glucosa para curva de calibración.

Tabla 26. Absorbancias de la curva de calibración de la glucosa.

Tabla 27. Mezcla reactiva para encontrar CHO.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Identificación y codificación de los Ecotopos en Colombia. (CENICAFÉ, 1999b)
- Figura 2.** Mapa Físico de Nariño. Adaptado de: (Brains, 2012)
- Figura 3.** Mapa de cosechas en Colombia. La cosecha principal y la de mitaca pueden alternarse en otras regiones de acuerdo con su latitud. (FNCC F. N., 2010 d)
- Figura 4.** Cereza del café madura.
- Figura 5.** Origen y distribución geográfica del cafeto. (CIE C. , 2009)
- Figura 6.** Partes del fruto del café. **a.** Corte transversal de una cereza de café; **b.** Corte transversal de un grano de café. (FNCC F. , El árbol y el entorno., 2010 f)
- Figura 7.** Diagrama de flujo de la producción de café. (Soto, 1992)
- Figura 8.** Fórmula estructural de los alcaloides del grano de café. (Cliford M. , 1985)
- Figura 9.** Proceso de despulpado de café, zona 1. La Unión.
- Figura 10.** Fermentación del grano de café, zona 1. La Unión.
- Figura 11.** Lavado de granos de café en canal por correteo. Zona 1. La Unión. a. Foto del lavado por correteo en la finca “El Placer”. b. Esquema de clasificación en un correteo tradicional para los granos de café.
- Figura 12.** Exposición o secado de los granos de café al sol. Zona 1 La Unión.
- Figura 13.** Proceso de despulpado de café, zona 2. Buesaco.
- Figura 14.** Fermentación del grano de café, zona 2. Buesaco.
- Figura 15.** Lavado de granos de café en tanque de lavado (rastrillo o paletas). Zona 2. Buesaco.
- Figura 16.** Secado de los granos de café en un secador de guadua. Zona 2. Buesaco.
- Figura 17.** Control de calidad de las muestras de estudio. Zonas 1 y 2. Nariño.
- Figura 18.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Zonas 1 y 2. Nariño.
- Figura 19.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Zonas 1 y 2. Nariño.
- Figura 20.** Gráfico de sedimentación de Cattell. Número de componentes principales de estudio.
- Figura 21.** Grafica de los componentes principales del café de estudio. Componentes fisicoquímicos.
- Figura 22.** a) Relación de los principales suelos y su distribución en el paisaje; b) Sección de estudio en el uso de suelos de las zonas de montaña y altiplanicie.

Figura 23. Densidad por compactación. NTC 4084. (ICONTEC I. , 1997)

Figura 24. Campo espectral de color del colorímetro QuantiK.

Figura 25. Medición de color con el colorímetro digital PCE-RGB sobre las muestras de café

Figura 26. Contenido de humedad en café de estudio.

Figura 27. Porcentaje de Pérdida de peso o merma en café tostado.

Figura 28. Materia orgánica obtenida de la digestión.

Figura 29. Solución de valoración de la muestra

Figura 30. (1) Muestra obtenida después de la destilación y (2) muestra valorada con ácido clorhídrico.

Figura 31. Porcentaje de Proteína Cruda.

Figura 32. a) El proceso de extracción de lípidos de las muestras de café en el Extractor Soxhlet – SER 148; b) Cantidad de lípidos de la zona 1. La Unión – Nariño; c) Cantidad de lípidos de la zona 2. Buesaco – Nariño

Figura 33. Porcentaje de Lípidos en el café tostado

Figura 34. Alistamiento de las muestras en el equipo.

Figura 35. Recirculación de la muestra en S.D.A.

Figura 36. Evacuación de S.D.A. en el proceso de extracción de fibra cruda en las muestras de café de estudio.

Figura 37. Crisoles de fibra con muestras de café obtenidas tras el proceso de filtración.

Figura 38. Cantidad de ceniza obtenida tras una elevada temperatura en el café.

Figura 39. Porcentaje de Fibra cruda. Determinación de lignina por medio de Soluciones acidas.

Figura 40. Cantidad de mg de ácidos clorogénicos en el café de las zonas 1 – 2.

Figura 41. Absorbancias medidas en la curva de calibración de la glucosa con una blanco de concentración conocida.

Figura 42. Absorbancias medidas en la curva de calibración de la glucosa con un blanco de agua destilada.

Figura 43. a) muestras de café filtrada; b) cantidad de muestra de café filtrada; c) muestras de la zona 1 filtradas; d) muestras de la zona 2 filtradas

Figura 44. Absorbancias en dos blancos a concentraciones diferentes.

LISTADO DE APENDICES.

- A.** Adaptación del estudio de suelos de los departamentos de La Unión y Buesaco en el departamento de Nariño.
- B.** Equipos y materiales empleados en la experimentación.
- C.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Densidad aparente.
- D.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Reducción de tamaño.
- E.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Colorímetro QuantiK ir-800 y Colorímetro PCE Libérica RGB / HSL.
- F.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Determinación de humedad.
- G.** Pruebas físicas en café tostado y molido. Pérdida total de peso.
- H.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Prueba de digestión.
- I.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Prueba de extracto etéreo. Cantidad de lípidos.
- J.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Porcentaje de fibra cruda.
- K.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Acidez titulable
- L.** Pruebas químicas en café tostado y molido. Prueba de determinación de carbohidratos totales.

GLOSARIO

Beneficio: Proceso en el cual se logra la transformación de café en cereza a café pergamino seco mediante la separación de las partes del fruto y secado de los granos, con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria. (CENICAFÉ, 1999a)

Café: Es una semilla procedente del árbol del cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. (Clarke & Macrae, 1985)

Café Cereza: Es la baya de café tal cual ha sido recolectado del árbol cuando ya ha alcanzado su adecuado grado de maduración. (CENICAFÉ, 1999a)

Café Excelso: Compuesto de grano grande, principalmente plano, parejo, retenido por encima de malla 14, con tolerancia del 1.5% inferior a esa malla, pero retenido por la malla 12, de esmerado beneficio y debidamente seleccionado. En todo caso este café debe tener por lo menos un cincuenta 50% de granos retenidos sobre la malla 15. (Jaramillo H. , 1988, a)

Café Pergamino: Grano de café envuelto en el endocarpio (pergamino). Obtenido después de la etapa de secado en el proceso de beneficio. (CENICAFÉ, 2004)

Café semitostado: Café con cierto grado de tosti3n (entre verde y tostado), para eliminar posibles microorganismos presentes inicialmente, que puedan afectar las propiedades sensoriales del mismo y del producto final. Producto considerado materia prima al no estar listo para su consumo. (CENICAFÉ, 1932)

Café verde: Es el resultado de someter la cereza de café madura al beneficio retirando el exocarpio, el mesocarpio y por medio de la trilla del pergamino, queda la almendra verde. (Clarke & Macrae, 1985)

Densidad aparente: Se define como la relación de la masa por unidad de volumen ocupado de un material sólido y se expresa en g/L o kg/m³ o gr/cm³. (Perry, 1973)

Despasillado: proceso de clasificación manual en el cual se retiran los granos defectuosos material extraño e impurezas del café verde. (CENICAFÉ, 1999a)

Dureza: Es la capacidad de un sólido en resistirse a la deformación o fractura de superficies. Está relacionada con la fuerza, que es la encargada de vencer dicha resistencia. (Perry, 1973)

Ecotopo Cafetero: es una región agroecológica delimitada geográficamente, teniendo en cuenta condiciones predominantes de clima, suelo y relieve donde se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café (CENICAFÉ, 1999a)

Edafología: (del griego, ἔδαφος, edafos, "suelos", -λογία, psx logía, "estudio", "tratado") es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. (ANÓNIMO, 2008)

Fermentación: Proceso en el cual se eliminan las trazas que quedan de mucilago después del despulpado. (CENICAFÉ, 1999a)

Grano defectuoso: Este término es utilizado en el ámbito comercial para describir el factor de calidad de los granos y el material extraño (no café). (Jaramillo H. , 1988, b)

L*: emisión de radiación óptica causada por cualquier proceso no térmico. (CIE, 2012)¹

Materia Extraña o impurezas: Se entiende por Materia Extraña toda materia mineral, animal o vegetal no originaria en la cereza del café. Se consideran impurezas, el cisco del café, la cáscara o cacota y el llamado grano espuma o pergamino vano. Se admite hasta el 0.5% en peso de materia extraña y/ o impurezas. (ICONTEC I. , 1987)

Material Parental o Regolita: es el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo. (ANÓNIMO, 2008)

¹ Commission Internationale de l'Éclairage.

Merma: Denominación que se le da a la pérdida de peso del grano de café verde durante la tostión. (FEDERACAFÉ, 1932)

Mucilago: capa externa del café de consistencia babosa, es eliminada una parte en la despulpadora y su remoción total se realiza en el proceso de fermentación. (CENICAFÉ, 1999a)

Punto o grado de Tostión: Se controla mediante el color adquirido por el grano durante la torrefacción, va de tonos castaños hasta marrón – negro, según la temperatura y el tiempo de tostión. (FEDERACAFÉ, 1932)

Quenching (apagado con agua): Es un proceso de enfriamiento sobre los granos de café por aspersión de agua. (CENICAFÉ, 1932)

Sólidos solubles: son los que contribuyen en forma determinante al sabor y carácter a la taza. Se obtienen por medio del proceso de extracción. (FEDERACAFÉ, 1932)

Trilla: Proceso mecánico de presión y fricción para remover el endocarpio seco del café pergamino (conocido como cisco) para obtener café verde o café almendra. (FEDERACAFÉ, 1932)

Torrefacción: Proceso en el que somete cierta cantidad de café verde a condiciones de temperatura y tiempo para producir cambios en la estructura y composición del grano desarrollando el sabor y aroma característicos del café tostado. (FEDERACAFÉ, 1932)

RESUMEN

La torrefacción del café, es la operación en donde el grano reafirma sus propiedades físicas, químicas y sensoriales. El tiempo y la temperatura son dos variables que tienen influencia directa en la calidad del café tostado. Existen varias investigaciones que tratan la calidad del café a diferentes altitudes y manejos edafológicos, razones primarias que inciden en esta investigación con las que se planteó analizar el café torrefactado proveniente de dos zonas de cultivo, de una misma región como es el Departamento de Nariño; región que tiene unas características edafológicas especiales denominadas en el *Ecotopo E-220 A*.

Los diferentes factores agroclimáticos y edafológicos de esta región aportan atributos sensoriales al grano de café, ya que al contar con las diversas temperaturas que se registran en las montañas durante el día y la noche lo constituyen en uno de los orígenes regionales a nivel mundial que más interés y aprecio despiertan entre especialistas y conocedores. (FEDERACAFÉ F. , 2010b)

La siguiente investigación se desarrolló en cuatro etapas: a) Selección del café de estudio proveniente de los municipios de La Unión y Buesaco en el Departamento de Nariño; b) control de calidad de los cafés crudos; c) torrefacción de las muestras tomadas; d) Análisis físicos y químicos realizados en el café. Para posteriores determinaciones en cada fase, se siguió un diseño experimental de bloques al azar y se realizó un análisis multivariado por Componentes Principales.

Algunos de los datos significativos dentro de la experimentación, son aquellos que se obtuvieron por la cuantificación de los componentes principales como la extracción de lípidos, proteína, carbohidratos, fibra cruda y acidez titulable. Estos componentes fueron determinantes en la comprobación de la hipótesis experimental ya que los rangos alcanzados por éstos demuestran una tendencia significativa en relación a la expuesta en la literatura.

Un fundamento importante en esta investigación es la medida de color que se obtuvo de realizar las pruebas con dos colorímetros digitales como son IR-800 marca QuantiK y el Colorímetro PCE-RGB marca Ibérica; con estos colorímetros se estimó que la luminancia reflejada por las ondas de luz son proporcionales a las percibidas por la vista humana; lo que infiere un orden en los pixeles y matices encontrados en cada una de las muestras, todo ello expresado por medio de

un programa simple de elaboración de gráficos que proporciona rangos comprendidos en niveles de RGB y HSL.

Palabras clave: Café arábica, Ecotopo cafetero, Ecotopo E-220A, Torrefacción, Componentes Principales.

ABSTRACT.

Coffee roasting is the operation where the grain reaffirms its physical, chemical and sensory properties. Time and temperature are two variables that have direct influence on the quality of the roasted coffee. There are many studies on coffee quality at different altitudes and soil handling. Primary reasons that affect this research that arose from analyzing the two roasted coffee growing areas of the same region as the Department of Nariño; region has special soil characteristics in the ecotope called E-220 A.

The different agro-climatic and soil factors in this region contribute to sensory attributes bean, and that having different temperatures recorded in the mountains during the day and night are in one of the regional origins worldwide more arouse interest and appreciation among experts and knowledgeable. (FEDERACAFÉ F., 2010b)

The following research was conducted in four stages: a) Selection of Coffee study from the municipalities of La Union and Buesaco in the Department of Nariño; b) quality control of raw coffees; c) roasting of samples taken; d) physical and chemical analysis performed in coffee.

For subsequent determinations in each phase, followed by an experimental randomized block design and multivariate analysis was performed Principal Components.

Some of the significant data in the experiment are those which are obtained by quantification of the major components such as the extraction of lipids, proteins, carbohydrates, crude fiber and titratable acidity. These components were crucial in testing the experimental hypotheses and the ranges achieved by these show a significant trend in relation to the exposed in the literature.

An important foundation of this research is the measurement of color was obtained from testing two digital colorimeters such as IR-800 brand QuantiK and PCE-RGB colorimeter Iberian brand; these colorimeters estimated the luminance reflected light waves are proportional to the perceived by the human eye; which infers an order in the pixels and shades found in each of the samples, all expressed by means of a simple graphics processing program that provides ranges included in levels of RGB and HSL.

Keywords: Arabic Coffee, Coffee Ecotopes, Ecotope E-220A, Roasting, Principal Components.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Según los informes anuales de las cosechas de café y las proyecciones que se realizan cada dos años sobre las mismas, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia FEDERACAFE registró un mercado cafetero del 17% del PIB agrícola nacional, donde el 95% de los cafeteros tienen cultivos inferiores a 5 hectáreas, los cuales responden por el 69% del total de la cosecha cafetera colombiana. (FEDERACAFE, 2011)

En los pronósticos realizados en el último informe cafetero del año 2011, las estimaciones de la producción de café suave tendrán un incremento aproximado de 3 millones de sacos por año hasta el 2020, después de este periodo se proyecta un déficit en la oferta nacional de exportación de café suave. (FEDERACAFE, 2011). Con los datos estadísticos estimados por parte del grupo de investigadores de Cenicafé y Federacafé sobre los próximos seis años, el cultivo de café se vería afectado debido al constante cambio climático y otros factores de manejo, pero además, el poder adquisitivo de éstos productos será elevado en relación a las exportaciones extranjeras, creando un fuerte impacto en toda la economía nacional que se sustenta en gran proporción por la exportación y apetencia del café colombiano en muchas de las multinacionales de todo el mundo.

Lo que se busca demostrar con esta investigación es que en Nariño se está produciendo un café con propiedades fisicoquímicas especiales a unas condiciones agroecológicas diferentes (altitud, latitud y clima) a las empleadas actualmente en regiones como Risaralda, Tolima, Caldas, Valle entre otros.

Con la experimentación, se busca identificar que compuestos bioquímicos se destacan en el café de altura (>1.800 m.s.n.m.) con una variedad que es resistente a la roya (*Hemileia Vastatrix*) y que ha resultado ser una especie promisoría para cultivos de café en un área de cultivo húmeda o muy húmeda en el territorio sur del país.

Se espera concluir con este estudio que la variación de las condiciones agroecológicas en el cultivo de café, no afecten el fruto sino que aporten significativamente mejoras en la cereza del café como aumento de tamaño, mejor llenado del fruto, mayor cantidad en los biocompuestos y excelente acondicionamiento agroecológico como alternativa del abrupto cambio climático que está ocurriendo en el país. (FEDERACAFÉ, 2010b)

Formulación del Problema.

¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas que permiten analizar objetivamente un café de origen (*Coffea arábica*) de variedad Colombia, a diferentes altitudes y tipos de tuestión proveniente de dos municipios *La Unión* y *Buesaco* del departamento de Nariño?

HIPÓTESIS

La caracterización del café crudo es una etapa importante para la identificación y la comercialización del mismo.

- ***Hipótesis nula (H₀):***

No existe diferencia significativa de las varianzas o variabilidad de los componentes principales, entre las muestras de café de dos municipios de Nariño (La Unión y Buesaco) a diferentes grados altitudinales y puntos de torrefacción.

$$H_0 = R1_{La\ Unión} = R2_{Buesaco}$$

- ***Hipótesis alterna (H₁):***

Si existe diferencia significativa de las varianzas o variabilidad de los componentes principales, entre las muestras de café de dos municipios de Nariño (La Unión y Buesaco) a diferentes grados altitudinales y puntos de torrefacción.

$$H_1 = R1_{La\ Unión} \neq R2_{Buesaco}$$

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Efectuar un análisis fisicoquímico a dos muestras de café de origen (*Coffea Arábica*), variedad Colombia provenientes de dos fincas cafeteras de los municipios de La Unión y Buesaco en el departamento de Nariño (Ecotopo-E220A); determinar sus factores – variables teniendo en cuenta la altitud regional de cada zona en las muestras seleccionadas, así como su punto de tostión en la experimentación efectuada en ésta investigación e identificar si existe varianzas con alto grado de significancia entre sus componentes principales de una zona con la otra.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Realizar la selección de café de estudio teniendo en cuenta factores como madurez, granos sanos, beneficio húmedo, y secado al sol en cada zona de estudio.
- * Hacer un control de calidad de los cafés crudos a torrefactar.
- * Someter cada muestra de café a una misma temperatura y distintos intervalos de tiempo en la torrefacción, con el fin de encontrar similitudes o discrepancias entre las dos zonas de estudio.
- * Analizar fisicoquímicamente las muestras de café torrefactadas en el laboratorio e identificar cuantitativamente sus propiedades principales.
- * Elaborar un diseño experimental multivariado factorial con método de extracción por Componentes Principales y desarrollar gráficas y tablas sobre las cuales se observe el comportamiento de las características de los cafés y su grado de correlación entre ellas.
- * Aceptar o rechazar la hipótesis experimental en esta investigación.
- * Verificar y analizar en el laboratorio, que las muestras de estudio se tomen bajo la repetitividad, para evitar la formación de sesgos y un error experimental en la interpretación de datos.

INTRODUCCIÓN

En Colombia existen diferentes regiones que producen café con diferentes características de calidad que cautivan mercados a nivel internacional, como es el mercado estadounidense (Cárdenas, 1990., p.5). Un ejemplo de ello es el café que se produce en el departamento de Nariño, el cual está catalogado por diferentes catadores como uno de los mejores del país y cuyo reconocimiento al grano obtenido en esta región, abarca grandes mercados extranjeros debido a las características físicas y sensoriales que éste producto imprime al consumidor. La empresa americana “Starbucks” incluye este producto con el nombre de *Nariño Supremo*. (FEDERACAFÉ, 2010a).

La ubicación del Departamento de Nariño en Colombia, hace de su zona cafetera un lugar sin duda especial. Las condiciones de calidad son establecidas por diferentes factores como los suelos donde se cultiva el grano, la ubicación geográfica, las prácticas de cultivo, el proceso artesanal de beneficio que se lleva a cabo en las diferentes fincas de la región, entre otras. (FEDERACAFÉ F. , 2010b)

El café de Nariño es 100% arábico, con diferentes tipos de variedades sembradas en parcelas familiares como son Caturra, Castillo, Colombia entre otras. La siembra de la variedad Colombia que se tomaría para esta investigación, fue cultivada entre los 1.700 m.s.n.m. y 2.300 m.s.n.m. en los municipios de La Unión y Buesaco; las muestras fueron recolectadas selectivamente al azar y procesadas por la vía húmeda en las fincas cafeteras de los productores de estas regiones.

Por lo tanto, ésta investigación se orientó a hallar el diferencial de dos muestras de café de una misma variedad (Variedad Colombia) recolectadas de municipios como La Unión – Nariño pertenecientes al Ecotopo – E220A, donde las muestras recogidas fueron seleccionadas en la finca “El Placer”, ubicada a una altitud de 1.931 m.s.n.m. cercana a suelos con remanentes volcánicos del Volcán Doña Juana (Ver Apéndice A), donde las prácticas empleadas en estas instalaciones son artesanales y la producción es limpia, la recolección de los granos maduros se hace de manera manual, el beneficio es húmedo con agua de fuentes naturales y secado bajo la luz directa del sol; en el Municipio de Buesaco – Nariño, su altitud registra unos 2.095 m.s.n.m.

en cercanía a residuos de ceniza volcánica proveniente del Volcán Galeras en la vía Villa Moreno; las muestras de café fueron obtenidas de la finca “Villa Beatríz”, en donde el proceso de recolección, beneficio y secado se realiza de forma artesanal, permitiendo resaltar en el grano tostado su fragancia y aroma de forma balanceada.

Finalmente, se creó un diseño experimental que identifique si existe alguna diferencia o similitud entre el cultivo de café en zonas de extensión volcánica, con ello se busca elaborar un mejor aprovechamiento de la información experimental, tomando como referencia al perfil taxonómico que ejercen los suelos sobre el cultivo de café y la particularidad que el producto final despierta en los consumidores.

CAPITULO 1. CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DEL ECOTOPO E-220 A

1.1. GENERALIDADES

El Centro Nacional de Investigación del Café – Cenicafé, realizó una zonificación del área cafetera en el país llamada “Ecotopos Cafeteros”; por definición se tiene que el Ecotopo es una región agro ecológica delimitada geográficamente, teniendo en cuenta condiciones predominantes de clima, suelo y relieve donde se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café. (CENICAFÉ, 1999b., p. 53), (Cabellero R, 1996).

1.2. INFLUENCIA DEL SUELO Y EL CLIMA EN EL CAFÉ.

La interacción suelo – clima – planta – hombre, esbozada en los estudios de zonificación y uso de los suelos de la zona cafetera colombiana y los estudios de clima de Cenicafé, sirvieron de base para la agrupación geográfica de los Ecotopos Cafeteros. De acuerdo con estas variables, se identificaron agrupaciones con condiciones agroecológicas predominantes, principalmente de características físicas de los suelos, regímenes pluviométricos y térmicos y el relieve del terreno para el área cultivada en café según el censo de 1980 que tuvo en cuenta factores como límites de los Ecotopos, cuantificación del área sembrada en café, áreas de influencia y otros aspectos de caracterización. (Cabellero R, 1996)

1.2.1. Identificación y codificación de los Ecotopos en Colombia.

El origen geológico de las cordilleras, su influencia directa en la formación de los suelos de ladera y el entorno macro y micro climático que rodea las cordilleras, determinan la primera fase de codificación de las siete grandes regiones cafeteras tal como lo muestra la tabla 1:

Tabla 1.

Codificación de las siete grandes regiones cafeteras.

Región	Cordillera	Código
1	Cordillera Occidental, vertiente occidental	100 A
2	Cordillera Occidental, vertiente oriental	100 B
3	Cordillera Central, vertiente occidental	200 A
4	Cordillera Central, vertiente oriental	200 B
5	Cordillera Oriental, vertiente occidental	300 A
6	Cordillera Oriental, vertiente oriental	300 B
7	Sierra Nevada de Santa Marta	400

(Cabellero R, 1996., p. 373)

La identificación de unidades de suelo fueron fundamentales para este tipo de caracterización de Ecotopos (Ver figura 1), ya que se tomaron variables como:

- *Material parental* (Ígneos, metamórficos, sedimentarios, ceniza volcánica)
- *Condiciones físicas:* (Textura, profundidad, drenaje, pendiente, erosión)
- *Condiciones químicas:* (pH)
- *Taxonomía:* (Soil Taxonomy) (Ver Apéndice A)

Sin embargo cabe mencionar que respecto al suelo y clima en la zona cafetera, muchas veces existen diferencias aun a cortas distancias (Cabellero R, 1996., p. 373), razón por la que éste estudio se llevó a cabo teniendo esta posición como premisa de investigación en un mismo territorio y bajo una misma variedad, aun teniendo en cuenta que la conformación de un Ecotopo no es totalmente homogénea en sus características y debe tenerse en cuenta a la hora de realizar muestreos.

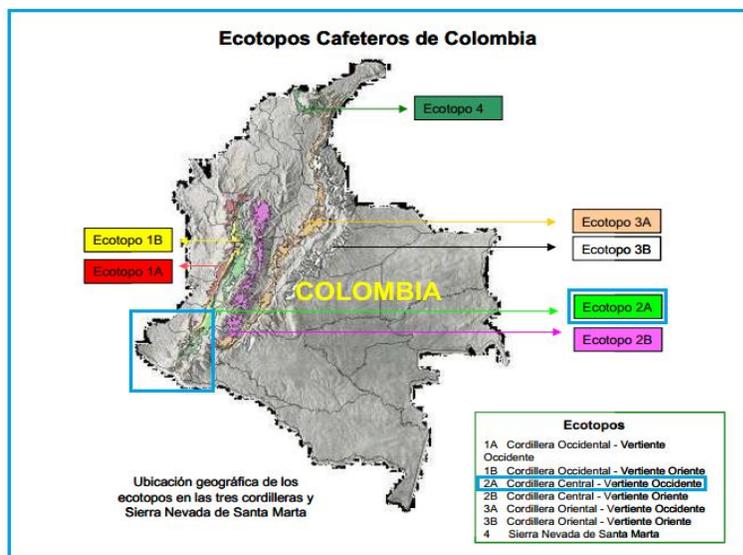


Figura 1. Identificación y codificación de los Ecotopos en Colombia. (CENICAFÉ, 1999b)

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL ECOTOPO NARIÑENSE.

La zona cafetera Nariñense se encuentra localizada en las laderas de la Cordillera Central – vertiente occidental que atraviesa el país de sur a norte. De acuerdo con la latitud está ubicada sobre el trópico de cáncer y cubre desde 1° a 3° de latitud norte, en una franja altitudinal comprendida entre los 1.300 y 1.700 m.s.n.m. Estos límites de altura son amplios, debido a la influencia que tiene la latitud sobre la altura conveniente para sembrar café. Así, cerca al Ecuador Geográfico, a un grado de latitud, se pueden utilizar zonas cercanas a los 2.000 m.s.n.m. para sembrar café económicamente, lo que no es posible en la región de la Sierra Nevada. (CENICAFÉ, 1999b., p. 58) (Ver tabla 2).

Tabla 2.

Zona Cafetera colombiana. Nariño.

Zona Cafetera de Colombia.		
Latitud y Altitud para cultivos de café		
Zona	Latitud	Altitud
Norte	7 – 10°	1000 – 1400
Centro	3 – 7°	1200 – 1650
Sur	1 – 3°	1300 – 1700

(CENICAFÉ, 1999b., p. 58)

1.4. ECOTOPO E – 220 A

1.4.1. Generalidades.

La ubicación de Nariño en Colombia hace de su zona cafetera un lugar sin duda especial, está ubicada entre 1° 15' hasta 1° 37' Latitud Norte y desde 77° 7' hasta 77° 29' Longitud Oeste; con altitudes que alcanzan hasta los 2.300 m.s.n.m. (cerca del 90% del total de las plantaciones se encuentran a alturas que superan los 1.500 metros. (FEDERACAFÉ, 2010c)

El Ecotopo cafetero E-220 A se detalla así:

E=Ecotopo

2= Cordillera Central

20= el 20 Ecotopo agrupado de Norte a Sur.

A= vertiente Occidental.

Las principales zonas cafeteras de la región se encuentran alrededor del volcán Galeras, conocido como “la zona de occidente de Nariño” y la localizada al sur y al oriente del cañón del Río Patía, conocida como “la zona norte”. (Gobernación de Nariño, 2012., p. 2)

El área del Departamento tiene una extensión de 33.268 hectáreas o km² y unas 13.307 hectáreas o km² de café cultivado, es decir el 40% del suelo de la zona cafetera nariñense se encuentra cultivada con café. El restante 60% cuenta con cultivos de caña, maíz, fríjol, plátano, reservas forestales y pastos no tecnificados. (CDCN, 2008., p. 95)

Las condiciones climáticas de la región, por su cercanía a la línea Ecuatorial, favorecen la producción de cafés de alta montaña a temperaturas inferiores promedio. Las menores temperaturas promedio reducen el metabolismo de las plantas. Así, el desarrollo de los frutos desde la floración es más lento en Nariño, lo que se traduce en granos más robustos y densos, con una composición bioquímica particular. Estas condiciones hacen que en la zona de producción de café de Nariño se presente una combinación de factores, tales como la radiación solar de 1.666 horas en promedio durante el año, los ciclos de lluvia de 1.866 milímetros al año, y los suelos con alto contenido de materia orgánica que hacen posible el cultivo de café a grandes alturas y temperaturas con valores mínimos de 16°C y máximos de 25,6°C. (FEDERACAFÉ, 2010a)

Estos diferentes factores explican porque el café de Nariño se produce en alturas que alcanzan hasta los 2.300 m.s.n.m., en zonas que presentan en promedio temperaturas bajas comparadas con el resto de la zona cafetera de Colombia y de buena parte del mundo. Producir café a esta altura podría ser casi imposible si el calor que se acumula durante el día en el fondo de los cañones y de los profundos valles no ascendiera en las noches para atenuar el frío de las partes más altas de las montañas. (FEDERACAFÉ, 2010a).

La planta de café, al reaccionar ante las menores temperaturas, se protege desarrollando un metabolismo más lento, protegiéndose así de un entorno que considera adverso. Esta particularidad está asociada con el sabor dulce característico del “*Café de Nariño*”. (FEDERACAFÉ, 2010b)

1.4.2. Municipios de estudio del Departamento de Nariño. La Unión y Buesaco.

La especialidad del café de Nariño la tienen sus tierras, ya que en la dicha zona cafetera, se observa que las unidades de tierra son derivados de cenizas volcánicas. (FEDERACAFÉ F., 2010b) (Ver apéndice A).

La zona de Norte que hace parte del complejo volcánico Doña Juana (Zona 1: La Unión) y la zona Central que hace parte del complejo volcánico del Galeras (Zona 2: Buesaco).

Según las investigaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2004), éstas tierras poseen un común denominador como es el enriquecimiento mineral que poseen los suelos para desarrollar cultivos agrícolas en zonas donde las temperaturas promedio alcanzan unos 25 – 29°C en el día y unos 14 – 15°C en las noches.

Las condiciones adversas de estas regiones han cautivado el interés del investigador por encontrar la incidencia directa que poseen los cambios agroclimáticos sobre el producto final y la composición química encontrada en un mismo producto pero de dos regiones diferentes.

1.4.2.1. Municipio de La Unión.

- *Localización.* El Municipio de La Unión se encuentra localizado en el Nororiente del Departamento de Nariño. Éste, tiene una superficie de 163 km² y una temperatura promedio de 19°C. Sus coordenadas son: 1° 26' 06" de Latitud Norte y a 77° 80' 15" de

longitud Oeste con el meridiano de Greenwich. Los límites generales del municipio de La Unión son al Norte con los municipios de Mercaderes (Cauca), al Sur con el Municipio de San Pedro de Cartago, al Oriente con los municipios de Belén, Colón, Génova, San Pablo y al Occidente con el municipio de San Lorenzo. (LA UNIÓN, 2012)

- ☛ *Clima.* Las condiciones climáticas van interrelacionadas con ciertos fenómenos atmosféricos en un tiempo determinado como son la precipitación, la temperatura del aire, humedad relativa, evaporación, brillo, y radiación solar.

En esta zona, el clima corresponde a sectores de filas – vigas y crestas de montaña de territorio medio húmedo y muy húmedo. (CORPONARIÑO, 2007a., p. 28).

- ☛ *Precipitación.* Esta variable es analizada en función de tres parámetros caracterizados a nivel mensual: precipitación total, precipitación máxima en 24 horas y número de días con precipitación.

La precipitación total ocurre cuando el régimen pluviométrico que prevalece es el bimodal, es decir, con dos períodos lluviosos y dos secos durante el año. (CORPONARIÑO, 2007a., p. 29). Las precipitaciones son de 1000 a 4000 mm anuales y temperaturas entre 18 y 24°C.

1.4.2.2. *Municipio de Buesaco.*

- ☛ *Localización.* El municipio de Buesaco está situado al Noreste de Pasto, la capital del Departamento de Nariño, limita por el Norte con los municipios de San Lorenzo, Arboleda, Albán y El Tablón; por el Oriente con el municipio del Tablón y el Departamento de Putumayo; por el Sur con Pasto y el Departamento de Putumayo y por el Occidente con Chachagüi. La mayoría de su territorio es montañoso con algunas zonas planas. Los principales accidentes orográficos son los cerros de Bordoncillo y Morasurco; Sus coordenadas son 1° 23' 5" de latitud Norte y 77° 8' 23" de longitud Oeste. Comprende altitudes de 1.959 m.s.n.m. hasta unos 2.120 m.s.n.m., posee una superficie terrestre de 682 km² y una Densidad poblacional de 42,12 ha/km². (ESAP, 2012., p. 12)

- ☛ *Clima y precipitación.* La zona central (cordillera central) donde se ubica este municipio, posee una presión atmosférica más húmeda con precipitaciones superiores a 1.000 mm, debido “al permanente aprovisionamiento de condensación procedente de la selva

amazónica”, donde la temperatura oscila entre los 6°C y 10°C y la precipitación presenta valores superiores a los 2.000 mm anuales. (CORPONARIÑO, 2007b., p. 60, párr. 2).

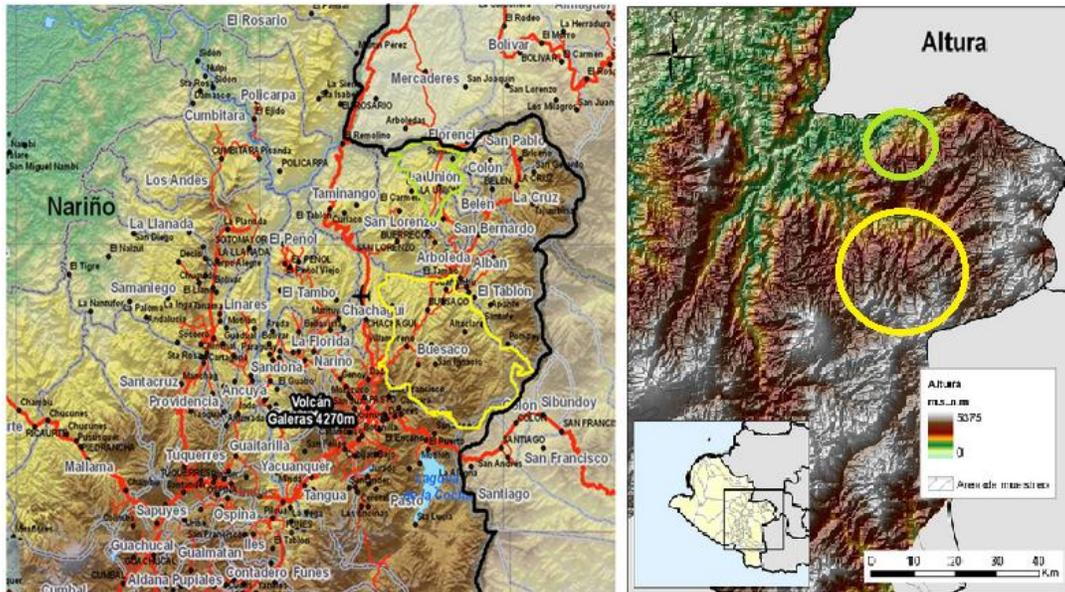


Figura 2. Mapa Físico de Nariño. Adaptado de: (Brains, 2012)

1.5. LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN NARIÑO.

La región de Nariño se caracteriza por tener un número muy elevado de productores y un tamaño promedio de plantación de café inferior a una hectárea. Se trata de cultivos familiares que reciben una esmerada atención y cuidado. El producto final es elaborado y proporcionado por los agricultores, que genera orgullo en la comunidad y es seleccionado cuidadosamente en cada una de sus etapas de producción. La dedicación y el tamaño de finca promedio contribuyen a explicar en buena medida las particularidades de este café. (FEDERACAFÉ, 2010h).

Dentro de la estructura cafetera de éste Departamento, cabe mencionar datos tomados del presente año por el cuerpo administrativo de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia como son: Cantidad de caficultores, Fincas registradas, número de hectáreas entre otros. (Moreno, 2007., p. 19)

Tabla 3.

Estadísticas relacionadas con la actividad cafetera en la región de Nariño. Cifras a Marzo 19 de 2013.

Estructura Cafetera de Nariño.	
Caficultores	39.128
Fincas	54.378
Hect. Café	37.380,14
Hect. Envejece	2.955,02
Hect. Envejecidas	4.650,09
Hect. Envej + Tradic²	5.075,07
Hect. Tradicional³	424,98
Hect. Susceptible.	18.945,08
Hect. Resistentes	18.435,06

(FEDERACAFÉ, 2013)

1.6. CICLOS DE COSECHA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

En la región de Nariño el 90% de la cosecha principal se recolecta entre Abril y Julio; (Ver figura 3) en las zonas de mayor altura, la cosecha va hasta mediados del mes de Agosto. En el mes de Junio se presenta un pico en la cosecha en la primera quincena del mismo. La principal época de floración ocurre en un 90% entre los meses de Septiembre y Octubre y es la responsable de la cosecha de Abril a Julio. Las floraciones abundantes se presentan debido al estrés de la planta por el déficit hídrico que existe en la zona entre los meses de Junio y Septiembre lo que hace que cuando inician las lluvias la planta exprese todo su potencial de producción, concentrándose en una buena floración. (FEDERACAFÉ, 2010c)

² **Nota.** Sistema de producción tecnificado, se considera un lote de café con variedad Caturra o Castillo, el cual ha sido trazado, establecido al sol o con sombrero regulado y una población mayor a 2.500 plantas. por hectárea. (Moreno, 2007.)

³ **Nota.** Sistema de producción tradicional, se considera un lote de café con variedad Caturra o Típica, establecido sin trazo, con sombrero no regulado y una población menor a 2.500 plantas por hectárea. (Ibíd., 2007.)

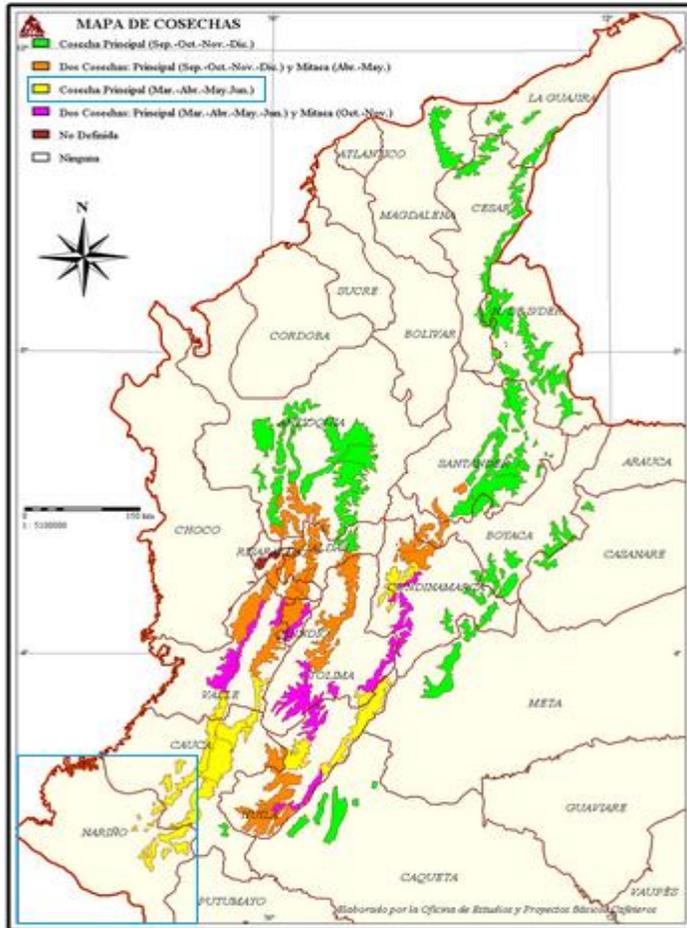


Figura 3. Mapa de cosechas en Colombia. La cosecha principal y la de mitaca pueden alternarse en otras regiones de acuerdo con su latitud. (FEDERACAFÉ, 2010d)

En algunas zonas cafeteras centrales del país se presentan periodos secos y lluviosos intercalados a lo largo de diferentes meses, lo que permite cosechar café fresco regularmente durante todo el año. En la mayoría de las regiones cafeteras del país existe un período de floración que va de enero a marzo, y otro que va de julio a septiembre. La cosecha principal en estas zonas se realiza entre septiembre y diciembre, y hay una cosecha secundaria entre abril y junio que se denomina "de mitaca". (Ibíd, FEDERACAFÉ, 2010d).

Nariño por pertenecer a la Cordillera Central tal como se observa en el mapa, posee una cosecha principal en los meses de Marzo a Junio. En la época de Octubre a Enero presenta su cosecha de "Mitaca" o denominada como mitad de su año cafetero equivalente al 10% de la producción total del Departamento a diferencia de otras regiones que inician su año en los meses de Octubre a diciembre y su mitaca es en los meses de Marzo a Junio. (FEDERACAFÉ, 2010c).

Desde la recolección hasta la exportación pueden pasar un período mínimo de dos semanas, hasta de 6 a 8 semanas, dependiendo de las condiciones del mercado. Es por ello que en ocasiones, y dependiendo de los intereses del cliente, el Café de Nariño se puede almacenar en su estado de pergamino, que lo conserva mejor, en bodegas que garanticen una baja humedad y temperatura. Algunas de ellas, localizadas sobre los 3.000 m.s.n.m., permiten que el Café de Nariño se comercialice durante todo el año a tostadores de todo el mundo. (FEDERACAFÉ, 2010c).

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.

2.1. GENERALIDADES DEL CAFETO

2.1.1. El Café. Definición.

Es una semilla procedente del árbol del cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Los cafetos cultivados en el mundo a nivel industrial son de la especie *Coffea Arábica* y *Coffea Canephora*.

El café crece de manera apropiada en la zona tórrida en lugares que reúnen condiciones especiales de suelo, temperatura, altitud y radiación solar. (Clarke & Macrae, 1985)

El café se desarrolla en el curso de 32 semanas siguientes a la aparición de la flor en el cafeto; cambia desde el verde claro a rojo oscuro o amarillo según la variedad, color en el cual ya se puede considerar maduro, para luego ser recolectado. La cereza del café, se forma en racimos unidos a las ramas por tallos muy cortos. (Ver figura 4).



Figura 4. Cereza del café madura.

2.2. HISTORIA DEL CAFÉ.

El consumo de café comenzó en la zona etíope de Kefa o Kaffa hace 3.500 (tres mil quinientos) años. La tribu de los Oromo consumía granos de café molido y mezclado con grasa animal enrollados en bolitas, lo consideraban un alimento sustantivo para sus viajes. (History, 2011)

Establet, C & Pascual (1997). Propusieron en su libro «Café et objets du café dans les inventaires despélerins musulmans vers 1700» que en el siglo XV el café se introdujo y comercializó en la MECA y las demás poblaciones del Hedjaz. Los turcos otomanos extendieron su consumo por el mar mediterráneo y el océano Índico.

Posteriormente en 1570, un médico veneciano Prospero Alpini, había introducido el café en Europa (N&W, 2010) y en 1600 los turcos ya habían popularizado la bebida en muchos países.

En 1714 los holandeses habían enviado a la Guayana Holandesa los primeros cafetos procedentes del Jardín Botánico de Ámsterdam. (Monreal S. , 2010a)

Entonces en 1723 el Capitán Gabriel Mathiew de Clieu introduce la planta en la Martinica Francesa, de ese arbusto proceden casi todos los que se cultivan en las Antillas. (Ver figura 5). (Ibíd., 2010. p.34)

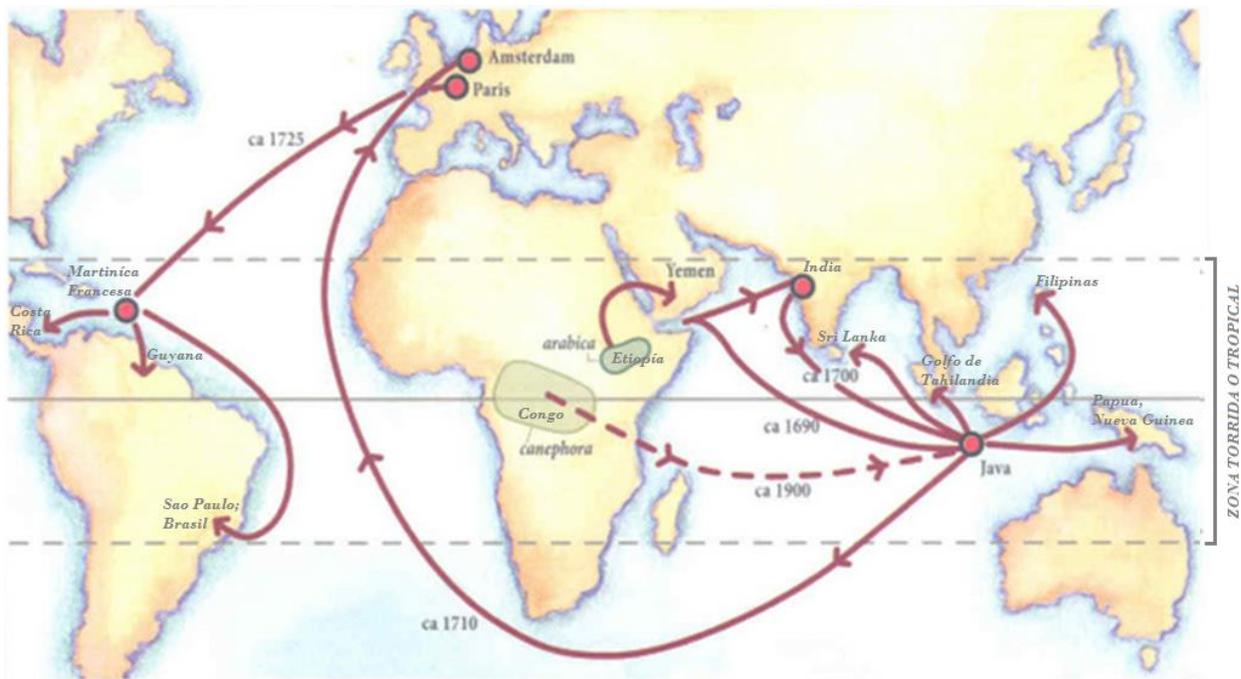


Figura 5. Origen y distribución geográfica del café.⁴ (CIE C. , 2009)

El café llegó a Colombia a finales del siglo XVIII al departamento de Norte de Santander y de allí se difundió hacia el occidente del país en donde se convirtió en el cultivo más representativo

⁴ **Nota.** La línea punteada hace referencia a la distribución de café canephora; la línea recta hace referencia a la distribución de café arábica.

para estas regiones y el producto agrícola con el cual se ha identificado el país por más de sesenta años y catalogado como modelo de desarrollo agroindustrial. El café cultivado en Colombia es apreciado y reconocido mundialmente por su calidad, la cual es considerada como una de las mejores entre los cafés arábigos. (Monreal S. , 2010b)

2.3. EL FRUTO DEL ÁRBOL DE CAFÉ.

El fruto del cafeto, es fruto monospermo de mesocarpio carnoso y fibroso que rodea un endocarpio leñoso comúnmente "hueso" con una sola semilla en su interior. (Monroig, 2012). Es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla (caracolillo). El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo aunque algunas variedades maduran color amarillo. El tiempo que transcurre desde la florecida hasta la maduración del grano varía según la especie. (Monroig, 2012) (Ver tabla 4).

La cereza del café o fruto maduro está conformada por las siguientes partes: (Ver figura 6).

- 2.3.1. Pulpa:** parte de la cereza del café eliminada durante el despulpado y está conformada por el exocarpio (epidermis) y la mayor parte del mesocarpio.
- 2.3.2. Mucílago o mesocarpio:** es la parte carnosa del fruto de café es de aproximadamente 0.5 milímetros de espesor (tiene contenidos importantes de azúcares y pectinas).
- 2.3.3. Pergamino o cisco.** Es una membrana o envoltura frágil y dura que rodea al grano de café (endocarpio).
- 2.3.4. Película plateada.** Es la segunda membrana o Tegumento seminal seco que también rodea al grano de café. Generalmente tiene una apariencia plateada o cobriza.
- 2.3.5. Grano de café o albumen.** Termino comercial que designa la semilla de la planta del café.

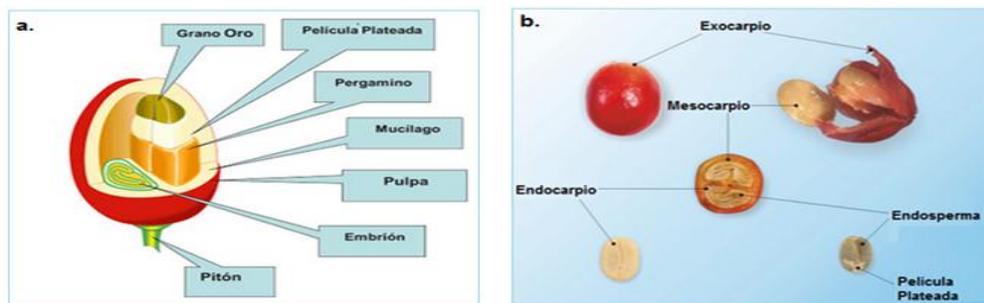


Figura 6. Partes del fruto del café. **a.** Corte transversal de una cereza de café; **b.** Corte transversal de un grano de café. (FEDERACAFÉ, 2010f)

2.4. CLASES DE CAFÉ.

Los cafés tienen por origen botánico, principalmente, dos especies: *Coffea Arábica* y *Coffea Canephora* o Robusta y algunas especies menos comunes como *Coffea Excelsa* y *Coffea Libérica*. La descripción de las dos especies más sobresalientes de este fruto son las de variedad Arábica y *Canephora*.

Tabla 4.

Tipo de Variedades de café y el tiempo de maduración según la especie.

Especie	Tiempo
<i>Coffea Arábica</i>	6 a 8 meses
<i>Coffea Canephora</i>	9 a 11 meses
<i>Coffea Libérica</i>	11 a 14 meses

(Monroig, 2012)

2.4.1. Tipo de beneficio en *Coffea Arábica* y *Canephora*.

2.4.1.1. *Arábicos Suaves-Lavados:* Son aquellos que en el beneficio utilizan agua para retirar la pulpa o mucílago y obtener el café pergamino (café descerezado, despulpado, fermentado, lavado y seco, listo para la trilla). En este grupo están Colombia, Kenia y Tanzania. Las mejores calidades del café, son los arábicos procesados por la vía húmeda conocidos como suaves, caracterizados por su acidez en la taza, un delicado y abundante aroma y un excelente cuerpo; usualmente en los mercados son los más costosos. (Riaño, 2010)

2.4.1.2. Arábicos No Lavados: Se caracterizan porque se secan con pulpa y se pasan a un proceso de trillado que les retira la cáscara. En el proceso no se utiliza agua. Por este método son beneficiados los cafés de Brasil y Etiopía. (Riaño, 2010)

2.4.1.3. Coffea Canephora o Robusta: Son beneficiados por vía seca, son cafés provenientes del Brasil y África; son usados en mezclas por sus altos rendimientos en la extracción. Muchos robustas todavía son preparados por vía húmeda pero no son los más apetecidos o apreciados en el mercado. Los principales productores son Vietnam, Indonesia, África y Brasil. En este país se le llama Conilon. (Riaño, 2010). Ver Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación botánica, taxonómica e industrial del café.

FAMILIA	GENERO	ESPECIES	VARIEDADES	BENEFICIO AGRÍCOLA	BENEFICIO MECÁNICO	HÍBRIDOS
RUBIÁCEAS	COFFEA	ARÁBICA	PORTE ALTO:	VÍA	PRODUCTOS	HIBRIDO DE
		Acidez natural Agradable Mejor sabor y aroma 1% de cafeína Susceptibles a la roya Tetraploides	Maragogipe Mundo nova Columnaris PORTE MEDIO Típica Borbón PORTE BAJO: Caturra	HÚMEDA. Café pergamino suave o lavado.	Café Excelso SUB – PRODUCTOS Café de consumo Pasillas Ripio	TIMOR. [Arábica y Robusta] VARIEDAD COLOMBIA [Cruce entre Caturra e Híbrido de Timor]
		CANEPHORA Ó ROBUSTAS. Robustas o cafés africanos. 2% de cafeína Resistentes a la roya Diploides		VIA SECA. Cafés en coca. Naturales o Fuertes		

(CENICAFÉ C. , 1990)

2.5. BENEFICIO Y PROCESAMIENTO DEL CAFÉ.

El beneficio del café consiste en someterlo a una serie de operaciones que se inician con el despulpado del fruto del cafeto (la cereza del café), que se realiza por vía húmeda o con el secado del café sin despulpar si es por vía seca, hasta obtener un grano tipo pergamino seco o cacota; una vez pase por la operación de trilla recibe el nombre de café verde en almendra. En estas condiciones el café queda listo para exportarlo o para procesarlo. (Puerta G. , 2006) Ver figura 7.

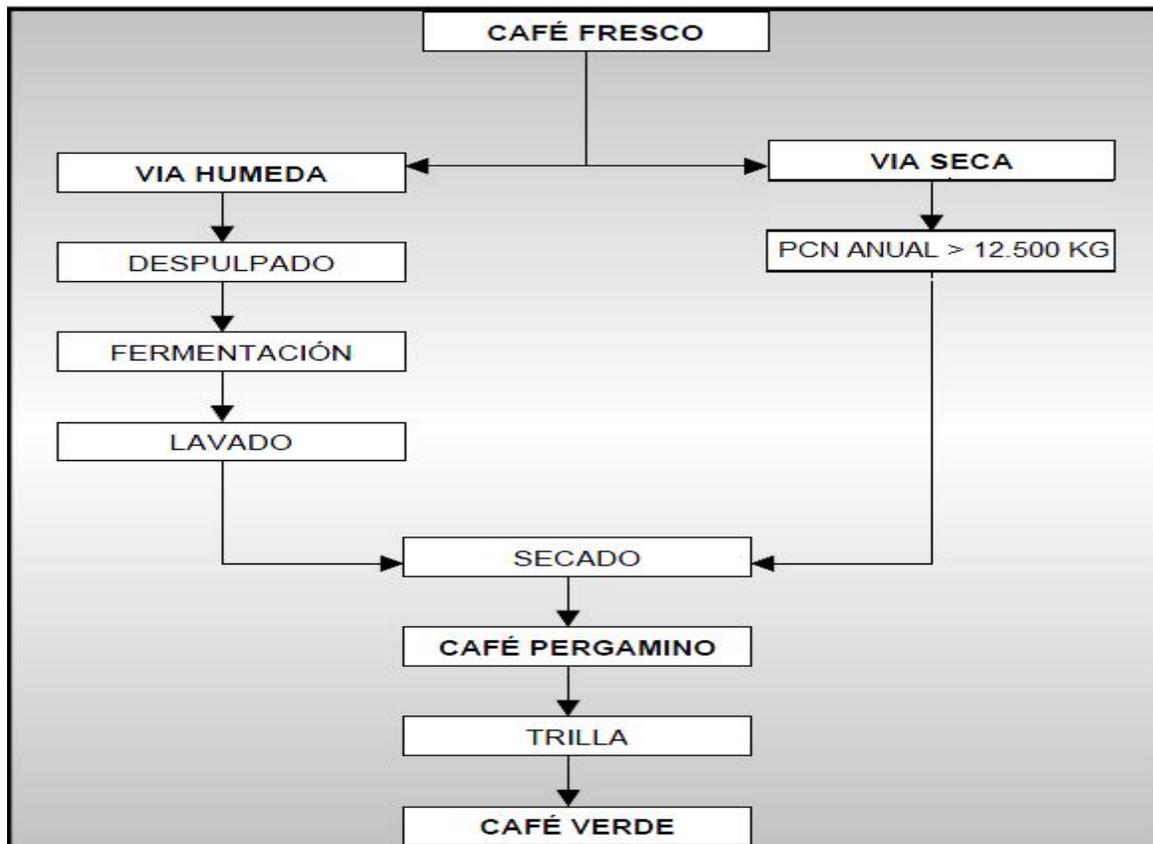


Figura 7. Diagrama de flujo de la producción de café. (Soto, 1992)

2.6. TRILLADO DEL CAFÉ.

El proceso de trillado consiste en transformar el café pergamino en café almendra (Café Verde), con el fin de obtener café excelso con destino a la exportación y café para la industria nacional, en las condiciones de calidad y empaque requeridas por el cliente. (ALMACAFE, 2010)

2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CAFÉ DESPUES DE LA TRILLA.

La clasificación de café se realiza por medio de la retención granulométrica o tamaño de grano en las distintas mallas, ya que es ahí donde se especifica la calidad del café tipo exportación o café para consumo nacional. Ver tabla 6.

Tabla 6.

Calidad granulométrica del café.

Calidad Del Café	Sobre Malla
Premium	18
Supremo	17
Extra Especial	16
Europa	15
Consumo	14

(FNCC F. , Categorías, 2010e)

2.8. CAFES ESPECIALES

El programa de cafés especiales colombianos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia FNCC, (2010e) ha definido estos cafés como:

“Aquellos valorados por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles y por los cuales están dispuestos a pagar precios superiores que redunden en un mayor bienestar de los productores”... y los ha clasificado en tres características:

- ☛ Cafés de origen
- ☛ Cafés de preparación
- ☛ Cafés sostenibles

2.8.1. Cafés de Origen.

Son cafés que provienen de una región o finca con cualidades únicas, debido a que crecen en sitios especiales. Son vendidos al consumidor final sin ser mezclados con otras calidades o cafés provenientes de otros orígenes. Se clasifican en café regional, cafés exóticos y cafés de finca. Ver tabla 7.

Tabla 7.

Los cafés especiales colombianos. Cafés de origen.

SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	LOGOTIPO QUE LOS IDENTIFICA
Cafés regionales.	Son aquellos cafés que provienen de una región específica reconocida por sus cualidades particulares. Se le ofrecen al consumidor final puros, sin mezclar con productos de otros orígenes.	
Cafés Exóticos.	Son cafés cultivados en zonas determinadas bajo condiciones excepcionales. Por tanto, poseen características sensoriales y organolépticas que permiten obtener una taza de altísima calidad.	
Café de finca.	Cafés producidos en una sola finca, que provienen de un solo cultivo, tienen un beneficio centralizado y ofrecen un producto sobresaliente en calidad, la cual es consistente en el tiempo.	

(Farfán, 2007)

2.8.2. Cafés de preparación.

Son cafés con una apariencia especial por su tamaño y forma que los hace apetecidos en el mercado internacional. Ver tabla 8.

Tabla 8.

Los cafés especiales colombianos. Cafés de Preparación.

SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	LOGOTIPO QUE LOS IDENTIFICA
Cafés Selectos.	Proceden de una mezcla balanceada de varios tipos de café, y que dan como resultado una taza de excepcional calidad.	

Cafés Supremos.	Son cafés que se ofrecen de acuerdo a una clasificación granulométrica o tamaño del grano, tales como: Supremos (malla # 17 arriba), Extra o Especial (malla # 16 arriba), Europa (malla # 15 arriba).	
Cafés Caracol.	Son cafés cultivados en zonas altas, de los cuales se seleccionan los granos en forma de caracol, que producen una taza única de alta acidez.	

(Farfán, 2007)

2.8.3. Cafés sostenibles.

Son cafés cultivados por comunidades que tienen un serio compromiso con la protección del ambiente a través de la producción limpia y la conservación de la biodiversidad de sus zonas. También promueven el desarrollo social de las familias cafeteras que los producen. Los clientes los prefieren por que cuidan la naturaleza y promueven el mercado justo con los países en vía de desarrollo. Ver tabla 9.

Tabla 9.

Los cafés especiales colombianos. Cafés Sostenibles

SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	LOGOTIPO QUE LOS IDENTIFICA
Cafés Orgánicos.	Son los cafés cultivados sin la utilización de productos Agroquímicos como fungicidas, herbicidas, insecticidas y fertilizantes. Normalmente, se comercializan con una certificación expedida por una firma especializada, encargada de inspeccionar y vigilar las prácticas del cultivo, su proceso de trilla, almacenamiento y transporte.	
Café Amigable con las Aves o de Sombra.	Este café crece y se cultiva a la sombra de una cubierta arbórea, en contraste con las fincas cafeteras en las que el café se cultiva a plena exposición	

Café de Precio Justo o Social

solar, o aquellas completamente tecnificadas que tienen muy pocos árboles o carecen de ellos totalmente.

Son cafés producidos por pequeños productores asociados en cooperativas y que tienen un precio mínimo de compra garantizado.

Las relaciones comerciales están basadas en el respeto y beneficio mutuo de las partes. Se valora el trabajo de los productores, las leyes laborales, la seguridad social, la salubridad y el respeto por la conservación de los recursos naturales.



(Farfán, 2007)

2.9. PROCESO DE TORREFACCIÓN DEL CAFÉ.

La torrefacción es una operación de exposición de los granos de café almendra a un calentamiento, el cual provoca inicialmente una liberación del agua ligada a los granos, seguido de una serie de reacciones químicas tales como oxidación, reducción, hidrolisis, polimerización y descarboxilación hasta alcanzar el color deseado; manteniéndolo en continuo movimiento para asegurar un tostado completo del grano; cuando finaliza la toción, el café es enfriado rápidamente con una determinada cantidad de agua o aire. (Clarke & Macrae, 1987)

Durante el tostado se pierde agua, materia seca y otros compuestos volátiles, producto de la pirolisis; en este proceso el café adquiere todas sus características de color, aroma y sabor deseados. El grado de tostación depende de la temperatura y tiempo de proceso. (Clarke & Macrae, 1987)

Las temperaturas óptimas de tostación oscilan entre 180°C y 250°C, dependiendo del diseño y estado del equipo. Entre menos tiempo dura la tostación mejor es la calidad. (Ibíd, Clarke & Macrae, 1987) El tiempo está relacionado directamente con la temperatura y calidad del café tostado, ya que a menor tiempo menor es la temperatura alcanzada por el grano, su color es más

claro y su sabor es más ácido mientras que a mayor temperatura y tiempo su color es intenso y oscuro y su sabor cambia de suave a amargo además de resaltar en grandes cantidades los aceites del café que brotan a la superficie, se alcanzan a quemar y en la taza aparece un sabor a quemado y desagradable además de la apariencia aceitosa y brillante. La pérdida de peso ocurre del 14 al 22% dependiendo del grado de tostación, la eficiencia del equipo y la calidad de las materias primas. (Clarke & Macrae, 1987)

2.9.1. Etapas de la torrefacción.

Se dividen en tres fases, las cuales son:

2.9.1.1. *Secado.* Es un proceso endotérmico. Tiene tres etapas, la primera es la evaporación del agua de los granos de café almendra, que ocurre durante el 80% del tiempo en la torrefacción; la segunda los granos de café pierden el agua ligada que es el 3% de la humedad inicial y la tercera es cuando los granos pierden el color verde y dan tonalidades amarillas o carmelitas. (Clarke & Macrae, 1987)

2.9.1.2. *Tostión o pirolisis.* Por acción del calor, los compuestos del café comienzan a sufrir una serie de reacciones pirolíticas de carácter exotérmico dentro de la célula, conllevando a aumentar el espesor de las membranas, produciendo compuestos responsables del aroma y sabor. La etapa inicia entre los 205°C a 210°C y es cuando los granos alcanzan su máximo hinchamiento. Por los cambios en su composición química se libera gran cantidad de CO₂ en presencia de humo que primero es de color azulado y luego pasa a grisáceo y opaco. (Peláez, 1995)

2.9.1.3. *Enfriamiento.* Una vez que se alcanza el grado de tueste deseado, se debe interrumpir la pirolisis mediante el enfriamiento. Los medios más empleados son aire y agua, por lo cual se usa un máximo de 8% en peso de agua. En el enfriamiento con aire se presenta cierta desventaja y es la emisión de humos con sustancias orgánicas causantes de contaminación

ambiental, mientras que el enfriamiento con agua (Quenching)⁵ se realiza mediante una fina aspersión de agua fría y pura; este proceso aumenta la tonalidad oscura del grano y mejora sus características friables del café, produciendo una molienda uniforme; sucede una especie de “templado” en la que cierra los poros y ayuda a conservar el aroma. (Peláez, 1995)

2.9.2. Cambios físicos ocurridos con la torrefacción.

Durante la torrefacción se presentan cambios físicos de peso, volumen, color y textura interna.

2.9.2.1. Pérdida de peso (pp). Se debe a la evaporación esencialmente de agua y materia seca. Son aceptables los rangos de pérdida de peso para los cafés: 3% - tostado muy pálido, 10 – 14% - cafés de tostado claro y 23 – 25% para cafés muy oscuros. (Clarke & Macrae, Coffee Technology, 1987)

2.9.2.2. Aumento del volumen. Es ocasionado por la generación de CO₂ interno del grano, generando presiones internas de 5.5 y 8 atmósferas, que aumenta el volumen en 170 y 230%. Este fenómeno depende del origen botánico, procedencia y contenido de humedad. (Acevedo & Castaño, 1998)

2.9.2.3. Cambios del color. El color final depende de la intensidad y duración del proceso de tostación. El color varía desde un marrón claro a negro brillante, pasando por todas las tonalidades del color café. Este factor es importante para la prueba de calidad en taza ya que a cada color le corresponde un aroma y sabor específicos. El color también se ve afectado por el tipo de café y la procedencia. (Medina, 2000)

2.9.2.4. Resistencia a la compresión. Al expandirse los granos, se produce una crepitación (explosión) provocada por una expulsión de vapor de agua y gases internos del grano, dando como resultado la aparición de grietas y fisuras. El café entre más se haya tostado, será más quebradizo y fácil de moler. (Carvajal, Aristizabal, & Oliveros, 2012)

2.9.2.5. Incremento de solubles en el agua. Se debe a la hidrólisis – solubilización de carbohidratos insolubles. El café Robusta suministra un 3 – 4% más de sólidos solubles que la Arábica en un mismo grado de tueste, así como el incremento del porcentaje de extracción en tostaciones fuertes. (NTC 4675) (ICONTEC I. , 1999)

⁵ Acevedo, N & Castaño, C. (1998). Influencia del agua de apagado sobre las propiedades fisicoquímicas del café tostado. *Revista Cenicafé* 49 (1). p. 17-29

2.9.3. Cambios químicos ocurridos en la torrefacción.

En el proceso de torrefacción son múltiples los cambios químicos que se presentan, siendo particulares para cada compuesto así:

2.9.3.1. Carbohidratos: Estos compuestos sufren una deshidratación, hidrolizándose en azúcares simples hasta que la temperatura alcanza el punto de pirolisis. Muchos de los productos de la pirolisis de los azúcares reducidos reaccionan con proteínas y otros productos de degradación, dando pie a la formación de los compuestos que dan lugar al color caramelo y a propiedades de café tostado. (Soto, 1992)

2.9.3.2. Pentosanos: Durante las primeras etapas de la tostación se descomponen principalmente a furfural. Son causantes del olor a cereal o pan tostado. (Medina, 2000)

2.9.3.3. Ácidos: Los ácidos predominantes en el café verde son el ácido clorogénico, el acético, cítrico y málico. En el café arábica constituyen el 6,5%; en la tostación se reducen a diferentes niveles con la relación de que a menor grado de tueste, mayor será el contenido de éstos ácidos y a mayor grado de tueste menor será su contenido ácido en el café. El ácido que más fuerte se afecta con la tostación es el n-clorogénico el cual prevalece bastante en términos de calidad. (Gotteland & Pablo V, 2007)

2.9.3.4. Compuestos volátiles: Proporcionan el aroma al café. Más de 950 compuestos se han identificado después de la torrefacción en diferentes tipos de café, dependiendo de su origen, grado de tostado, y los métodos analíticos utilizados (Yeretian, C, Jordan, & Lindinger, 2003). Las clases de compuestos volátiles que se encuentran típicamente en el café tostado son furanos y píranos, pirazinas, pirroles, cetonas y fenoles, hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, ácidos y anhídridos, ésteres, lactonas, tiofenos, oxazoles, tiazoles, piridinas, aminas, y varios de azufre y compuestos de nitrógeno (Toci & Farah, 2008) Ver tabla 5.

2.9.3.5. Proteínas: Las proteínas, péptidos y aminoácidos libres son vitales para el sabor del café, ya que son necesarios para la reacción de Millard. Ellos sirven como precursores para la formación de compuestos volátiles tales como furanos, piridinas, pirazinas, pirroles, aldehídos, y melanoidinas. Las melanoidinas son responsables para el color del café y hasta cierto punto, su actividad antioxidante. El total compuestos nitrogenados (excluyendo la cafeína y trigonelina) representan el 9 % y el 16 % de la composición química café verde, con un contenido

ligeramente más alto en *C. canephora* que *C. arábica*. Sin embargo, el café no es una buena fuente nutricional de proteínas, ya que carece de aminoácidos esenciales. (Clarke, 2003)

2.9.3.6. Lípidos: Son en su mayoría aceites parcialmente insaturados, susceptibles al rompimiento en sus dobles enlaces por el choque térmico. Los glicéridos que conforman estos aceites se descomponen en glicerina y ácidos grasos libres, en presencia de ácido y acción de calor; si las cadenas son cortas se forman ácidos volátiles. Durante la tosti3n la estructura celular se afecta liberando el aceite, el cual se desplaza libremente en el interior del grano. Este aceite, al producirse el enfriamiento súbito del grano, solidifica provocando su fragilización. La fracción lipídica del café, se compone principalmente de triglicéridos (aproximadamente 75 %), los ácidos grasos libres (1%), esteroles (2,2 % y 3,2 % no esterificados con ácidos grasos), y tocoferoles (0,05 %), que se encuentran típicamente en aceites de vegetales comestibles. (Folstar, 1985)

2.9.3.7. Cafeína: Casi siempre en el proceso de torrefacci3n cerca del 10% de la cafeína contenida en el café almendra, se pierde a través de la sublimaci3n. Solo con tostados muy oscuros se encuentra una significativa perdida de cafeína. (Medina, 2000)

2.9.3.8. Dióxido de carbono (CO₂): No existe libre en el grano de café almendra, se forma durante la pirolisis. Durante el tostado, el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO₂) generan una alta presi3n. Esta presi3n cambia la forma de las células: el volumen se incrementa y las paredes celulares reducen su grosor. La reducci3n de su grosor incide sobre una p3rdida que contiene CO₂, monóxido de carbono (CO), nitr3geno, ácidos volátiles y compuestos aromáticos volátiles (hidrocarburos, CH). En conjunto, el peso se reduce entre un 12 y un 23%. (An3nimo, 2010b)

2.9.3.9. Minerales: existen en el grano en forma de sales orgánicas. Durante la tostaci3n se separan de sus compuestos orgánicos y actúan como catalizadores de las reacciones que ocurren durante la pirolisis. (Prieto, 2002)

2.10. CLASIFICACI3N DE COMPONENTES PRINCIPALES DEL CAFÉ.

En el estudio realizado acerca de los factores de origen y proceso en la calidad y la química del café por Puerta (2008) se afirmó que “El café de buena calidad es sano, inocuo, tiene aromas y sabores agradables y una composici3n química natural”.

La composición química del grano de café depende de la especie y la variedad cultivada, también de factores como la ubicación del cultivo, la altitud, fertilidad del suelo, las condiciones atmosféricas, el grado de maduración y las condiciones de almacenamiento. (Puerta G. , 2008)

En el grano de café se pueden encontrar compuestos solubles en agua como la sacarosa y otros oligosacáridos, ácidos clorogénicos, ácidos no volátiles, alcaloides (cafeína, trigonelina), proteínas y aceites. (Ver tabla 10).

Tabla 10.

Composición química de los granos verdes y tostados de las especies Coffea Arábica (% base seca).

Componente	Coffea Arábica.	
	Verde %	Tostado %
Minerales	3,0 – 4,2	3,5 – 4,5
Cafeína	0,9 – 1,2	~ 1,0
Trigonelina	1,0 – 1,2	0,5 – 1,0
Lípidos	12,0 – 18,0	14,5 – 20,0
Total de ácidos clorogénicos	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Ácidos alifáticos	5,5 – 8,0	1,2 – 2,3
Oligosacáridos	6,0 – 8,0	0,0 – 3,5
Total polisacáridos	50,0 – 55,0	24,0 – 39,0
Aminoácidos	2,0	0
Proteínas	11,0 – 13,0	13,0 – 15,0
Ácidos húmicos	0	16,0 – 17,0

(Cliford M. , 1985)

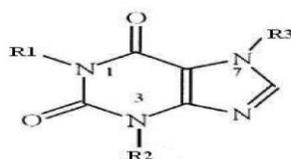
2.10.1. Sustancias Minerales.

Estas juegan un papel muy importante en el crecimiento estructural de la planta y semilla; hacen parte de las estructuras químicas de carbohidratos, proteínas y lípidos. El contenido de minerales es más alto en Coffea Canephora que en Arábica y mucho más alto en el café instantáneo, además se deduce que éstos no se pierden durante la tostación y en el procesamiento para obtener café instantáneo. (Clarke & Macrae, 1985)

2.10.2. Compuestos nitrogenados.

El término nitrogenados se aplica estrictamente a todos aquellos compuestos que contienen nitrógeno orgánico e inorgánico, como son los alcaloides, aminoácidos y proteínas. Otros son los compuestos volátiles de nitrógeno y los compuestos de nitrógeno solubles en grasa. (Clarke & Macrae, 1985)

- **Alcaloides:** la cafeína (1,3,7 – trimetilxantina) es el principal alcaloide del grano de café y a ésta se atribuye la mayoría de actividad estimulante de la bebida. Los granos verdes de *Coffea Canephora* contienen más concentración de cafeína (1,6 – 2,4%) que los granos de *Coffea Arábica* (0,9 – 1,2%); otros alcaloides son la teobromina (3,7 – dimetilxantina) y trazas de teofilina (1,3 - dimetilxantina). (Poisson, 1977). Ver estructura figura 8.



Esqueleto de la purina

R1	R2	R3	
CH ₃	CH ₃	CH ₃	Cafeína
H	CH ₃	CH ₃	Teobromina
CH ₃	CH ₃	H	Teofilina

Figura 8. Fórmula estructural de los alcaloides del grano de café. (Cliford M. , 1985)

- **Proteínas y aminoácidos libres:** el contenido de proteína en el café verde consiste de una fracción soluble en agua (albúmina), la cual constituye aproximadamente la mitad del contenido total de proteína y una fracción insoluble (globulinas 11S). (Acuña, y otros, 1999). Durante la tostación, las proteínas se desnaturalizan y se degradan para producir fragmentos de bajo peso molecular. Adicionalmente algunas de las proteínas reaccionan con carbohidratos (reacción de Millard) e incluso con compuestos fenólicos, para producir compuestos que contribuyen al aroma y coloración del café. (Óp., cit Clarke & Macrae, 1985)
- Los aminoácidos unidos como proteínas también estarán presentes en el grano de café como aminoácidos libres; la fracción de aminoácidos libres forma hasta un 2% de los

granos de *Coffea Arábica* y *Coffea Canephora*; en el café están presentes aminoácidos que se presentan comúnmente en los tejidos de las plantas y también trazas de aminoácidos poco comunes. (Campos & Rodríguez, 1971)

2.10.3. Lípidos.

Los lípidos de los granos de café verde están compuestos de aceite presente principalmente en el endospermo, y de una pequeña cantidad de cera localizada en las capas externas del grano. El aceite es considerado como un importante vehículo para el aroma del café tostado, pero es poco el que pasa al café soluble (1,5 – 1,6%). La literatura reporta que para la especie *Coffea arábica* la proporción de aceites es de 12 – 18% de lípidos crudos y para la especie *Coffea Canephora* es de 9 – 13%. (Clarke & Macrae, 1985)

2.10.4. Compuestos fenólicos.

Los ácidos clorogénicos son el principal grupo de compuestos fenólicos hallados en el grano de café verde; los cuales incluyen al menos diez compuestos íntimamente relacionados. Los ácidos son mono o di ésteres de ácido cinámico y ácido quínico. Los granos verdes de *Coffea Canephora* contienen entre 7% y 10% de ácidos clorogénicos, mientras que los de la especie *Coffea arábica* la proporción de estos ácidos son de 5,5% – 8%.

Los fenoles incluyendo los ácidos clorogénicos, son considerados generalmente como productos secundarios de plantas, es decir, compuestos que no tienen una función directa en las actividades bioquímicas primarias que apoyan el crecimiento, desarrollo y reproducción del organismo en que ellos se presentan. Cabe mencionar que el contenido de estos ácidos clorogénicos en el café son más pronunciados en la cereza en comparación con los otros órganos de la planta, ya que éstos actúan como protección contra la invasión microbiana, son precursores de la capa protectora inicial sintetizada en el sitio del daño físico y la biosíntesis de lignina. (Clifford M. , 2000)

2.10.5. Carbohidratos.

Los carbohidratos son los principales constituyentes de los granos de café verde, estos participan como precursores del aroma, mejoran la calidad organoléptica de la bebida de café constituyendo a su viscosidad y espesor, imparten estabilidad a la espuma en la bebida de café expreso y

participan en la formación de sedimentos y el incremento de la viscosidad del extracto durante la fabricación del café soluble; además durante el proceso de tostación sufren cambios complejos que contribuyen a mejorar el carácter organoléptico de la bebida del café. (Meenakshi & Rao, 2007)

La fracción de carbohidratos en los granos de café tanto verdes como tostados, constituye casi la mitad del grano en base seca, tanto en *Coffea Canephora* como en *Coffea Arábica*, además son los mayores componentes del café soluble, como se observa en la tabla 11. (Bradbury, 2001)

Tabla 11.

Contenido aproximado de la fracción de carbohidratos en granos de café verde y tostado.

Contenido de carbohidratos en % en peso, base seca.		
Café	verde	tostado
Total Carbohidratos	45 – 60	40 – 50

(Bradbury, 2001)

Los polisacáridos son los mayores constituyentes de la pared celular de los granos de café verde y juegan un papel importante en el carácter final de la bebida; se solubilizan en un factor crítico durante la extracción comercial de los granos de café tostado y molido para obtener café soluble. Dentro de la fracción de polisacáridos de los granos de café verde, los galactomananos son los principales constituyentes, con una concentración alrededor del 50% del total de esta fracción, seguida por los arabinogalactanos con una concentración del 30%, la celulosa con un 15% y la pectina con un 5%. (Redgwell, Curti, Rogers, Nicolas, & Fisher, 2003)

CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS.

3.1. LOCALIZACIÓN.

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Bogotá en la Sede Nacional Mutis de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

3.1.1. Materiales.

Para tales fines, se empleó café tipo Supremo y Extra Especial de la variedad Colombia, con humedades entre 10% y 12% provenientes del Departamento de Nariño de los municipios La Unión y Buesaco; seleccionado, procesado y analizado acorde con las siguientes fases. Ver APENDICE B y APENDICE C.

3.2. PRIMERA FASE. SELECCIÓN DEL CAFÉ EN ESTUDIO.

El café empleado para ésta investigación, es procedente de dos municipios “La Unión y Buesaco” pertenecientes al Departamento de Nariño. Los municipios mencionados para esta investigación pertenecen al Ecotopo 220 A (Cordillera central al Nor - Occidente del Departamento de Nariño y límites con El Cauca).

3.2.1. Municipio de La Unión.

La muestra de café crudo obtenida en el municipio de La Unión, se efectuó por medio del señor Alirio Uldarico Gaviria Gómez propietario de la finca “El Placer”, donde se consiguió la información respectiva al procesamiento del café de estudio. El predio es actualmente certificado por Rainforest Alliance en conjunto con Nespresso y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

La finca tiene una localización geográfica de 1.931 m.s.n.m. de altitud, con un área sembrada de variedades Colombia y Caturra de 6,9 hectáreas, de las cuales 4,2 hectáreas son de Variedad Caturra y 2,7 hectáreas son de variedad Colombia. La toma de las muestras de los granos de café, se realizó en el mes de mayo de manera aleatoria y al azar, es decir, de un valor aproximado de

5.400 arbustos en total sembrados de variedad Colombia, las muestras seleccionadas de cada arbusto aproximadamente fue de 200g hasta recolectar suficiente muestra para ser beneficiada en las instalaciones de la finca. La selección del grano fué maduro, de color rojo y sano.

Beneficio húmedo en la finca “El Placer”. El proceso comienza después de la cosecha del grano que ha sido recolectados el mismo día para evitar que los mismos jugos naturales de la fruta se sobre fermenten y den un mal sabor en taza, éste proceso continúa en 4 etapas subsecuentes:

3.2.1.1. *Despulpado:* Es el proceso mediante el cual, se despoja el grano de la pulpa. La despulpadora empleada en la finca El Placer, es una máquina tradicional en Colombia como es la de cilindro o tambor horizontal. Las despulpadoras tradicionales son máquinas sencillas que requieren para su funcionamiento un buen manejo, cuidados y vigilancia constante.

Este proceso debe realizarse el mismo día de la recolección; ocurre por presión interna de las partes de la máquina despulpadora, separa y elimina la cáscara y parte del mucílago, evitando daños al pergamino en la demás fases del proceso. Ver figura 9.



Figura 9. Proceso de despulpado de café, zona 1. La Unión

3.2.1.2. *Fermentación:* La fermentación, se lleva a cabo durante un tiempo de 18 hasta 30 horas, dependiendo de las condiciones ambientales, la madurez del café, el diseño de los tanques de fermentación, la calidad del agua y de la altura de la zona. Cuando el café está en el punto apropiado de fermentación se debe lavar inmediatamente con el objeto de eliminar todo el mucílago hidrolizado de la superficie del pergamino en largas piletas de concreto. Ver figura 10.



Figura 10. Fermentación del grano de café, zona 1. La Unión

3.2.1.3. Lavado: El propósito es eliminar el mucílago digerido, es el único proceso donde es indispensable o se requiere el uso de agua, se realiza en:

- * Tanques de lavado (rastrillo o paletas)
- * Canales de correteo
- * Máquinas
- * Bombas centrífugas

Para la zona 1 de La Unión, el lavado se realiza en Canales de correteo que está levemente inclinado por donde el agua va arrastrando el café y lo va separando según su densidad. Tal como lo muestra la figura 11.

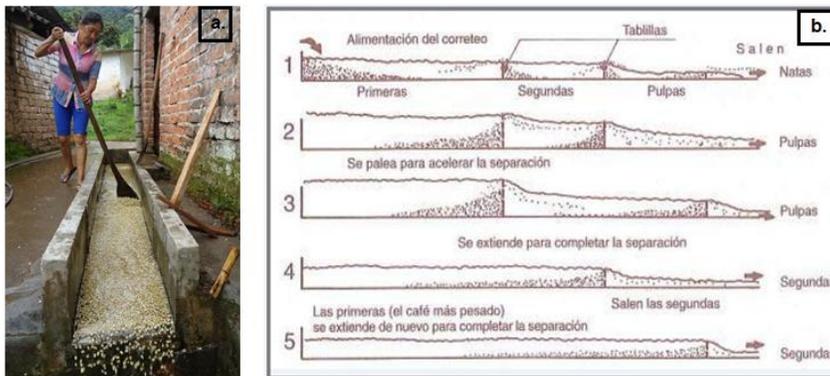


Figura 11. Lavado de granos de café en canal por correteo. Zona 1 La Unión. **a.** Foto del lavado por correteo en la finca “El Placer”. **b.** Esquema de clasificación en un correteo tradicional para los granos de café.

3.2.1.4. Secado: En este proceso se disminuye la humedad del grano hasta un 10 a 12%, de tal forma que se pueda almacenar en óptimas condiciones, ya que en esta etapa se corre el mayor peligro de deterioro de la calidad del grano.

El café seco, recibe el nombre de café pergamino, el cual se empaca en costales y se almacena hasta el momento de la trilla.

En la zona 1 La Unión – Nariño, el secado se realiza con la exposición de los granos de café directamente al sol, sobre unos solares o patios de cemento brindando mejor calidad al grano siempre y cuando este no se exponga de nuevo al agua o humedad. No realizan el proceso de secado mecánico debido a que la finca productora de este café no procesa cantidades mayores a 1000 arrobas al año. Ver figura 12.



Figura 12. Exposición o secado de los granos de café al sol. Zona 1. La Unión

3.2.2. Municipio de Buesaco.

La muestra de café crudo obtenida en el municipio de Buesaco, se efectuó por medio del señor Alberto Ortiz propietario de la finca “Villa Beatriz”, donde se consiguió la información respectiva al procesamiento del café de estudio. La finca donde se obtuvo las muestras de café crudo tiene una altitud geográfica de 2.095 m.s.n.m.; éste predio está certificado por Nespresso y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Su área de cultivo es de 5,9 hectáreas, de las cuales 3,8 hectáreas son de Variedad Castillo y 2,1 hectáreas son de variedad Colombia.

La toma de las muestras de los granos de café, se realizó igualmente en el mes de mayo de manera aleatoria y al azar, es decir, de un valor aproximado de 4.200 arbustos en total, sembrados de variedad Colombia, las muestras seleccionadas de cada arbusto aproximadamente fue de 200g

hasta recolectar suficiente muestra para ser beneficiada en las instalaciones de la finca. La selección del grano fué maduro, sano y de color rojo.

Beneficio húmedo en la finca “Villa Beatriz”. Una vez recolectada la cereza del café, ésta pasa a un proceso inmediato antes de 24 horas ya que por acción de los taninos del fruto, éste empieza a oxidarse y puede manchar el pergamino. Las etapas son similares al proceso anterior ya que como el café de muestra proviene de una finca pequeña, la producción y obtención del grano se realiza en forma manual y por vía húmeda.

3.2.2.1. Despulpado: Es éste proceso se remueve al grano de la pulpa o del Exocarpio⁶. La despulpadora empleada hace la separación de la pulpa y del grano, es alimentada por medio de una tolva la cual tiene la capacidad de 20 a 50 Kg por hora, de eje horizontal y acondicionada para dicha operación. Una despulpadora que no haya sido ajustada adecuadamente, puede llegar a quebrar los granos de café dando como resultado granos mordidos⁷, en los cuales pueden introducirse microorganismos y formar granos hediondos o negros que afectan negativamente la calidad. Ver figura 13.



Figura 13. Proceso de despulpado de café, zona 2. Buesaco

3.2.2.2. Fermentación: El tanque de lavado y selección sirve para fermentar el café despulpado después de 12 a 13 horas y se procede a lavar. Este tanque tiene un nivel de

⁶ **Exocarpio:** pulpa verdadera, rica en azúcares (azúcares reducidos y sacarosa) y agua, este representa el 11,8% del fruto en base húmeda.

⁷ **Granos de café mordidos:** Son granos cortados que generalmente presentan una coloración rojiza oscura debido a una oxidación del área cortada durante el proceso de despulpado y puede ser inicio de actividad bacteriana. fermentaciones y/o formación de hongos. Se presenta debido a mal ajuste y calibración del equipo. (SCAA, 2004. Café verde arábica – manual de defectos)

pendiente del 5% que permiten seleccionar el café a medida que se van sacando las tablas de la compuerta y así se aprovecha el acumulamiento del agua y el desnivel del tanque para retirar los granos defectuosos e impurezas del café dejando sólo el grano bueno de exportación. (Figura 14).



Figura 14. Fermentación del grano de café, zona 2. Buesaco

3.2.2.3. Lavado: El tanque de lavado esta hecho de cemento y revestido de cerámica, es un tanque para selección y lavado manual de los granos defectuosos del café, granos vanos o sin almendra es decir la selección que se realiza es por diferencias de densidades de los granos. El tanque tiene paredes laterales de la misma altura, una base con un desnivel de aproximadamente 5% con dirección longitudinal, provista de un dispositivo de drenaje. El tanque se caracteriza porque comprende de una puerta una compuerta formada por dos canales en forma de U (ver figura 15 a) verticales y opuestos y pequeñas tablillas en forma rectangular de diferentes alturas; las tablillas se introducen en los canales de la compuerta (ver figura 15 b), las mismas que al ser retiradas una a una permiten evacuar de forma controlada el agua contenida en el interior del tanque (ver figura 15 c). el fondo del tanque contiene un dispositivo de drenaje protegido con una rejilla que permite la evacuación constante de agua de lavado.



Figura 15. Lavado de granos de café en tanque de lavado (rastrillo o paletas). Zona 2. Buesaco

3.2.2.4. Secado: Este proceso se realiza en un secador cerrado o conjunto de tarimas hechas a base de guaduas o guayaquil. Consta de dos pisos haciendo un total de cuatro (4) tarimas. Este secado sirve para controlar la calidad del grano y se deberá situar los granos de café en depósitos dentro del secador y luego esparcir uniformemente removiéndolo de tres a cuatro veces al día. El secado demora de 3 a 4 días cuando está despejado con una temperatura de 45 y 50°C y de 5 a 8 días cuando esta nublado con una temperatura de 35 a 40°C hasta alcanzar el 10% o 12 % de humedad. Tiene la capacidad de albergar hasta 20 quintales (920,792 kg) y posee una distribución de oreado y secado controlada aun en los días más lluviosos. Ver figura 16.



Figura 16. Secado de los granos de café en un secador de guadua. Zona 2. Buesaco

3.3. SEGUNDA FASE. CONTROL DE CALIDAD DE LOS CAFÉS CRUDOS.

Para el control de calidad en las muestras de estudio, se llevaron a cabo pruebas preliminares y una serie de procesos selectivos y analíticos al estado de cada una de ellas, es decir, antes de ser empleadas para su identificación se manejaron procedimientos como: la recepción de la materia

prima en el laboratorio, limpieza e identificación de impurezas en los granos de café pergamino, proceso de trillado, zarandeo de las muestras de café con un aprovechamiento del 50% de muestra por retención en cada malla #16 y #17, selección y clasificación del café almendra y homogenización de las muestras por medio de una cámara de luz UV marca QuantiK, determinación de densidad por caída libre (NTC 4607) y finalmente el proceso de torrefacción de las muestras por triplicado a diferentes intervalos de tiempo.

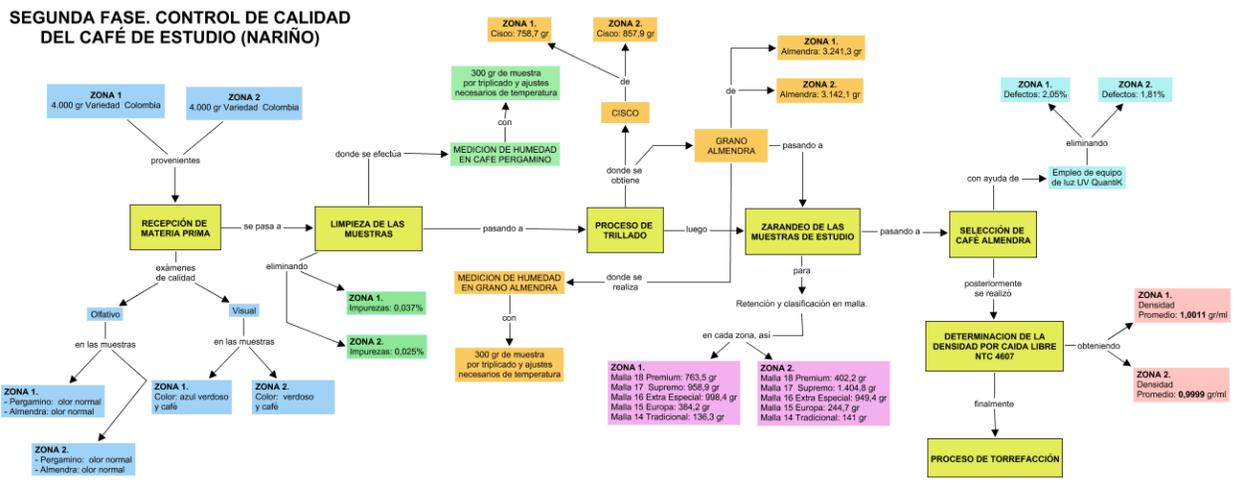


Figura 17. Control de calidad de las muestras de estudio. Zonas 1 y 2. Nariño.

El proceso de identificación de la calidad en los granos de café de las zonas 1 y 2 del Departamento de Nariño, comienza con la recepción de la materia prima al laboratorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en la ciudad de Bogotá.

En el momento de la adquisición de los granos de café beneficiados por cada uno de los dueños en sus fincas, se tomaron muestras representativas de 4.000 g de café pergamino variedad Colombia, con una humedad entre el 10% y el 12% en finca. Luego de obtenidas las muestras, éstas se trasladan a bandejas amplias de acero inoxidable y se elimina manualmente cualquier tipo de impurezas encontradas en ellas. Se registra el dato obtenido en gramos.

Posteriormente con las muestras limpias, se toman datos iniciales de humedad con ayuda del medidor de humedad QuantiK MH – 302 que requiere de 300 g de muestra en cada prueba y por

triplicado de tal manera que se obtenga datos congruentes en estado pergamino, antes del proceso de trilla.

Al pasar al proceso de trillado, las muestras de café pergamino pasan por un cilindro rotatorio dónde se despojan del cisco y se obtiene café almendra, se realiza el mismo proceso de medición de humedad pero ésta vez en café crudo. Se registran datos obtenidos.

Para que la muestra a torrefactar sea uniforme, se empleó una zaranda vibratoria ZM – 15 con una serie de mallas numeradas con perforaciones redondas, de tal manera que al ejercerse movimientos horizontales constantes, el grano es seleccionado según su tamaño y calidad. En éste caso particular se tomaron muestras con un porcentaje mixto de 50:50 con retención en mallas # 16 y # 17 tipo Supremo y Extra especial, los cuales se someterán a niveles de tostión clara, media y oscura definidos en la NTC 3534.

Cuando se hayan clasificado los granos de café almendra, se procede a despasillar, es decir, se retiran por medio de una cámara de luz UV y luz Blanca QuantiK, todo grano defectuoso o perforado mecánicamente, con el ánimo de obtener muestras homogéneas y un análisis óptimo de las muestras de estudio. Para evitar que las muestras pierdan humedad, se depositan en doble bolsa plástica previamente rotuladas y se almacenan en un lugar fresco, seco y a la sombra hasta su utilización.

Otra prueba que se le realiza al café verde es la densidad aparente en granos de café almendra o crudos, definidos en la NTC 4607 para la “determinación de la densidad a granel por caída libre de los granos enteros” tanto en almendra como en tostados.

En este proceso se llenan aproximadamente 900 – 1000 g de café almendra a la tolva de alimentación, verificando que la compuerta de salida este cerrada y una vez identificado el peso y volumen del recipiente de recepción de muestra, se deja salir de manera constante los granos de café y se deja rebotar el recipiente; emparejar con una espátula la muestra y registrar el peso con el recipiente lleno. Calcular.

3.4. TERCERA FASE. TORREFACCIÓN DE LAS MUESTRAS TOMADAS

Para el proceso de torrefacción, se empleará un tostador TC – 150 RG de tambor horizontal con capacidad máxima de 150g. El calentamiento es por medio de resistencias eléctricas, proporciona una tostación limpia y libre de humos. La transferencia de calor se realiza por conducción y convección; para descargar el grano tostado se levanta la tapa del cilindro y con la palanca de apoyo se hace caer libremente la muestra a un recipiente, donde se enfría por contacto con el aire circundante.

Se dispondrá de 18 cargas de 100 g de muestra (1.800 g), de las cuales 900 g son de la zona 1 y 900 g de la zona 2. Para el desarrollo de la experimentación, la cantidad mencionada se debe a la repetitividad en el diseño experimental.

La tostión se efectuara a una misma temperatura para cada muestra, que es 210°C temperatura promedio de tostión y referencia, donde cada muestra se depositará en el momento que alcance ésta temperatura.

Las tostaciones se hicieron con apoyo de la NTC 3534 que establece los aspectos que debe cumplir el café tostado, en grano o molido indicando los tonos de color que van desde claro, medio hasta oscuro; posteriormente se determinará su concentración de color en la fase experimental, por medio de los colorímetros digitales IR – 800 marca QuantiK y Colorímetro PCE-RGB (DIN 5033) marca Ibérica.

3.5. CUARTA FASE. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS REALIZADOS EN EL CAFÉ DE ESTUDIO.

Algunos de los análisis que se realizan en el café una vez recibidos en el laboratorio de calidad, son los siguientes.

3.5.1. Pruebas Físicas en café tostado y molido.

Entre los exámenes físicos que se realizan en café almendra están: densidad por compactación, reducción de tamaño, colorimetría, medición de humedad.

Ver figura 18.



Figura 18. Pruebas físicas en café tostado y molido. Zona 1: La Unión y Zona 2: Buesaco

3.5.1.1. Densidad aparente. Se desarrollara siguiendo el procedimiento descrito en la norma técnica NTC 4084 para la “determinación de la densidad por compactación en café tostado”. (ICONTEC I. , 2005) Ver APÉNDICE C.

3.5.1.2. Reducción de tamaño. Se realizará utilizando un molino de discos marca Kitchen Aid, en el cual se vierte la muestra de café a moler con un grado de molienda media para un tamaño de partícula 500 μm NTC 2441 (ICONTEC I. , 2000). Ver APENDICE D.

3.5.1.3. Colorimetría. Se realizaran pruebas de determinación de color en los colorímetros digitales IR-800 marca QuantiK (ICONTEC I. , 1998) y Colorímetro PCE-RGB marca Ibérica. (Deutsches Institut für Normung EV, 1983) Ver APENDICE E.

3.5.1.4. Determinación de humedad. Según la norma NTC 2558. Determinación de humedad. Método por determinación de pérdida de masa a 103°C. (ICONTEC I. , 2000) Ver APENDICE F.

3.5.1.5. Pérdida de peso (%pp): Método adaptado de (Pittia, Nicoli, & Sacchetti , 2007). La pérdida total de peso se expresa como g/100 g. Ver APENDICE G.

El porcentaje de pérdida de peso o merma se tiene de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Merma} = \frac{\text{Peso de café verde} - \text{Peso de café tostado}}{\text{Peso de café verde}} \times 100$$

3.5.2. Pruebas Químicas en café tostado y molido.

Algunas de las pruebas químicas que se les realizaron a las muestras de café tostado fueron Acidez titulable, Prueba de digestión, Prueba de extracto etéreo y carbohidratos totales. Ver figura 19.

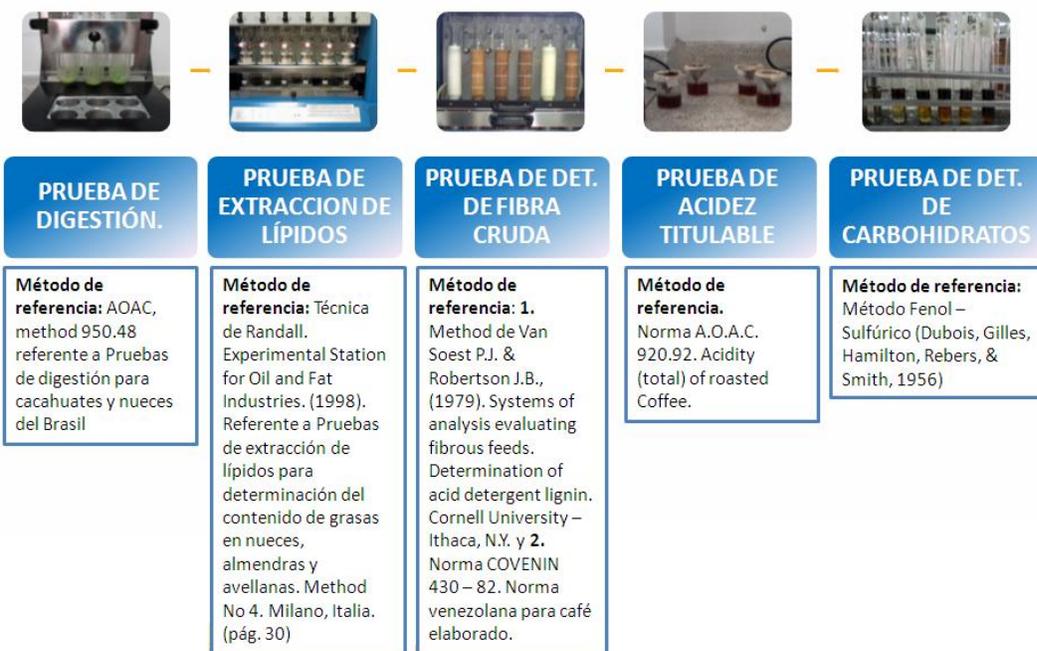
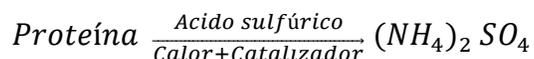


Figura 19. Pruebas químicas en café tostado y molido. Zonas 1 y 2. Nariño.

3.5.2.1. Prueba de digestión. El método de referencia para las muestras de café de estudio es el de la AOAC “Official methods of analysis”, Method 950.48 para la determinación del contenido de proteína de cacahuates y nueces del Brasil. Ver APENDICE H.

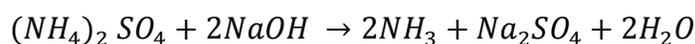
Esta prueba es determinante en la cuantificación de nitrógeno total y porcentaje de proteína cruda en las muestras de café. Este proceso de digestión ocurre en cuatro etapas; a) la primera de ellas es el alistamiento y pesado de la muestra, b) la segunda es la muestra en el digestor para Kjeldahl a una temperatura de 420°C durante una hora, donde se va a formar una digestión acido-catalítica debido a la adición de ácido sulfúrico concentrado en el proceso; el resultado final de ésta etapa será una coloración verde brillante correspondiente a la cantidad obtenida de sulfato de amonio

no volátil que se forma de la reacción del nitrógeno y ácido sulfúrico. Durante la digestión se libera el nitrógeno para formar iones de amonio mientras que el ácido sulfúrico oxida la materia orgánica y se combina con el amonio formado en la siguiente reacción:



c) la tercera etapa es la neutralización y destilación de la muestra digerida, donde el amoniaco formado se destila en una solución de ácido bórico al 4% y un indicador de color (Anónimo, 2010a) (Taschiro) sobre un destilador semiautomático para Kjeldahl UDK 139.

Las reacciones producidas en esta etapa ocurren así:

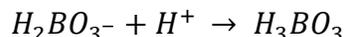


Sulfato de amonio + Hidróxido de sodio → amoniaco + sulfato de sodio + agua



Acido bórico → ión borato

El ion borato libera la cantidad de nitrógeno que se va a titular con HCl al 0,2 N así:



En donde se lleva la muestra obtenida de la segunda etapa y se ajustan ciertos reactivos catalíticos como NaOH al 32% y agua destilada mediante la reacción y agitación del equipo, obteniendo así amoniaco y una solución coloreada azul verdosa que significa que hay una recuperación de la cantidad de nitrógeno total de la muestra; d) la cuarta y última fase es la titulación de la muestra por medio de Ácido Clorhídrico al 0,2 N, el cual va a neutralizar todo el nitrógeno haciéndolo cuantificable en una reacción acido-base cambiando de color azul verdoso a un tono rosa claro; posteriormente se registraran los ml de HCl gastados en cada muestra y se verifica el resultado obtenido con la literatura.

3.5.2.2. Prueba de extracto etéreo. Estas pruebas determinan la cantidad de lípidos que existe a mayor o menor tiempo en tostión de las muestras. La técnica empleada fue la de Randall. Experimental Station for Oil and Fat Industries. (1998). Referente a Pruebas de

extracción de lípidos para determinación del contenido de grasas en nueces, almendras y avellanas. Method No 4. Milano, Italia. Pág. 30. Ver APENDICE I.

3.5.2.3. Porcentaje de fibra cruda. Para este tipo de pruebas se llevó a cabo el procedimiento encontrado en el método Van Soest P.J. & Robertson J.B., (1979). Systems of analysis evaluating fibrous feeds. Determination of acid detergent lignin. Cornell University – Ithaca, N.Y. y la Norma COVENIN 430 – 82. Norma venezolana para café elaborado. Ver APENDICE J.

La unión de estos dos métodos se realizó de tal manera que el primero complementara al otro, ya que la disponibilidad de equipos y reactivos eran similares en dicho caso.

3.5.2.4. Acidez titulable. El método empleado para éste proceso es el regulado por la norma A.O.A.C. 920.92. Acidity (total) of Roasted Coffee. Ver APENDICE K.

El ácido Clorogénico es la combinación del ácido caféico y quínico. También es uno de los fenoles comúnmente encontrados en el café. (Clifford M. N., 1999)

Los ácidos clorogénicos confieren astringencia, la amargura y la acidez de la bebida de café. Los ácidos clorogénicos son precursores de fenoles que pueden conferir notas sensoriales desagradables que se forman durante la torrefacción. (Puerta G. , 2011), (FNCC F. , 2010g)

3.5.2.5. Carbohidratos totales. En el caso del café. los carbohidratos conforman un 60% de su composición. (Puerta G. , 2011)

Para esta investigación se tuvo que la aplicación del método Fenol – Sulfúrico. Según Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith (1956) fundamentaron: “que los carbohidratos son particularmente sensibles a ácidos fuertes y altas temperaturas” generando una serie de reacciones complejas; inicialmente se tiene una deshidratación simple, si se continúa el calentamiento y la catálisis ácida se producen varios derivados del furano. Ver APENDICE L.

La forma en que procede la reacción no es estequiométrica y depende de la estructura del azúcar, por lo tanto se realiza una curva patrón. (Nielsen, 1998).

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Para explicar la técnica para el análisis de los resultados obtenidos seguimos las orientaciones de Smith (2002).

3.6.1. Técnicas Multivariadas

Las técnicas multivariadas son un conjunto de herramientas que sirven para el análisis de datos experimentales y permiten analizar el efecto de varios factores en conjunto. Con estas técnicas se transforman una serie de variables en nuevas variables denominadas componentes no correlacionadas, las cuales absorben la varianza (variabilidad) total de los datos.

3.6.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para Smith (2002), el Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica cuyo objetivo principal es hallar combinaciones lineales de variables representativas de ciertos fenómenos multidimensionales, con la propiedad de que exhiban varianza mínima y que a la vez no estén correlacionadas entre sí.

Para obtener tales combinaciones es necesario construir la matriz de varianzas y covarianzas de esas variables; permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando el conjunto de p variables originales en otro conjunto de q variables no correlacionadas ($q \leq p$) llamadas componentes principales. Las p variables son medidas sobre cada uno de los n individuos, obteniéndose una tabla de datos o matriz de datos de orden np ($p < n$).

La varianza de la primera componente mientras mayor sea su varianza, mayor será la cantidad de información en dicha componente. Por ello las sucesivas combinaciones o variantes de las componentes se ordenan en forma descendente de acuerdo a la proporción de la varianza total presente en el problema, que cada una de ellas explica.

Para Smith, (2002) el primer componente es por lo tanto, la combinación de máxima varianza; la segunda es otra combinación de variables originarias que obedece a la restricción de ser ortogonal a la primera y de máxima varianza, la tercer componente es aún otra combinación de máxima varianza, con la propiedad de ser ortogonal a las dos primeras; y así sucesivamente.

Por sus propiedades de ortogonalidad, las sucesivas componentes después de la primera se pueden interpretar como las combinaciones lineales de las variables originarias que mayor varianza residual explican, después que el efecto de las precedentes ha sido ya removido y así sucesivamente hasta que el total de varianza ha sido explicado.

Cuando las variables están correlacionadas en mayor grado, las primeras componentes explican una alta proporción de la varianza total, por eso las componentes principales pueden sustituir a las múltiples variables originarias, Esto permitiría resumir en unas pocas variantes o componentes no correlacionadas gran parte de la información.

El análisis de componentes principales es una técnica matemática que no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, aunque si esto último se cumple se puede dar una interpretación más profunda de dichos componentes.

3.6.3. Las Fases de un ACP

En el Análisis de Componentes Principales no tiene sentido el examen de la matriz de correlaciones ya que no se tiene la hipótesis inicial de la existencia de factores comunes (Smith, 2002).

Se distinguen entonces las siguientes fases:

1. Elección de las componentes principales.
2. Rotación de los ejes.
3. Cálculo de las puntuaciones principales.

La elección se realiza de forma que la primera componente recoja la máxima proporción posible de la variabilidad total, la segunda componente recoja la máxima variabilidad posible no reflejada en la primera y así sucesivamente. En cuanto al número a seleccionar existen las fases:

3.6.3.1. Identificación De Los Componentes Principales

Uno de los objetivos del cálculo de componentes principales es la identificación de los mismos, es decir, averiguar qué información es la pertinente de la muestra resumen. Sin embargo este es un problema difícil, puesto que se deben identificar, seleccionar y conservar sólo aquellos componentes que recogen la mayor parte de la variabilidad, hecho que permite representar los datos según dos o tres dimensiones si se conservan dos o tres ejes factoriales, pudiéndose identificar entonces grupos naturales entre las observaciones.

3.6.3.2. Rotación de los ejes

Una vez observada la matriz de componentes, se realizan rotaciones para aproximarse al *Principio de Estructura simple*:

- a) Coeficientes próximos a 1 o 0.
- b) Cada variable con coeficientes elevados y con un sólo componente.
- c) No deben existir componentes con coeficientes similares.

Las tres características anteriores son difíciles de cumplir por las componentes originales, pero se puede conseguir rotando las componentes. Se obtiene así la *matriz de componentes rotada*.

Las rotaciones pueden ser:

➤ *Ortogonales*

Conservan los ángulos rectos en las representaciones gráficas. Se basan en la idea de maximizar la varianza de los cuadrados de las cargas factoriales, con lo que se consigue que los valores se dispersen al máximo, aumentando los mayores y disminuyendo los más pequeños. Entre las rotaciones ortogonales se destacan los métodos Varimax, Cuartimax, Equimax.

➤ *Oblicuas*

Los ejes no son ortogonales y los factores estarán correlacionados. Entre estas destacan: Oblimin directo, Promax. Las rotaciones se realizan por parejas de componentes, pudiéndose requerir varias iteraciones cuando se disponga de más de dos componentes.

3.6.3.3. Cálculo de las puntuaciones principales.

Para que el ACP tenga sentido, tienen que cumplirse que el número de factores deben ser lo más reducido posible y estos deben ser susceptibles de interpretación sustantiva y además que la solución sea lo más sencilla e interpretable.

Inicialmente se debe realizar un análisis descriptivo inicial y comprobar, si la correlación entre las variables analizadas es lo suficientemente grande como para justificar la factorización de la matriz de coeficientes de correlación. Esta comprobación puede hacerse mediante los estadísticos índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, que parte de la hipótesis nula de que la matriz de coeficientes de correlación no es significativamente distinta de

la matriz identidad. Con esta prueba se explica si las correlaciones entre las variables son distintas de cero de modo significativo para H_0 y H_1 .

3.7. MATRIZ DE COMPONENTES

Una vez seleccionado el número de componentes principales a incluir en el modelo, se representan las componentes principales en forma de matriz respecto de las variables. En las columnas se suelen representar las componentes y en las filas las variables.

La matriz de componentes es la representación de las componentes principales, matriz con tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables. Los coeficientes de la matriz representan las correlaciones entre las variables y las componentes. Para cada componente, la suma de los coeficientes al cuadrado es el valor propio correspondiente a dicha componente.

3.7.1. Las Clasificación de Componente Principales

Las calificaciones de componentes principales deben calcularse a partir de los valores de la variable estandarizada (valores Z), cuando se realiza ACP sobre una matriz de correlaciones.

Las ubicaciones de las observaciones en un conjunto de datos con respecto a sus ejes principales, son proporcionadas por estas calificaciones.

Para determinar el número de componentes principales se debe localizar aquellos valores que sean mayores que 1 y la razón para comparar los valores con la unidad, es que cuando se está realizando el análisis sobre datos estandarizados, la varianza de cada variable estandarizada es igual a 1. Se considera que si una componente principal no puede explicar más variación que una variable por sí misma, entonces es probable que no sea importante, por lo que frecuentemente se ignoran componentes con valores menores que la unidad.

CAPITULO 4. ANALISIS MULTIVARIADO

4.1. RECEPCIÓN DE MUESTRAS.

Se recepcionó dos (2) muestras significativas de granos de café pergamino (sin endospermo) en el mes de Junio del año 2013. Las muestras provenían de dos zonas del Departamento de Nariño, denominadas como Zona 1: municipio de *La Unión* y la Zona 2: municipio de *Buesaco*.

Las muestras recibidas fueron almacenadas a temperatura no mayor a los 20°C y en un lugar fresco antes de su procesamiento en las instalaciones de la planta piloto de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD en la ciudad de Bogotá. Colombia.

4.2. CONTROL DEL GRADO DE TOSTIÓN EN RELACIÓN AL TIEMPO.

Dentro de los parámetros de la investigación, se decidió evaluar el tiempo y la temperatura como variables de control de calidad del punto de tosti3n en cada muestra. Para ello se tomaron diez y ocho (18) muestras de pesos iguales y se acondicionaron y rotularon para ser tostadas posteriormente de acuerdo a las premisas de 3sta investigaci3n, que manejaba tiempos entre 8, 10 y 12 minutos.

Despu3s de determinar el tiempo para cada una de las muestras y sus respectivas replicas, se procedi3 a torrefactar cada una de ellas teniendo en cuenta la temperatura promedio (210°C) en el tostador, ya que el modelo de 3sta investigaci3n es manejar datos y rangos promedio en cada una de las pruebas.

4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El caf3 proveniente de las zonas 1 y 2, fueron cosechados en el mismo mes y los granos seleccionados son en ambos casos de una misma variedad (Colombia). Para el diseo experimental inicial en la toma de muestras de caf3 se llev3 a cabo un diseo completamente aleatorio al azar; de distintos arbustos de caf3 se tomaron granos maduros y se beneficiaron en hmedo.

Para el análisis de laboratorio se llevó a cabo un diseño de bloques en cada zona de estudio. Los análisis realizados en la investigación fueron: acidez titulable, % extracto etéreo, % fibra cruda, carbohidratos, %nitrógeno total, %proteína cruda, colorimetría, humedad, densidad por compactación, y pérdida de peso.

Cada finca represento un tratamiento determinado por la región, altura y variedad. Se evaluó el efecto de la altitud sobre las características naturales del café al relacionar estadísticamente el resultado obtenido de los análisis químicos realizados en cada una de las muestras.

Tabla 12.

Información general de las fincas de estudio.

Zonas	Departamento	Municipio	Finca	Variedad	Altitud (m.s.n.m.)*
1	Nariño	La Unión	El Placer	Colombia	1.931
2	Nariño	Buesaco	Villa Beatriz	Colombia	2.100

*m.s.n.m. = metros sobre el nivel del mar.

4.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.4.1. Condiciones iniciales de preparación de las muestras de café.

Las condiciones iniciales del diseño experimental son de tipo factorial con método de análisis en componentes principales, el cual tuvo en cuenta lo siguiente:

- Durante la experimentación se utilizó la mezcla proporcional del 50% café supremo y 50% café extra especial de una misma variedad (Colombia) procedente de dos fincas del Departamento de Nariño particularmente de los municipios de La Unión y Buesaco.
- La cantidad de café para cada una de las muestras fue la misma (100 g) en cada tostación.
- La torrefacción se realizó en un tostador de tambor giratorio horizontal de marca QuantiK.
- Los experimentos se llevaron a cabo en un mismo lugar bajo condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad relativa entre otras) óptimas para su análisis.
- Se empleó un tiempo determinado para efectuar cada prueba en el laboratorio, verificando la calibración y funcionamiento de los equipos que ayudarían en esta investigación.
- Cada muestra fue empacada y rotulada antes y después de cada ensayo.

- Para cada tratamiento se realizaron tres replicas o repeticiones, es decir, si al observar cada una de éstas presentan diferencias estadísticamente significativas, se puede estimar la precisión numérica del experimento (reproducibilidad de datos).

4.4.2. Elaboración del análisis factorial A por componentes principales.

- Realizar un análisis descriptivo inicial y comprobar, si la correlación entre las variables analizadas es lo suficientemente grande como para justificar la factorización de la matriz de coeficientes de correlación.
- Comprobar mediante los estadísticos de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, si la hipótesis nula de la matriz de coeficientes de correlación no es significativamente distinta de la matriz identidad.
- Calcular la significancia.
- El valor de p debe ser menor de 0.05, lo cual indica una diferencia significativa entre desviaciones estándar intra-muestra a un nivel de significancia del 5%.
- Calcular la matriz de correlaciones entre todas las variables (conocida como matriz R).
- Extracción de los componentes principales para representar los datos. Análisis de la matriz de cargas.
- Cálculo de los Eigenvalues (Valores Propios) o la cantidad total de varianza que explica cada factor.
- Cálculo de la comunalidad a la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable.
- Elaborar representaciones gráficas que ayuden a la comprensión del análisis factorial.

La cantidad total de variables que se va a incluir en el análisis factorial A son las siguientes, tal como lo muestra la tabla 13.

Tabla 13.

Cantidad de variables de estudio en el análisis con SPSS

Variable	Descripción
% Lp.	Porcentaje de Lípidos
% Pr.	Porcentaje de Proteína
CHO.	Carbohidratos

% PP.	Porcentaje de pérdida de peso
CoIRGB/HSL.	Colorimetría (Col. RGB/HSL)
DenAp.	Densidad aparente
Ac. Titl.	Acidez titulable
%FbC	Porcentaje de fibra cruda

4.5. ANALISIS ESTADISTICO CON EL SISTEMA SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Con el visor de resultados del programa estadístico SPSS, donde muestra todos los cuadros, gráficos y resultados del análisis que se ha solicitado para esta investigación, se obtiene un Análisis Factorial A con el Método de Componentes Principales, considerado como una técnica univariada descriptiva en la cual se tomarán mediciones de solución inicial, matrices de coeficientes y el test KMO y test de esfericidad de Bartlett.

4.5.1. Criterio de selección de componentes principales.

Para tomar la cantidad de componentes principales a analizar dentro del diseño experimental, se toma un criterio basado en la gráfica de sedimentación de Cattell, la cual toma en conjunto los 8 componentes o variables de estudio e identifica cuáles de ellos poseen una mayor varianza con valores cercanos a la unidad. Ver figura 20.

En la figura 20, aparece el número de factores o componentes (en el eje X; el número de componentes) y los eigenvalues o autovalores [eje Y] o varianza explicada por cada factor. El punto de corte se emplea para establecer el número de factores que se sitúan en el punto de inflexión de la línea descendente, que va uniando los diversos autovalores. En éste ejemplo, son dos los factores (Componentes Principales) con un eigenvalue superior a 1, pero a partir del factor 2 hay una clara inflexión en la línea descendente, por lo que se puede abstraer dos factores en lugar de ocho. Dos factores explicarán menos varianza que ocho, pero la estructura será más clara e interpretable.

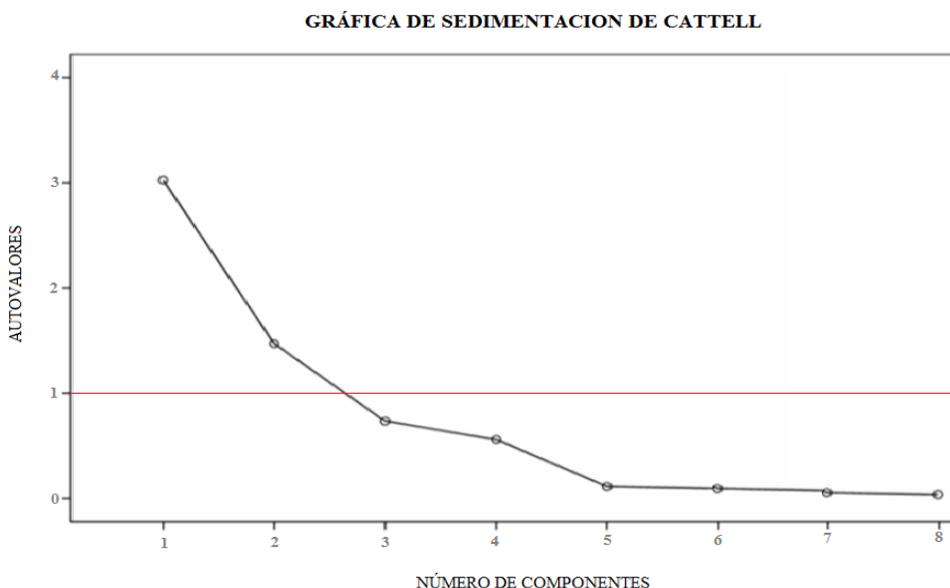


Figura 20. Gráfico de sedimentación de Cattell. Número de componentes principales de estudio.

Si no está claro el punto de inflexión de la curva (algo que sucede con frecuencia), se puede probar haciendo varios análisis factoriales con más o menos factores (en torno al punto de inflexión) para verificar cuál es la solución conceptualmente más clara.

4.5.2. La matriz de cargas o saturaciones factoriales

Esta matriz de componentes implica la carga que cada variable tiene sobre cada factor, de modo que comparando las saturaciones relativas de cada variable en cada uno de los dos factores de estudio, se tiene que el primer factor está constituido por las variables de %Pérdida de peso en café tostado, Carbohidratos, %Lípidos y % Proteína cruda; el segundo factor recoge el grupo de variables como %Lípidos y % Proteína cruda, por lo que podría representar la relación altitudinal de las zonas de estudio con las características propias del café, intrínsecas en mayor proporción. Todas estas variables reflejan la dimensión de “compuestos físicos y químicos” de las muestras de café de estudio

En la tabla 14, existen dos factores no significativos como son el porcentaje de Fibra Cruda y Acidez titulable, los cuales tienen rangos menores o iguales a la unidad, por tanto salen de la estructura factorial de éste análisis por componentes principales, ya que se tendrán en cuenta únicamente factores representativos en la investigación.

Tabla 14.

Matriz de componentes “a”.

	Componente	
	1	2
%PP_tostado	,846	-,352
CHO	,745	-,372
%Lp	,514	,801
DenAp_Tostad	-,845	,386
CoIRGB/HSL.	-,645	-,182
%PC	,599	,620
% Fibra cruda	,021	,177
Acidez titulable	-,224	-,328

a. Dos componentes de extracción.

Cuando se habla de una relación estrecha entre sus variables, la tabla 14 puede expresar cada variable en función de los factores, haciendo una combinación lineal de ellos utilizando sus cargas factoriales respectivas.

4.5.3. Comunalidad de variables.

La comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada por el modelo factorial obtenido. Una evidencia clara de la comunalidad entre varianzas, es la obtenida en la tabla 15, ya que si se observa la proporción de extracción del factor de colorimetría, se tiene que éste factor es el peor explicado en el análisis por componentes principales, debido que justifica el 45% de su variabilidad original.

Este método de extracción, asume que es posible explicar el 100% de la varianza observada y por ello, todas las comunalidades iniciales son iguales a la unidad.

Tabla 15.

Comunalidades entre las variables de mayor varianza.

	Inicial	Extracción
%PP_tostado	1,000	,840
CHO	1,000	,694
%Lp	1,000	,907
DenAp_Tostad	1,000	,863
CoIRGB/HSL.	1,000	,450
%PC	1,000	,743

Es entonces, a partir de ésta tabla se puede empezar a plantearse si el número de factores obtenidos, son suficiente para explicar todas y cada una de las variables incluidas en el análisis.

4.5.4. Calculo de porcentaje de varianza explicada.

Cuando se determina la cantidad de varianza total de una investigación, los autovalores expresan la cantidad de varianza total que está explicada por cada factor y a su vez los porcentajes de varianza están asociados a cada factor que se obtienen dividiendo su correspondiente autovalor por la suma de los autovalores (igual número de variables). En la tabla 16 existen dos autovalores mayores que 1, por lo que en el procedimiento extraen 2 factores que consiguen explicar el 74,944% de la varianza de los datos originales.

Tabla 16.

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,026	50,426	50,426	3,026	50,426	50,426
2	1,471	24,518	74,944	1,471	24,518	74,944
3	,735	12,250	87,194			

Extracción: Análisis de componentes principales

La información idónea para esta tabla sobre la decisión de factores que deben extraerse, por ejemplo se toma un criterio mínimo del 70% de la variabilidad contenida en los datos, extraída de los dos factores iniciales.

4.6. ANÁLISIS DESCRIPTIVOS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES.

Los estadísticos descriptivos, se emplean para contrastar algunas hipótesis relevantes en el contexto del análisis factorial.

Para tal análisis se requiere de una matriz de correlaciones, es decir, los coeficientes de correlación de Pearson entre cada par de variables se auto – descomponen en sus autovalores para rechazar la solución factorial. Ver tabla 17.

Para que el análisis sea fructífero es conveniente que la matriz contenga grupos de variables que correlacionen fuertemente entre sí. Esta matriz de correlaciones, si se aproxima a la matriz identidad indica que el análisis factorial tiene una solución deficiente.

Tabla 17.

Matriz de correlaciones “a”.

Componente Ítem		1	2	3	4	5	6	
		%PP_Tostado.	CHO	%Lp	Densidad _CTost	ColorRGB/HSL	%Pc	
Correlación	1	%PP_Tostado.	1,000	,608	,213	-,900	-,345	,281
	2	CHOS	,608	1,000	-,003	-,622	-,424	,329
	3	%Lp	,213	-,003	1,000	-,178	-,451	,706
	4	Dens_ CTost	-,900	-,622	-,178	1,000	,381	-,250
	5	ColorRGB/HSL	-,345	-,424	-,451	,381	1,000	-,243
	6	%Pc	,281	,329	,706	-,250	-,243	1,000

a. Determinante = ,020

Tal como se observa en la tabla 17, la matriz de correlaciones indica que el componente 1 de %PPeso del café tostado tiene una fuerte correlación con el ítem 2 que corresponde a los Carbohidratos; la segunda correlación mayor en la tabla es la del componente % Lípidos con el ítem de %Proteína cruda. Estas correlaciones están fuertemente ligadas en la estructura y cambios físicos del grano de café al ser expuesto a elevadas temperaturas en un intervalo de tiempo experimental.

En la correlación C1 - Í2 cuando se somete las muestras de café a un incremento de la temperatura, se va reduciendo el contenido de humedad e implica que los carbohidratos al sufrir una deshidratación, se hidrolizan en azúcares simples hasta que la temperatura alcanza el punto de pirolisis. Muchos de los productos de la pirolisis de los azúcares reducidos reaccionan con

proteínas y otros productos de degradación, dando pie a la formación de los compuestos que dan lugar al color caramelo y a propiedades de café tostado. (Soto, 1992)

En la correlación C3 – Í6 existe una integridad de propiedades que se interrelacionan entre sí como son el aroma, sabor y color del café torrefactado; después de la torrefacción de las muestras de café de origen identificadas por zonas de muestreo, se tiene que mayoría de compuestos volátiles son el resultado de la susceptibilidad al rompimiento de los dobles enlaces peptídicos por el choque térmico que ejerce la temperatura en la estructura del grano. La formación de compuestos volátiles que se encuentran típicamente en el café tostado son furanos y píranos, pirazinas, pirroles, derivados de azufre y compuestos de nitrógeno que son los que brindan el sabor del café, generalmente encontrados en las proteínas (Clarke, 2003) de cadenas cortas y que junto a los lípidos forman ácidos volátiles dando cuerpo, aroma y sabor al café.

4.6.1. Comprobación de la existencia de inter-correlaciones en la matriz.

Se utiliza la Prueba de adecuación muestral de Kaiser-Meier-Olkin (KMO). Es un valor descriptivo (en una escala de 0 a 1). Se precisa un KMO $> .500$ y cuanto más cerca de 1, mejor será la adecuación muestral. Si $KMO \geq 0.9$, el test es muy bueno; notable para $KMO \geq 0.8$; mediano para $KMO \geq 0.7$; bajo para $KMO \geq 0.6$; y muy bajo para $KMO < 0.5$.

La prueba de esfericidad de Bartlett evalúa la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas. El modelo es significativo (aceptamos la hipótesis nula, H_0) cuando se puede aplicar el análisis factorial.

- Prueba de esfericidad de Bartlett:

Si Sig. (p-valor) < 0.05 H_0 rechaza (hipótesis nula) y se puede aplicar el análisis factorial.

Si Sig. (p-valor) > 0.05 acepta H_0 > no se puede aplicar el análisis factorial.

Tabla 18.

Índice KMO y Prueba De Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin	,505	
Prueba de esfericidad de <i>Bartlett</i>	Chi-cuadrado aproximado	55,663
	Grados de libertad	15
	Significancia (Sig) <i>p-valor</i>	,000

El valor del test de KMO es de ,505. Este valor está por debajo de la estructura factorial, lo que implica que la matriz de correlaciones incluye bajos coeficientes de adecuación muestral.

Con la prueba de esfericidad de Bartlett se puede contrastar la hipótesis nula, asumiendo que los datos provienen de una distribución normal multivariante; este estadístico de prueba maneja el modelo de probabilidad *Chi – cuadrado* y es una transformación del determinante de la matriz de correlaciones. En la parte posterior de la tabla 18, existe un nivel de significancia (Sig) menor a 0,05 lo que significa que podemos rechazar la hipótesis nula de esfericidad y el modelo factorial es el adecuado para explicar los datos experimentales.

4.6.2. Análisis multivariado – Gráfica de Correlaciones entre las componentes.

En la siguiente gráfica, se presenta el análisis de la nube de variables y su correlación entre ellas con respecto a su centro de gravedad u origen.

En la figura 21 se aprecia que la relación directa de algunas de las variables y se especifica mediante la correlación de las mismas en relación al tiempo y la temperatura aplicadas en la experimentación.

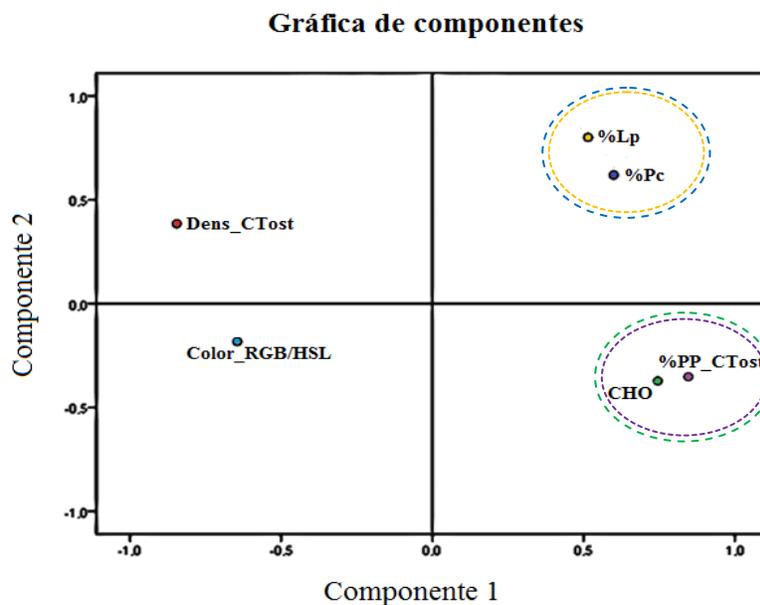


Figura 21. Grafica de los componentes principales del café de estudio. Componentes fisicoquímicos.

El comportamiento de las variables en relación a los factores anteriores es la siguiente:

- En el cuadrante I se observa una característica positiva en relación a los lípidos y el porcentaje de proteína cruda; en ésta correlación se puede estimar que los granos de café al reaccionar ante las mayores temperaturas, desarrollan características fundamentales como el aroma, sabor y color en el café torrefactado; cuando se ha alcanzado el punto de pirolisis en la torrefacción sobre las muestras de café de origen, se tiene un elevado desarrollo de compuestos volátiles (precursores del aroma característico de café) como resultado del desdoblamiento de las proteínas en compuestos de menor peso molecular. La susceptibilidad al rompimiento y fragilización del grano se da porque durante la tosti3n, la estructura celular se afecta liberando el aceite el cual se desplaza libremente en el interior del grano y al ejercerse un enfriamiento s3bito a 3ste, se solidifica provocando su fragilizaci3n y la formaci3n de 3cidos vol3tiles dando el cuerpo a la bebida final de caf3.

- Una segunda relaci3n se encuentra en el cuadrante IV, en el cual se encuentran inversamente proporcionales los factores de % P3rdida de peso y Carbohidratos. Los componentes mencionados, son aquellos que sufren una importante transformaci3n, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo; az3cares, grasas, prote3nas, sustancias nitrogenadas no proteicas, 3cidos... todo sufre una transformaci3n debido a las altas temperaturas a que es sometido el grano.

La p3rdida de peso es alrededor del 15 – 20%, debido en gran parte a la evaporaci3n de su humedad y en menor parte a la pir3lisis de algunos componentes. Muchos de los productos de la pirolisis son azucares reducidos que reaccionan con prote3nas y otros productos de degradaci3n, formando el color caramelo (pardeamiento de Millard) e incremento de tama3o del grano de caf3, la reducci3n en la densidad y la reducci3n de los 3cidos clorog3nicos del grano tostado. (Soto, 1992)

CAPITULO 5. DICUSION DE LOS RESULTADOS.

- En la gráfica de sedimentación de Cattell se puede observar que el número de componentes empleados en la investigación corresponde a ocho (8) factores o variables que se experimentaron en el laboratorio. La visión del gráfico de sedimentación justifica la selección de dos factores, algo que ya se había producido al fijar el criterio de autovalor mayor o igual a la unidad. Los componentes restantes deben considerarse residuales ya que su valor no es exactamente cero, es sólo debido al error muestral inherente a las estimaciones de las correlaciones.

- La dimensión que cada variable tiene sobre cada factor en la tabla 14, compara las saturaciones relativas en cada uno de los dos factores de estudio, es decir, se tiene que el primer factor está constituido por las variables de %Pérdida de peso en café tostado, Carbohidratos, %Lípidos y % Proteína cruda, estas variables muestran que en el factor 1 (grupo de componentes principales de estudio con mayor saturación) se explican a sí mismas con porcentajes entre 51,4% y 84,6% de la variabilidad del 100% del estudio; el segundo factor recoge el grupo de variables como %Lípidos y % Proteína cruda, por lo que podría explicar su mayor relación al representar una variabilidad entre 62% y el 80,1% del 100% del estudio.

- En la tabla de *porcentaje de varianza explicada* (16) se observa que sólo dos de los autovalores contienen información substancial sobre la varianza común disponible; la primera explica un 50,43% y la segunda explica un 24,52% con lo que en total explican un 74,94% del método de extracción por componentes principales.

La suma de los cuadrados de los valores de cada columna coincide con el autovalor correspondiente a la componente asociada y la suma de los cuadrados de los valores de cada fila coincide con la comunalidad de cada variable.

- Se comprobó que, una vez introducidas todas las variables, los datos obtenidos ofrecían una matriz definida, condición necesaria para poder continuar con la metodología ACP.

- En la figura 21 se especifican las correlaciones directas entre las nubes de las variables en cada cuadrante del marco espacial bidimensional. La primera nube (conjunto de variables) corresponde al cuadrante I con las variables %Proteína cruda y %Lípidos en una adecuación positiva tanto en el eje X como en el eje Y. Esta correlación es importante ya que se destaca en un valor porcentual del 51,4% de toda la varianza del modelo estadístico de prueba, es decir, esta nube de variables demostró que se acepta la hipótesis alterna en el análisis de componentes principales, ya que existe una diferenciación del 28,7% para el contenido de Lípidos y un 21% para el contenido de Proteína cruda.

- Para la segunda nube ubicada en el cuadrante IV con valores positivos en X en el componente 1 y valores negativos en el componente 2, hace que la adecuación espacial se ubique en una correlación inversamente proporcional a factores como densidad y colorimetría. Esto significa que las muestras de café obtuvieron un particular descenso en sus propiedades físicas y químicas como la pérdida de humedad de los granos y el desarrollo de color marrón medio oscuro por pardeamiento de Millard producido por someter a carbohidratos y proteínas a elevadas temperaturas $> 130^{\circ}\text{C}$.

- En la tabla 15 de *Comunalidades entre las variables de mayor varianza* se puede observar que las comunalidades son relativamente altas siempre y cuando sean cercanas a 1, con lo cual se puede decir que las variables quedan muy bien explicadas a través de las componentes extraídas en el análisis factorial por componentes principales. Algunas de las variables que presentaron esta característica particular fue %Lípidos de café tostado (90,7%), densidad aparente de café tostado (86,3%) y %Pérdida de peso (84%); otros valores no justifican más allá de su variabilidad original.

- La medida de colorimetría ocurre de manera de progresiva en los cuadrantes I, II y IV en relación a las correlaciones 1 y 2 de las nubes de variables. A medida que se reduce el contenido de humedad (cuadrante II) del grano de café a determinada temperatura ($>130^{\circ}\text{C}$), ocurre una aparición de color debido al cambio físico que sufre la estructura de las almendras en relación al calor transmitido hacia estas (Vaast, & Bertrand 2005), por ello su densidad se reduce y su volumen se incrementa; existen también apariciones de compuestos volátiles (cuadrante I) y

desdoblamiento de la proteína, formando coloración (cuadrante IV) y ésta a su vez en exudación de lípidos y desdoblamiento de la estructura, hidrolizando los azúcares simples y reemplazando su acidez por amargor hasta que la temperatura alcanza el punto de pirolisis. Según Puerta G, (2008) las mediciones de color sobre los granos de café tostado determinan la calidad en taza del producto final, haciendo de este un parametro de medicion subjetiva en cuanto a la impresión global que deja la bebida.

- Según la gráfica de componentes fisicoquímicos (Figura 21) y teniendo en cuenta la información anterior, se puede deducir que el estudio muestra diferencias químicas entre las propiedades principales de los granos de café de ambas zonas de investigación, por ejemplo en el estudio de suelos de ambas regiones (Apéndice A), la incidencia del clima edáfico afecta las plantaciones de café ya que a mayor altitud (2.100 msnm) hay una menor desgaste de la vida de la planta de cafeto mientras que a menor altitud (1.931 msnm) la planta sufre cambios drásticos en su estructura, haciéndola más propensa a desgastarse y su vida productiva es más corta y el grano de café es de menor tamaño y menor calidad. (CENICAFE, 1990)

- Finalmente, el café de Nariño se destaca ante otros cafés de Colombia debido a su alta acidez, cuerpo medio, notas dulces, con una taza limpia, suave y de aroma muy pronunciado (FEDERACAFE, 2010a). Si se observan los resultados de la tabla 17 en torno a lo mencionado, se puede deducir que la zona propicia para destacar estas características organolépticas en taza es la zona 2 (Buesaco), ya que presenta las características anteriores en igual o mayor proporción en relación a la otra zona de estudio. Por ejemplo, el contenido de acidez es mayor en la zona 2 con una media 492,8 mgAC mientras que la zona 1 posee 452,2 mgAC, lo que implica que los cafés de mayor altitud, han demostrado tener una correlación positiva con la alta retención de ácidos y azúcares de las plantas, que en el caso del café, son importantes para los atributos de acidez, dulzor y suavidad de la bebida. La planta de café, al reaccionar ante las menores temperaturas, se protege desarrollando un metabolismo más lento, protegiéndose así de un entorno que considera adverso. De esta manera se favorece el desarrollo de ciertos grupos de moléculas, como las proteínas y los azúcares, tanto por su cantidad como por su tipo específico. (FEDERACAFE, 2010a).

CONCLUSIONES.

Después de realizar la experimentación y someter la investigación a un análisis estadístico factorial por componentes principales, se obtuvo las siguientes conclusiones:

- Después de efectuar un análisis fisicoquímico de las muestras de café de origen (*Coffea Arábica*), variedad Colombia provenientes de dos fincas cafeteras de los municipios de La Unión y Buesaco pertenecientes al Ecotopo-E220A (departamento de Nariño), se determinó que las variables de mayor incidencia en la calidad y estructura del grano una vez torrefactado fueron el contenido de lípidos y el contenido de proteínas. Estas dos componentes fueron las que presentaron mayor varianza constituyendo un 50,43% de varianza acumulada del 100% de todo el estudio estadístico. Cabe mencionar que el contenido de proteínas en el café corresponde al grupo de sustancias de carbono, contenido de nitrógeno, azufre, aminoácidos esenciales y compuestos volátiles, que en presencia de calor se descomponen en menores estructuras moleculares y desarrollan lo que se identifica como aroma, sabor, color, cuerpo y textura. Cada una de las características organolépticas están interrelacionadas con las propiedades principales del café, por tanto, el componente altitudinal influye directamente sobre éstas, haciendo que el grano de café sea de mejor calidad, mayor tamaño y elevada porosidad.
- Para procesos de beneficio del café en las fincas cafeteras de Nariño, se tuvo en cuenta factores altitudinales y edafológicos de cada región, ya que el grano seleccionado debería ser de la misma especie y variedad (*Coffea Arábica*; variedad Colombia) de color rojo y maduros. El beneficio en ambas parcelas fue en húmedo, es decir, fue lavado y fermentado en pozos de concreto y bajo sumersión de los granos de café en agua. El secado se efectuó en terrazas abiertas de concreto, donde se distribuyó el café pergamino a la exposición directa del sol, después de cierto tiempo y hasta alcanzar una humedad relativa interna del grano cercana al 12%, se acondicionaron los granos en depósitos de guadua instaurados para evitar que se rehidraten en días lluviosos o precipitaciones fluviales bajas.

- El control de calidad de los cafés crudos se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en el laboratorio de planta piloto. Con la ayuda de los equipos referenciados por las normas ISO 3310 (Zaranda vibratoria), NTC 2324 (Trilladora), NTC 4607 (Determinador de densidad por caída libre), NTC 4084 (Analizador volumétrico), NTC 2324 (Cámara de luz UV), NTC 4806 (Medidor de humedad), NTC 2442 (Tostador eléctrico – Café tostado en grano y molido) y finalmente Colorimetría NTC 3534 (Café tostado y molido - color). Todos ellos fueron determinantes en el proceso de obtención de cafés torrefactados con índices de degradación del color en base a la temperatura establecida y tiempo de tuestión. En la experimentación se obtuvieron masas y porcentajes de las muestras de estudio, por tanto, en las figuras 18 y 19 se especifican los valores obtenidos en cada uno de los pasos realizados en el control y sanidad de las muestras de investigación.

- El proceso de torrefacción se determinó mediante promedios analíticos de estudios e investigaciones relacionadas como las de (Prieto, 2002), (CENICAFÉ, 1932), (Puerta G. , 2011) entre otros. En la mayoría de investigaciones acerca de la temperatura óptima de torrefacción del café, se señala que la temperatura promedio debe ser de 210°C, ya que es ahí donde existe una reducción en el peso acuoso del grano y se desarrollan en pleno todo su sabor y aroma.
 Para encontrar similitudes o discrepancias entre las dos zonas de estudio con respecto a la influencia que ejerce el tiempo y la temperatura de tuestión sobre las muestras finales, se correlacionaron positivamente variables como la producción de lípidos obtenidos y el incremento de compuestos volátiles, el desarrollo de carbohidratos simples de cadena corta y la pérdida de peso gradual. El producto final resultó con una textura interna expandida, una coloración marrón media oscura, y una reducción en la acidez a partir de la descomposición térmica a ácidos carboxílicos, que se degradan y volatizan produciendo ácidos volátiles y CO₂.

- En el estudio de características principales del café, realizados por (Cliford M. , 1985) y (Clarke & Macrae, 1987); la composición porcentual de las propiedades especifican en la tabla 10 en relación a los datos semejantes que deben obtenerse en la experimentación. La percepción cuantitativa de sus componentes se realizaron por medio de pruebas analíticas

como Extracto etéreo de lípidos en el café, prueba de digestión de proteína cruda, porcentaje de fibra cruda, acidez titulable y carbohidratos.

- ~ La relación entre los pesos obtenidos por extracto etéreo se tiene, que de la zona 1 se extrajo un 12,19% de lípidos en relación a la zona 2 con un 11,74%. En el contenido de proteína cruda se obtuvieron datos en grano almendra de 8,51% de la zona 1 y un 9,40% en la zona 2; para torrefacciones de 8 min la zona 1 obtuvo un 10,77% de proteína cruda mientras que la zona 2 obtuvo un 10,19% en la misma categoría. Para torrefacciones de entre 10 y 12 minutos se obtuvieron valores promedios de 12,59 y 13,77% respectivamente para la zona 1, mientras que la zona 2 obtuvo un 12,60 y 13,94% en promedio de proteína cruda.
- ~ En cuanto a pruebas como el contenido de fibra cruda resultaron promedio relativamente bajos con valores desde 0,2% en la zona 1 y 0,19% en la zona 2, valores exageradamente bajos a los requeridos por la literatura. Aquí se puede concluir que el porcentaje de fibra no es significativo para esta investigación, ya que el café de muestra tiende a desaparecer a medida que incrementa la temperatura en la mufla y el contenido final de ceniza fina empieza a descomponerse a temperaturas superiores a los 350°C.
- ~ La acidez titulable corresponde analíticamente a valores promedio en tres grados de tostión: 1= (8 minutos), 2= (10 minutos), 3= (12 minutos). En la zona 1 (La Unión) el grado de tostión 1 corresponde a 462,19 mg de ácido clorogénico, en grado de tostión 2 corresponde a 456,64 mg de ácido clorogénico y para grado de tostión 3 corresponde a 449,74 mg de ácido clorogénico; en la zona 2 (Buesaco) con un grado de tostión 1 corresponde a 499,36 mg de ácido clorogénico, en grado de tostión 2 corresponde a 491,19 mg de ácido clorogénico y para grado de tostión 3 corresponde a 487,92 mg de ácido clorogénico. Si se observa la reducción de ácidos clorogénicos de las zonas en cuestión, a medida que hay una mayor exposición del tiempo de tostión, la sensación de acidez en la bebida final cambia radicalmente por sabores amargos debido a la desaparición de sustancias volátiles y solubilización de sustancias como la cafeína y algunos alcaloides que modifican la sensación de astringencia por la de amargura en el café. Cabe mencionar que la zona con mayor cantidad de ácidos clorogénicos es la zona 2, debido a su posición altitudinal en el

departamento de Nariño y que sus factores agroclimáticos hacen de ésta zona especial por sus condiciones adversas y de resistencia.

- ~ Los carbohidratos se relacionan directamente con la cantidad de proteínas en el café. Esta relación entre los grupos amino suministran gran parte del nitrógeno que se incorpora a los compuestos volátiles y son precursores del aroma del café tostado. Los azúcares son transformados a diferentes temperaturas de tostación, a causa de las reacciones de Millard. Los carbohidratos contribuyen como agentes de unión del aroma, acidez y sabor de la bebida final de café (Soto, 1992). En la figura 44 de absorbancias en dos blancos a concentraciones diferentes, hay una connotación secuencial en descenso en relación a los carbohidratos, ya que a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo de tosti3n, la cantidad de azúcares se desnaturalizan bioquímicamente de las proteínas y se reducen dando como resultado la descomposici3n de azúcares como oligosacáridos y polisacáridos en monosacáridos (en el caso de la sacarosa, después de la inversi3n).

- El dise1o experimental realizado fue un dise1o factorial multivariado con método de extracci3n por Componentes Principales sin rotaci3n. Se eligió este método estadístico de prueba porque es una técnica de reducci3n de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables así como la correlaci3n entre ellas.

En el capítulo IV de análisis multivariado se identifican las tablas y gráficas que el dise1o por componentes principales logró extraer del estadístico SPSS.

Un ejemplo de variables correlacionadas es la que se observa en la tabla 17, la matriz de correlaciones, que indica que el componente 1 de %PPeso del café tostado tiene una fuerte correlaci3n con el ítem 2 que corresponde a los Carbohidratos; la segunda correlaci3n mayor en la tabla es la del componente % Lípidos con el ítem de %Proteína cruda. Estas correlaciones están fuertemente ligadas en la estructura y cambios físicos del grano de café al ser expuesto a elevadas temperaturas en un intervalo de tiempo experimental.

- Gracias a la comprobaci3n de la existencia de inter-correlaciones en la matriz de la tabla 18, se puede deducir que el test de esfericidad de Bartlett demuestra que si existe un nivel de significancia (Sig) menor a 0,05 lo que significa que se procede a rechazar la hipótesis nula

de esfericidad y el modelo factorial realizado, es el adecuado para explicar los datos experimentales.

Para tener claridad en la diferenciación de las varianzas se toman los componentes 1 y 2 de la tabla 14 y se entiende que cada componente refleja la zona de estudio (1 y 2) que agrupa en factores sus porcentajes de extracción, es decir, que para el componente 1 su factor incluye variables positivas como el % de pérdida de peso, carbohidratos, % lípidos, % proteína cruda y en menor proporción la acidez titulable. En el factor 2 del componente 2 se explica el grupo de variables positivas desde % lípidos, % proteína cruda, densidad aparente en café tostado y en menor proporción el % fibra cruda.

Las inter-correlaciones explican que en un plano espacial bidimensional, la correlación más fuerte tanto en la zona 1 como la zona 2, es la cantidad de lípidos con un 28,7% y proteína cruda con un 21% de variabilidad, aunque la variación no es demasiada alta explica la incidencia que la altitud imprime en las plantaciones de cafetos a diferentes factores agroclimáticos y esta diferenciación se encuentra en la calidad del grano tostado y la estructura física del mismo.

- Se verifico que las muestras de estudio se tomaran bajo el criterio de repetitividad, ya que se procura evitar la formación de sesgos y un error experimental en la interpretación de datos.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda incentivar el cultivo y producción de café de altura en la zona cafetera nariñense, haciendo competitivo este producto agrícola por medio de capacitación y educación a los terratenientes de fincas aledañas en los municipios de estudio en esta investigación.
- Se recomienda hacer un estudio de suelos actualizado de las zonas anteriormente mencionadas o afines (La Unión y Buesaco, municipios aledaños) y realizar en el laboratorio la cuantificación mineral entre los componentes principales del suelo y la composición mineral del grano de café e identificar su relación directa.
- Se recomienda realizar el estudio o creación de un panel entrenado de catación de café como objetivo piloto en el programa de Ingeniería de alimentos en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, que sirva de apoyo para los caficultores como instrumento de análisis y caracterización de sus productos agrícolas producidos en sus tierras a nivel nacional.

REFERENCIAS.

- Acevedo, N., & Castaño, C. (1998). Influencia del agua de apagado sobre las propiedades fisicoquímicas del café tostado. *Revista Cenicafé*, 17 - 29.
- Acuña, Bassüner, Beilinson, Cortina, Cadena, Montes, y otros. (1999). Coffee seeds contain 11S storage proteins. *Physiology Plantarum*(105), 122 -131.
- ALMACAFE (2010). Trilla de Café. Recuperado el 4 de noviembre de 2013, de <http://www.almacafe.com.co/>:
http://www.almacafe.com.co/es/servicios/servicios_logisticos_para_productos_diferentes_al_cafe/almacenamiento_y_conservacion/
- Anónimo. (2008). Practicas basicas para la produccion de forrajes. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – UNAD. p, 11-16.
- Anónimo. (2010). La física y química en el tueste del café. *forum del café*, 38-45.
- Anónimo. (2010a). *La física y química en el tueste del café. Cambios físicos durante el tueste. La presión proporciona un "primer Crack" y la expansión del grano.* Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.forumdelcafe.com/>:
http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-41_Fisica_quimica_tueste.pdf
- Anónimo. (2010c). *EL COLOR: Valores inherentes y simbólicos.*
- AOAC, A. (1993). *Methods of Analysis for nutrition labelling* . Arlington.
- Bolivar, C. (2009). *Monografía sobre el galactomanano del grano de café y su importancia en el procesamiento para la obtención de café soluble.* [Tesis de pregrado], Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Bradbury, A. (2001). Carbohydrates in coffee. *19th International colloquium on the Chemistry of coffee, ASIC.*
- Brains, D. Narino Topographic 2.png. *Narino dept.* From Wikimedia Commons, the free media repository.
- Cabellero R, A. (1996). *Uso del concepto de ecotopos en las transferencia de tecnología para la zona cafetera colombiana.* Bogotá: CORPOICA.
- Campos, L., & Rodríguez, L. (1971). Aplicação dos métodos cromatográficas á análise dos aminoácidos livres dons cafés verdes. *5th International colloquium on the Chemistry of coffee, ASIC.*. Paris.

- Cárdenas, J. (1990). *El mercado libre del café y sus efectos*. Bogotá.
- Carvajal, J., Aristizabal, I., & Oliveros, C. (2012). *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (Coffea arabica) Variedad Colombia durante su desarrollo y maduración*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.revistas.unal.edu.co/>: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25965/39038>
- Castaño, C., Puerta, G., & Vargas, R. (2000). Caracterización del rendimiento de extracción y del contenido de la bebida de café. *Revista Cenicafé*, 51(3), 185 - 195.
- Cavaco B, N., Leitão, A., Cochicho R, J., & Cebola L, F. (2012). El uso de parámetros de color para la evaluación de café tostado. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 32(3).
- CDCN, C. D. (2008). *Informe de Comités Departamentales*. Pasto.
- CENICAFÉ. (1932). Torrefacción o tostada del café. *Revista Cenicafé*, 4(38), 1470 - 1473.
- (1999a). Influencia del proceso de beneficio en la calidad de café. *Revista Cenicafé*, 78-88.
- (1999b). *Descripción del proceso productivo y el beneficio del café. Guía tecnológica del cultivo*. Bogotá: Guía ambiental para el sector cafetero.
- (2004). *Beneficio del café. Secado del café pergamino*. Revista Cenicafé.
- (1990). *Variedades de café sembradas en Colombia*. Cartilla.
- (1990). *Clima para los cafetales*. Cartilla.
- Chaoxin, Z., Da Wen, S., & Liyun, Z. (2006). Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 77, 858 - 863.
- CIE. (15 de Agosto de 2012). *Commission Internationale de L'éclairage*. Obtenido de Commission Internationale de L'éclairage: <http://eilv.cie.co.at/term/722>
- CIE, C. (2009). *Origen y distribución geográfica del café*. Obtenido de <http://www.cie.umich.mx/>: http://dieumsnh.qfb.umich.mx/ii__origen_y_distribucion.htm
- Clarke, R. (2003). Coffee: green coffee/roast and ground. En B. Caballero, L. C. Trugo, & P. Finglas, *Encyclopedia of Food Science and Nutrition* (Vol. 3). Oxford: Academic Press.
- Clarke, R., & Macrae, R. (1985). Coffee. Elsevier Applied Science Publisher, Chemistry. 1, 306.
- Clarke, R., & Macrae, R. (1987). Coffee Technology. *Elsevier Applied Science Publisher*, 2(321).
- Clifford, M. (2000). Chlorogenic acids and other cinnamates—nature, occurrence, dietary burden, absorption. *Journal Science Food Agriculture*(80), 1033 - 1043.

- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.(79), 362–372.
- Cliford, M. (1985). Coffee: botany, biochemistry and production of beans of beverage. En M. Cliford, & W. K. C. , *Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products*. (págs. 305 - 374). London: Croom Helm Publishers Ltd.
- Cliford, M. N. (1985). Chlorogenics acids and other cinnamates - nature occurrence and dietary burden. *Journal of the Science food and Agriculture*.(79), 363-372.
- Colombia, P. (2011). Innovación y tecnologías sostenibles, claves de Nariño para aprovechar los TLC. *Revista de las oportunidades* , 2, 12.
- CORPONARIÑO, C. A. (2007a). *Características biofísicas de los páramos de Nariño, zona norte*.
- CORPONARIÑO, C. A. (2007b). *Características biofísicas de los páramos de Nariño, zona centro*.
- DANE, D. (2013). *Oficina de estudios económicos*. Nariño, Nariño.
- Deutsches Institut für Normung EV, (. N. (1983). *DIN 5033-7. Colorimetría; medición de las condiciones de colores de los objetos*.
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* , 28(3), 350-356.
- Dutra, E. R., Oliveira, L. S., Franca, A. S., Ferraz, V. P., & Afonso, R. J. (2001). A preliminary study on the feasibility of using the composition of coffee roasting exhaust gas for the determination of the degree of roast. *Journal of Food Engineering*(47), 241 - 246.
- ESAP, E. S. (2012). *El esquema de ordenamiento territorial para el Municipio de Buesaco*. Nariño.
- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. (59).
- Farah, A., Monteiro, M., Calado, V., & Trugo , L. (2006). Correlation between the chemical attributes of coffee and cup quality. *Food Chem*(98), 373 - 380.
- Farfán, F. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia. Programa de cafés especiales*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2013, de <http://www.cenicafe.org/>: <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo10.pdf>
- FEDERACAFÉ. (1932). Torrefacción o tostada del café. *Revista Cafetera de Colombia*, 4(38), 1470-1473.

- (18 de Agosto de 2010a). *El Café de Nariño*. Obtenido de <http://www.cafedecolombia.com/>:
http://narino.cafedecolombia.com/es/narino/el_cafe_de_narino/
- (16 de Agosto de 2010b). *El café de Nariño. Factores Agroclimáticos*. Obtenido de http://narino.cafedecolombia.com/es/narino/el_cafe_de_narino/factores_agroclimaticos/
- (2010c). *Nariño, Denominación de Origen. Los ciclos de cosecha en Nariño*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2013, de <http://cafedecolombia.com>:
http://narino.cafedecolombia.com/narino/solo_para_expertos/los_ciclos_de_cosecha_en_narino/
- (2010d). *Nuestras Regiones cafeteras*. Obtenido de <http://www.cafedecolombia.com/>:
http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/regiones_cafeteras/
- (2010e). *Categorías*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de <http://www.federaciondecafeteros.org/>:
http://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestro_cafe/cafes_especiales/categorias/
- (2010f). *El árbol y el entorno*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de www.cafedecolombia.com:
http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/
- (2010g). *Café de Colombia - Nariño, Denominación de Origen*. Recuperado el 3 de Octubre de 2013, de <http://narino.cafedecolombia.com/>:
http://narino.cafedecolombia.com/es/narino/el_cafe_de_narino/la_bioquimica_del_cafe_de_narino/
- (2010h). *Los productores de café de Nariño*. Obtenido de <http://narino.cafedecolombia.com/>:
http://narino.cafedecolombia.com/es/narino/el_cafe_de_narino/los_productores_de_cafe_de_narino/
- (2010i). *Ciclos de cosecha en Nariño*. Obtenido de <http://narino.cafedecolombia.com>:
http://narino.cafedecolombia.com/narino/solo_para_expertos/los_ciclos_de_cosecha_en_narino/
- (2011). *Conferencia Economía Cafetera ICESI. El mercado del café y la política cafetera. Análisis anual*. Bogotá
- (2013). *Estadísticas de la estructura cafetera del Departamento de Nariño. Análisis anual*. Pasto.

Folstar, P. (1985). Lipids. (R. Clarke, & R. Macrae, Edits.) *Elsevier Applied Science*, 1, 203–222.

- Giraldo, G. G. (27 de Mayo de 2014). Nariño: Caminos cruzados por la historia. *Revista Volar*, 2-8.
- Gobernación de Nariño, p. R. (3 de Septiembre de 2012). <http://cafenarino.com/>. Recuperado el 3 de Septiembre de 2012, de Café de Nariño: <http://cafenarino.com/CafeNarino1/index.html#/2/zoomed>
- Gotteland, M., & Pablo V, S. (2007). Algunas verdades sobre el café. Some trues regarding coffee. *Revista chilena de nutrición*, 32(2), 105 - 115.
- Guevara, B., & Castaño, C. J. (2005). Caracterización granulométrica del café colombiano tostado. *Cenicafé*, 1(56), 5 - 18.
- Hernández, J. A., Heyd, B., Valdovinos, B., & Trystram, G. (2007). Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. *Journal of Food Engineering*(78), 1141-1148.
- History, C. (2011). *Especial de Café*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2013, de [www.youtube.com: http://www.youtube.com/watch?v=rAnauldbD2s](http://www.youtube.com/watch?v=rAnauldbD2s)
- ICONTEC, I. (1987). *NTC 2324. Café verde. Exámen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos.*
- (1996). *NTC 2441. Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Método para la determinación del tamaño de partícula.*
- (1997). *NTC 4084. Café tostado y molido. Método para la determinación de la densidad por compactación.*
- (1998). *NTC 2442. Café tostado en grano y tostado y molido. Determinación del grado de tostación.*
- (1998). *NTC 2442. Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Determinación del grado de tostación.*
- (1999). *NTC. 4675. Extractos solubles de café. Bogotá.*
- (2000). *NTC 2441. Café tostado en grano y tostado y molido. Industrias Agrícolas. Método para la determinación del tamaño de partícula.*
- (2000). *NTC 2558. Determinación del contenido de humedad. Método por determinación de pérdida de masa a 103°C.*
- (2005). *NTC 4084. Café tostado y molido. Método para la determinación de la densidad por compactación.*
- IDAL. (2011). *Instructivo. Área: Laboratorio de calidad 11.*

- IGAC, (2004). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Adaptación del estudio de suelos de los municipios de La Unión y Buesaco en el departamento de Nariño.
- Jaramillo, H. (1988, a). Norma de calidades. Gerencia comercial – unidad control calidades. Normas para revisión de excelsos de exportación. *Revista Federacafé.*, 2(2), 58 - 290.
- Jaramillo, H. (1988, b). Norma de calidades. Gerencia comercial – unidad control calidades. Normas sobre vocabulario: Defectos del café. *Revista Federacafé*, 2(5), 58-290.
- Jiménez, H., Diezma, B., & Correa, E. (2011). *Un buen café: Una simbiosis de color y sabor*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Kirkpatrick, S., Gutwein, R., & Bertagna, R. (1991). *Patente nº ES 2 055 300*. España.
- Kölling-Speer, L., & Speer, K. (2005). The Raw Seed composition. En A. Illy, & R. Viani, *Espresso Coffee, the Science of Quality*. (págs. 148–178.). Italy: Elsevier Academic Press.
- LA UNIÓN, M. (2012). *Alcaldía de La Unión - Nariño*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2012, de <http://www.launion-narino.gov.co/>: http://www.launion-narino.gov.co/informacion_general.shtml#geografia
- Lu, R. (2004). Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*(31), 147 - 157.
- Medina, A. (2000). *Relación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del café en diferentes procesos y grados de torrefacción*. Universidad de la Salle, Bogotá.
- Meenakshi, A., & Rao, L. (2007). An impression of coffee carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 51 - 67.
- Monreal, S. (2010a). *Biografía del café*. En *Cuadernos de Aragón*. Vol. (43)., Institución Fernando el católico, diputación de Zaragoza., Zaragoza.
- Monreal, S. (2010b). *Biografía del café*. En *Cuadernos de Aragón*. Institución Fernando el católico, diputación de Zaragoza., Zaragoza.
- Monroig, M. (2012). *Descripción morfológica del café. Ecos del café*. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/mmonroig/index.htm>: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>
- Montgomery , J., Parrish, D., Olson, J., Dickson, J., & Niebulu, S. (2003). Storage and packaging effects on sensory and colour characteristics of ground beef. *Meat Science*(64), 357 - 363.
- Moreno, A. (2007). *Cenicafé: Fundamentos sobre sistemas de producción*. Cenicafé.
- N&W, G. V. (2010). *La historia del café. Roma*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://www.nwglobalvending.es/products-brands/history-of-coffee>

- Nave, O. (2012). *HyperPhysics. Luz y Visión*. Recuperado el 23 de Octubre de 2013, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/cie.html>
- Nielsen, S. (1998). *Food analysis. Aspen Publication, 2.*
- Osborne, J. & Costello, A. (2004). Sample size and subject to item ratio in principal components analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 9(11). (Recuperado el 17 Dic. 2013, de <http://PAREonline.net/getvn.asp?v=9&n=11>)
- Paytas, M. (2012). Calidad de fibras un aspecto que empieza a definirse muy tempranamente en el algodón. *Voces y ecos N. 29, Santa Fé.*
- Peláez, A. (1995). Vademecum del tostador. Curso Básico. *Federacafé*, 65 - 290.
- Perry, R. y. (1973). *Manual del Ingeniero Químico. 5.* Kogahusha, Tokio.: Mc Graw Hill.
- Pittia, P., Nicoli, M. C., & Sacchetti, G. (2007). Effect of moisture and water activity on textural properties of raw and roasted coffee beans. *Journal of texture studies.*, 38, 116-134.
- Poisson, J. (1977). Aspects Chimiques et biologiques de la composition du café vert. . *8th International colloquium on the Chemistry of coffee, ASIC.* Paris.
- Prieto, Y. (2002). *Caracterización física de café semitostado.* (Tesis de pregrado), Universidad de América., Bogotá. Colombia.
- Puerta, G. (2006). *Buenas prácticas agrícolas para el café.* Avances técnicos Cenicafé (Colombia) (349).
- Puerta, G. (2008). *Factores de origen y proceso en la calidad y la química del café.* Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé.
- Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Revista Cenicafé*, 1-12.
- Redgwell, Curti, Rogers, Nicolas, & Fisher. (2003). *Changes to the galactose/manose ratio in galactomannans during coffee bean Coffea Arabica L. development: implicatios for “in vivo” modification of galactomannan synthesis.* Planta.
- Riaño, C. (2010). *Módulo del curso de tecnología del café.* Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Santoyo, V., Díaz, C., Escamilla, P., & Robledo, M. (1996). *Factores agronómicos y calidad del café.* Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo: Confederación Mexicana de productores de café.

- Smith, L. (2002). A tutorial on Principal Components Analysis. En A handbook of statistical analysis using R. Chapter 13. Principal Component Analysis: The Olympic Heptathlon.
- Soto, M. (1992). *Influencia de la humedad inicial y el tiempo de crepitación sobre las características químicas, físicas y organolépticas del café tostado*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá - Colombia.
- Tao, P. H., Heinemann, Z., Varghese, C. T., Morrow, H., & Sommer, I. (1995). Machine vision for colour inspection of potatoes and apples. *Transactions of the ASAE*(38), 1555 - 1561.
- Toci, A., & Farah, A. (2008). Volatile compounds as potential defective coffee seeds' markers. *Food Chem*,(108), 1133–1141.
- Vaast, P,& Bertrand, B. (2005). Date of harvest and altitude influence bean characteristics and beverage quality of Coffea Arabica in intensive management conditions. Hort Science In press.
- Vaast, P; Bertrand, B; Perriot, J; Guyot, B. & Genard, M. (2005). Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (Coffea Arabica L.) under optimal conditions. Journal of Science of Food and Agriculture In press.
- Vaast, P., Cilas, C., Perriot, J., Davrieux, J., Guyot, B., & Bolaños , M. (2005). Mapping of coffee quality in Nicaragua according to regions. . *ASIC* (págs. 842-850). India: Ecological Conditions and Farm Management.
- Vásquez, S. (2001). *La densidad aparente en el suelo y recomendaciones de fertilizantes para los cafetales*. Chinchiná: Cenicafé, Avance Técnico 292.
- Yeretzian, C, C., Jordan, A., & Lindinger, W. (2003). (2003). Analysing the headspace of Coffee by proton – transfer – reaction – mass – spectrometry. *Int. J. Mass Spectr.*, 115 – 139.
- Yoshikawa, K., Toraichi , K., Wada, N., Ostu, H., Nakai, M., Mitsumoto, K., y otros. (2000). On a grading system for beef marbling. *Pattern recognition letters*(21), 1037 - 1050.

APENDICES

APÉNDICE A.

ADAPTACION DEL ESTUDIO DE SUELOS DE LOS MUNICIPIOS DE LA UNIÓN Y BUESACO EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO. IGAC.

DELIMITACION DE LOS SUELOS.

El presente estudio de suelos del departamento de Nariño, comprende la revisión y actualización de los levantamientos de suelos anteriores, realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi entre los años 1972 hasta 1989.

Inicialmente se separaron en forma preliminar los paisajes del altiplanicie, montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle. Luego se hicieron otras separaciones teniendo en cuenta el clima y la litología y atributos como pendiente, erosión, pedregosidad e inundabilidad.

Los perfiles se clasificaron tentativamente en campo hasta nivel de subgrupo, siguiendo las normas de sistema taxonómico americano (Soil Survey Staff, 1999). Con la información de campo y datos analíticos de laboratorio se elaboró un informe que contiene aspectos como clima, vegetación, geología, geomorfología, propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos, génesis y taxonomía, clasificación de tierras por su capacidad de uso, zonificación del medio biofísico entre otros.

Los símbolos están constituidos por tres letras mayúsculas, la primera letra indica el paisaje, la segunda letra el clima y la tercera letra el nombre de la clase cartográfica y sus componentes taxonómicos; la siguiente letra es minúscula y significa el porcentaje de la pendiente; en algunas ocasiones existe la presencia de un número arábigo que representa el grado de erosión del suelo.

Tabla 19.

El significado de los símbolos.

PAISAJE		CLIMA		PENDIENTE		EROSION	
A	Altiplanicie	A	Nival y subnival muy húmedo	a	0 - 3 %	2	Moderada
L	Lomerío	E	Extremadamente frío húmedo y muy húmedo	b	3 - 7 %		
M	Montaña	H	Muy frío húmedo y muy húmedo	c	7 - 12 %	Inundabilidad / Encharcamientos	
P	Piedemonte	L	Frío húmedo y muy frío húmedo	d	12 - 25 %		
R	Planicie	M	Frío seco	e	25 - 50 %		
V	Valle	Q	Medio húmedo y muy húmedo	f	50 -75 %	Encharcables	
		R	Medio seco	g	> 75 %	Inundables	

T	Cálido pluvial
U	Cálido húmedo y muy húmedo
W	Cálido seco

Fuente. (IGAC, 1981)

DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS Y SUS COMPONENTES TAXONÓMICOS.

La descripción de las unidades cartográficas y sus componentes taxonómicos delimitados en el mapa, se hace siguiendo el orden de la leyenda de suelos y su distribución en el paisaje. Ver figura 22.

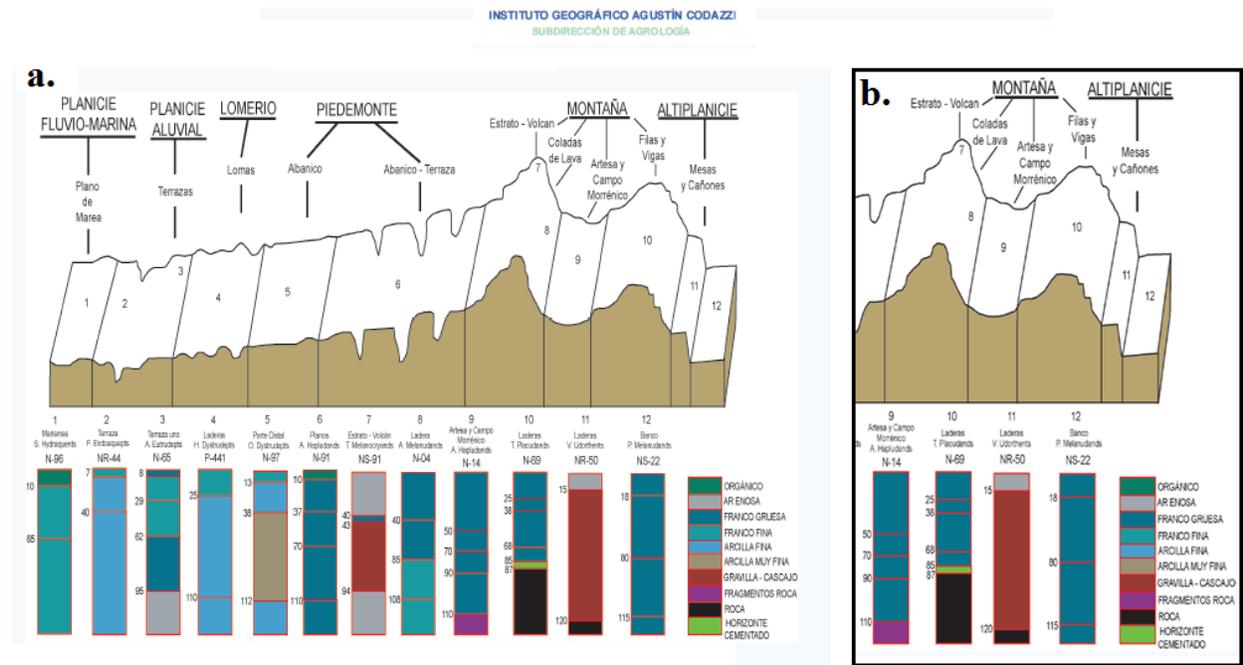


Figura 22. a) Relación de los principales suelos y su distribución en el paisaje; b) Sección de estudio en el uso de suelos de las zonas de montaña y altiplanicie.

1. SUELOS DE LA ALTIPLANICIE.

Representan superficies extensas, de relieve plano a fuertemente escarpado, cubiertas por derrames fluvio volcánicos y/o hidro volcánicos; localizadas a diferentes altitudes y limitadas en uno o varios de sus bordes por escarpes, profundos, producto de los levantamientos de los procesos erosivos y de los fenómenos de remoción de masa, los cuales han transformado y

disectado el paisaje; los materiales están constituidos por depósitos de ceniza volcánica que yacen sobre tobas de ceniza, pumitas, andesitas, lapilli y aglomerados.

1.1. Suelos de altiplanicie en clima frío húmedo y muy húmedo. ALGf2.

Se localizan en el municipio de Buesaco, corregimientos de Villa Moreno y Rosal del Monte; ocupan áreas de poca extensión situadas en los cañones de las mesas, dentro del paisaje de la altiplanicie en clima frío húmedo y muy húmedo con temperaturas entre los 12 y 18 ° C; corresponde a áreas de relieve moderadamente escarpado afectados por erosión en grado moderado.

Las tobas de ceniza, lapilli y aglomerados han originado suelos profundos, bien drenados, de grupo textural francoso fino y arcilloso fino, fertilidad alta y en algunos casos moderada.

La unidad se compone en un 80% por los suelos Typic, Argiudolls y en un 20% por los suelos Humic Dystrudepts, con fases por pendiente y grado de erosión delimitada por la unidad ALGf2.

ALGf2: Fase moderadamente escarpada, erosión moderada.

- Su unidad cartográfica corresponde a la subclase VIIte3 por capacidad de uso.

Tabla 20.

Leyenda del estudio general de suelos del Departamento de Nariño – Municipio de Buesaco.

MUNICIPIO DE BUESACO

PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	LITOLÓGIA Y/O SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SUELOS	UNIDAD CARTOGRÁFICA Y COMPONENTES TAXONOMICOS	PERFIL MODAL	% DE CADA COMPONENTE	SÍMBOLO CARTOGRAFICO	USO ACTUAL DE LA TIERRA
ALTIPLANICIE	Frío húmedo y muy húmedo	Cañones	Tobas de ceniza, lapilli y aglomerados	Profundos, texturas finas, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad alta, altos en materia orgánica.	Consociación Typic Argiudolls	NA-45	80	ALGf2	Ganado bovino extensivo en pasto kikuyo
				Profundos, texturas finas sobre moderadamente finas, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad moderada, bajos en materia orgánica.	Humic Dystrudepts	NA-47 (**)	20		
					Fases: Moderadamente escarpados, erosión moderada				

(*) Suelo similar al componente principal

(**) Inclusión

Explicación de los símbolos:

En el mapa y en la leyenda de suelos, los símbolos se identifican con tres letras mayúsculas, seguidas por una o dos letras minúsculas; en algunos se adiciona un número arábigo. Ejemplo: ARAb2

La primera letra mayúscula corresponde al paisaje.

La segunda letra mayúscula indica el clima ambiental.

La tercera letra mayúscula corresponde a la unidad de suelos y componentes taxonómicos (consociación, asociación, complejo, inasociación o grupo indiferenciado).

La primera letra minúscula indica el grado de la pendiente y la segunda letra minúscula indica inundación o encharcamiento.

El número arábigo señala el grado de erosión.

1.2. Unidad cartográfica subclase VIIte3 por capacidad de uso.

Pertenece al clima frío húmedo y muy húmedo de las coladas de lava, filas y vigas, crestas de la montaña y cañones de la altiplanicie.

El relieve es fuertemente escarpado, con pendientes mayores del 75%. Los suelos son muy profundos y algunos moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, de textura moderadamente gruesas y gruesas, algunas con abundante gravilla, cascajo y guijarro y en otros casos moderadamente finas, bien drenados y excesivamente drenados; posee un suelo muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad baja y moderada, baja y mediana saturación de gases, bajo y mediano contenido de calcio, magnesio, potasio y fósforo, alto y mediano contenido de aluminio intercambiable, alto contenido de carbono orgánico y alta retención de fosfatos.

Las pendientes fuertemente escarpadas, abruptas y la muy alta susceptibilidad a la erosión son los limitantes extremadamente severos de estas tierras.

La conforman los suelos Acudroxic Melanudands, Acudroxic Hapludands, Acudroxic Fulvudands, Typic Hapludands, Acudroxic Placudands, Humic Udivitrands, *Dystric Eutrudepts*, entre otras.

1.3. PERFIL NA – 47 (). Suelos Humic Dystrudepts.**

Según el estudio elaborado en el año de 1981 por C. Ibarra para la identificación de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño – Municipio de Buesaco, se tiene la siguiente información:

Perfil No. NA-47 (**)

Taxonomía: Humic Dystrudepts

Unidad Cartográfica: Consociación

Símbolo: ALGf2

Localización: Departamento de Nariño, municipio de Buesaco, 2 Km de Villa Moreno por la carretera que conduce a Buesaco.

Altitud: 2400 m

Plancha No. 1473

Coordenadas geográficas:

Norte: 1° 20' 12"

Oeste: 77° 11' 05"

Aerofotografía No. 0234

Vuelo No. C-2349

Faja No. 12

Paisaje: Altiplanicie

Tipo de relieve: Cañón

Forma del terreno: Ladera media

Litología/sedimentos: Rocas volcánicas piroclásticas consolidadas (Tobas de ceniza, lapilli y aglomerados).

Relieve: Moderadamente escarpado

Disección: Moderada

Pendiente: Gradiente: 50-75%

Longitud: Muy larga

Forma: Rectilínea

Clima ambiental: Frío, húmedo.

Clasificación del clima (Koeppen): Templado húmedo de verano seco.

Formación ecológica (Holdridge): Bosque húmedo montano bajo.

Clima edáfico: Régimen de temperatura isomésico; régimen de humedad údico.

Erosión: Hídrica en surcos y en cárcavas, moderada.

Drenajes: Interno: Medio

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Nivel freático: No se encontró

Profundidad efectiva: Profunda

Horizontes diagnósticos: Epipedón úmbrico; endopedón cámbico.

Uso actual: Pastos con rastrojos, de pastoreo para ganadería extensiva y cultivos transitorios de subsistencia no tecnificados (maíz).

Limitantes del uso: Fuertes pendientes

Vegetación natural: Destruída

Características diagnósticas: Régimen de temperatura.

Descrito por: C. Ibarra

Fecha: 08-09-81

00 - 18 cm Ap	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares, fina y media, moderada; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; muchos poros finos y medios; mucha actividad de macroorganismos; abundantes raíces; pH moderadamente ácido (5.4); límite claro y plano.
18 - 58 cm Bw	Color en húmedo pardo fuerte (7.5YR5/6) con manchas rojizas (5YR4/4); textura arcillosa; tendencia a formar bloques subangulares; consistencia en húmedo firme, en mojado muy pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes poros finos; poca actividad de macroorganismos; pocas raíces; reacción lenta al fluoruro de sodio; pH ligeramente ácido (6.4); límite claro y ondulado.
58 - 120X cm C	Color en húmedo amarillo rojizo (7.5YR6/6) y pardo (7.5YR5/4); textura franco arcillo arenosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa, no plástica; muchos poros finos; no hay actividad de macroorganismos; no hay raíces; reacción ligera al fluoruro de sodio; pH neutro (6.7).
Observaciones:	
	Durante la fase de campo del año 1994, se observaron cutanes delgados en el segundo horizonte del perfil de suelo.
(**) Inclusión	

Adaptada del estudio general de suelos – perfiles taxonómicos. IGAC 2004.

La taxonomía del suelo de la zona de Altiplanicie con un medio húmedo y muy húmedo, con altitudes entre los 1300 y 2300 m.s.n.m. y una precipitación media anual de 1000 a 4000 mm; son áreas de discerción profunda en los que el material geológico de rocas fluvio – volcánicas ha sido recubierto en gran parte, con piroclastos finos de origen volcánico.

La vegetación natural se desarrolla en algunos lugares en forma exuberante y se mantiene por el reciclaje de nutrientes que aporta la materia orgánica durante su transformación.

La configuración del relieve de la altiplanicie ha permitido la acumulación de las capas de ceniza volcánica de variado espesor y las condiciones húmedas y muy húmedas del medio ambiente y del suelo, la acción del proceso de “andolización”.

Estos suelos se consideran bastante evolucionados y para su formación se requiere que hayan permanecido largo tiempo en equilibrio con el medio natural, lo cual indica que se han originado en condiciones ambientales diferentes a las actuales: material volcánico antiguo y un ambiente más húmedo. (IGAC, 1981)

2. SUELOS DE LA MONTAÑA.

El material parental a partir del cual se han formado la mayoría de los suelos de montaña, incluyendo algunos de las unidades cartográficas de clima medio húmedo y muy húmedo y seco (MQA, MQC, MQE, MRC) corresponden a depósitos de ceniza volcánica procedentes de los volcanes Azufra, Chiles y Cumbal y posiblemente del volcán de Doña Juana en la región norte del Departamento.

El relieve que domina es el escarpado y muy escarpado; sin embargo existen áreas desde planas hasta ligeramente inclinadas en las artesas y campos morrénicos, vallecitos, coladas de lava, coluvios y depresiones. En general, los factores de mayor relevancia en el desarrollo de los suelos de montaña son el material parental, el clima y los organismos.

La materia orgánica por su parte, se acumula y tiende a formar compuestos o complejos orgánicos minerales del tipo “humus – alófana” muy estables; lo que explican la presencia de horizontes negros superiores negros y espesos a través de los cuales el percolante de las lluvias ocasiona la lixiviación o pérdida de bases y acumulación de formas intercambiables de aluminio, lo que determina la baja y moderada fertilidad y la fuerte y extrema acidez que caracteriza a la mayoría de los suelos de montaña.

2.1. Suelos de la montaña en clima frío húmedo y muy húmedo. MQHf.

Esta unidad se localiza geográficamente en el extremo nororiental del departamento de Nariño, en los municipios de La Unión, San Lorenzo, San Pablo, Arboleda, Cartago y Taminango. Sus altitudes varían entre los 1000 y 1900 m.s.n.m. en clima medio húmedo y muy húmedo, con precipitaciones de 1000 a 4000 mm anuales y temperaturas entre 18 y 24°C.

La unidad la integran en un 35% los suelos Entic Hapludolls; en un 35% los suelos *Dystric Eutrudepts*; en un 15% los Typic Hapludolls; en un 10% los Lithic Hapludolls y en un 5% por misceláneo rocoso.

MQHf: Fase moderadamente escarpada; pertenece a la subclase VIIts5.

Tabla 21.

Legenda del estudio general de suelos del Departamento de Nariño – Municipio de La Unión.

MUNICIPIO DE LA UNION

PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	LITOLÓGIA Y/O SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SUELOS	UNIDAD CARTOGRÁFICA Y COMPONENTES TAXONÓMICOS	PERFIL MODAL	% DE CADA COMPONENTE	SÍMBOLO CARTOGRÁFICO	USO ACTUAL DE LA TIERRA
MONTAÑA	Medio húmedo y muy húmedo	Crestas homoclinales abruptas	Areniscas y limolitas	Superficiales, texturas moderadamente gruesas gravilosas, excesivamente drenados, ligeramente ácidos, fertilidad alta, altos en materia orgánica.	Complejo Entic Hapludolls	NA-77	35		Cultivos perennes (café, cítricos, fique) y Cultivos semi-perennes (caña panelera, plátano, frutales)
				Moderadamente profundos, texturas moderadamente finas, bien drenados, fuertemente ácidos, fertilidad alta, medianos en materia orgánica.	Dystric Eutrudepts	NA-82	35		
				Muy profundos, texturas finas, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad moderada, medianos en materia orgánica.	Typic Hapludolls	NA-90 (*)	15		
				Superficiales a muy superficiales, texturas moderadamente finas, excesivamente drenados, neutros, fertilidad alta, altos en materia orgánica.	Lithic Hapludolls	NR-42 (**)	10		
				No hay desarrollo de suelos.	Misceláneo rocoso	(**)	5		
				Fases: Fuertemente inclinados Ligeramente escarpados Moderadamente escarpados Fuertemente escarpados					
								MQHd MQHe MQHf MQHg	

(*) Suelo similar al componente principal

(**) Inclusión

Explicación de los símbolos:

En el mapa y en la leyenda de suelos, los símbolos se identifican con tres letras mayúsculas, seguidas por una o dos letras minúsculas; en algunos se adiciona un número arábigo. Ejemplo: ARAb2

La primera letra mayúscula corresponde al paisaje.

La segunda letra mayúscula indica el clima ambiental.

La tercera letra mayúscula corresponde a la unidad de suelos y componentes taxonómicos (consociación, asociación, complejo, inasociación o grupo indiferenciado).

La primera letra minúscula indica el grado de la pendiente y la segunda letra indica inundación o encharcamiento.

El número arábigo señala el grado de erosión.

2.2. Unidad cartográfica subclase VIIts5 por capacidad de uso.

Corresponde a sectores de filas – vigas y crestas de montaña de clima medio húmedo y muy húmedo.

Lo integran los suelos (MQAf) Acrudoxic, Hapludands, Acrudoxic, Hydric Hapludands; (MQBf) los suelos Entic Hapludolls, Typic Hapludolls, Lithic Hapludolls, Humic Dystrudepts; (MQHf) los suelos *Dystric Eutrudepts*, Entic Hapludolls, Typic Hapludolls, Lithic Hapludolls; con una pendiente de 50 – 75% con dominantes superficies, limitados por fragmentos de roca, material saprolítico o contacto lítico, de texturas moderadamente finas y finas gravilosas y cascajosas, bien drenados y excesivamente drenados, muy fuertemente ácidos a neutros, baja y alta retención de humedad, fertilidad alta, moderada y baja, bajo contenido de fosforo aprovechable, altos en materia orgánica y algunos con alto contenido de aluminio intercambiable.

La mayor parte de la unidad se encuentra bajo bosque natural intervenido; algunos sectores en pastos no manejados y manejados de pastoreo para ganadería extensiva y en menor proporción para cultivos mixtos como café, plátano, maíz, caña de azúcar.

2.3. PERFIL NA – 82 (**). Suelos Dystric Eutrudepts.

Se caracteriza por ser moderadamente profundo, limitados por material saprolítico, bien drenados y de grupo textural francoso fino, algunas veces con gravilla, se han desarrollado a partir de areniscas intercaladas con limolitas.

Según el estudio elaborado en el año de 1981 por L. Mehú para la identificación de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño – Municipio de La Unión, se tiene la siguiente información:

ESTUDIO GENERAL DE SUELOS Y ZONIFICACIÓN DE TIERRAS DEPARTAMENTO DE NARIÑO PERFILES

Perfil No. NA-82	Taxonomía: Dystric Eutrudepts	
Unidad Cartográfica: Complejo	Símbolo: MQHf	
Localización: Departamento de Nariño, municipio de La Unión, margen derecha, carretera La Unión-Génova, Vereda El Chircal.		
Altitud: 1800 m	Plancha No. 1474	
Coordenadas geográficas:	Norte: 1° 36' 33"	Oeste: 77° 06' 39"
Aerofotografía No. 140	Vuelo No. C-2480	Faja No. 7
Paisaje: Montaña		
Tipo de relieve: Cresta monoclinal abrupta		
Forma del terreno: Escarpe		
Litología/sedimentos: Rocas sedimentarias clásticas arenosas (areniscas) y limo-arcillosas (limolitas).		
Relieve: Moderadamente escarpado	Dissección: Moderada	
Pendiente: Gradiente: 50-75%	Longitud: Media	
Forma: Compleja		
Clima ambiental: Medio, húmedo.		
Clasificación del clima (Koeppen): Tropical lluvioso de bosque.		
Formación ecológica (Holdridge): Bosque húmedo premontano.		
Clima edáfico: Régimen de temperatura isotérmico; régimen de humedad údico.		
Erosión: No hay		
Drenajes: Interno: Medio	Externo: Rápido	
Natural: Bien drenado		
Nivel freático: No se encontró		
Profundidad efectiva: Moderadamente profunda, limitada por material saprolítico.		
Horizontes diagnósticos: Epipedón úmbrico; endopedón cámbico.		
Uso actual: Cultivos mixtos de subsistencia, semitecnificados (café, plátano, caña).		
Limitantes del uso: Fuertes pendientes		
Vegetación natural: Destruída		
Características diagnósticas: Régimen de temperatura		
Descrito por: L. Mehú		Fecha: 21-08-81

00 - 25 cm Ap	Color en húmedo pardo rojizo (5YR4/3); textura franco arcillo arenosa; estructura en bloques subangulares, fina y media, fuerte; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes poros; frecuentes raíces; frecuente actividad de macroorganismos; pH fuertemente ácido (5.2); límite difuso.
25 - 53 cm Bw1	Color en húmedo gris rojizo oscuro (5YR4/2); textura franco arcillo arenosa; estructura en bloques angulares y subangulares, gruesa y media, fuerte; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa, plástica; pocas raíces; pH fuertemente ácido (5.4); límite difuso.
53 - 150 cm Cr	Color en húmedo rojo sucio (10YR3/2) con manchas poco contrastadas de color pardo amarillento que transmite la roca alterada; textura franca; pH moderadamente ácido (5.8).

Adaptada del estudio general de suelos – perfiles taxonómicos. IGAC 2004.

Los suelos presentan reacción fuerte a moderadamente acida, con alta capacidad catiónica de cambio, alta saturación de bases, altos contenidos de calcio, magnesio y potasio, bajos contenidos de fósforo, medianos en materia orgánica y fertilidad alta.

Los principales limitantes para el uso y manejo son las pendientes fuertes, la susceptibilidad a la erosión y la moderada profundidad efectiva.

APENDICE B.

EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN.

1) Equipos.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron diferentes equipos y materiales durante cada una de las pruebas. En la siguiente tabla se especifica el equipo empleado para ésta investigación, así como el método que se tuvo en cuenta para el buen funcionamiento de los mismos.

Tabla 22.

Equipos de trabajo. Análisis de Calidad.

Equipos	Imagen	Método realizado o Referencia de uso del equipo.
<p style="text-align: center;">Medidor de humedad QuantiK MH – 302.</p>		<p>Calibrado con base en el método ISO 6673 y la Norma Técnica Colombiana NTC-2325 para la determinación del contenido de humedad de café verde.</p>
<p style="text-align: center;">Determinación de densidad a granel por caída libre. DCL – 1000.</p>		<p>Norma Técnica Colombiana NTC 4607.</p>
<p style="text-align: center;">Cámara de luz UV QuantiK</p>		<p>Análisis de calidad del color en granos de café almendra.</p>
<p style="text-align: center;">Trilladora de café C – 200</p>		<p>Permite conocer la calidad y el rendimiento del café además de dejar al café almendra totalmente limpio y libre de impurezas.</p>
<p style="text-align: center;">Zaranda vibratoria ZM – 15</p>		<p>Se emplea este proceso para la clasificación del grano, que va desde Premium hasta Tradicional según sea el % retenido en malla. (ISO, 1991).</p>

<p>Tostadora QuantiK Lab Sample Roaster TC – 150 /RG</p>		<p>Parámetros de la investigación: $\bar{Y} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ Tiempo = de 5 a 12 min. Peso de muestra = 100 g Tipo de flama $\bar{Y} = \#5$</p>
<p>Molino de café Kitchen Aid.</p>		<p>Referencia la Norma Técnica Colombiana NTC 3534.</p>
<p>Analizador Volumétrico VU – 80</p>		<p>Este equipo tiene la función de determinar la densidad del grano de café torrefactado ya sea en grano entero o molido. Norma Técnica Colombiana NTC 4084.</p>
<p>Colorímetro digital QuantiK IR – 800</p>		<p>Norma Técnica Colombiana NTC 2442</p>
<p>Colorímetro PCE-RGB (DIN 5033) marca Ibérica</p>		<p>Las medidas del valores RGB (Red, Green, Blue) y HLS (Hue, Lum, Sat) miden rangos o aproximaciones de color similares a las del ojo humano. Norma DIN 5033</p>
<p>Balanza analítica SARTORIOUS con aproximación de $\pm 0,01$ gr</p>		<p>Capacidad de 1.500 gr Precisión de $\pm 0,01$ g.</p>
<p>Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ gr</p>		<p>Capacidad de 1.200 gr Precisión de $\pm 0,001$ g.</p>
<p>Digestor de Kjeldahl - UDK 139</p>		<p>Método de referencia: AOAC, method 950.48</p>

<p>Bomba de recirculación de agua - JP</p>		<p>Auxiliar al digestor de Kjeldahl - UDK 139.</p>
<p>Scrubber – SMS</p>		<p>Auxiliar al digestor de Kjeldahl - UDK 139.</p>
<p>UDK 139 Unidad de destilación Kjeldahl Semiautomático</p>		<p>Método de referencia: AOAC, method 950.48</p>
<p>Extractor Soxhlet – SER 148</p>		<p>Técnica de Randall. Experimental station for oil and fat industries. (1998). Determinación del contenido de grasas. Method No 4. Milano, Italia.</p>
<p>Analizador de Fibra - FIWE Series</p>		<p>Method ADF (Acid Detergent Fiber) according Van Soest. & Norma COVENIN 430 – 82. Norma venezolana para café elaborado.</p>
<p>Refractómetro marca HANNA HI – 96811 Wine line.</p>		<p>Wine Refractometer. Medidas para sacarosa.</p>
<p>Agitador Vortex Genie II G – 560 Scientific industries, Inc.</p>		<p>Agitador de muestras de laboratorio.</p>

<p>Mufla Furnace 48000 THERMOLYNE marca Thermo Scientific</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad de Cámara en 1000 ° C: $\pm 2,2^\circ$ - Estabilidad de la cámara a 1000 ° C: $\pm 0,2^\circ$
<p>Agitador Magnético con Calentamiento Modelos CIMAREC Thermo Scientific</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Regulación electrónica de la velocidad: 60-1200 rpm. - Temperatura: hasta 540 ° C

2) Materiales.

Algunos de los materiales empleados fueron de vidrio y plásticos para el desarrollo de ésta investigación tanto en planta piloto como en el laboratorio de nutrición, además fueron empleados para pruebas de calidad y fisicoquímicas de la materia prima.

Tabla 23.

Material empleado en la investigación.

PLANTA PILOTO.	
Naturaleza del Material	
Acero Inoxidable	Plástico
Cucharas	Contenedores plásticos de 16 oz – 500 g
Escupideras	Bandejas porta muestras
Espátulas	Vasos plásticos de 7 oz
Porta muestras cilíndrico de la tostadora	Cajillas redondas porta muestras
Rallador manual	
LABORATORIO DE NUTRICION.	
Naturaleza del Material	
Vidrio	Plástico, Porcelana y Metal
Balones aforados de 25, 50, 100 y 500 ml	Capsulas de porcelana
Beakers de 100, 250, 600, 800 ml	Mortero de porcelana
Crisoles para digestión	Vasos con tapa de 4 oz plásticos
Crisoles para extracción etérea.	Contenedores de icopor con tapa de 16 oz
Crisoles para fibra	Pinzas para tubo de ensayo
Agitador de vidrio	Embudos de plástico
Vidrios de reloj	Soporte universal
Erlenmeyer de 50 y 250 ml	Pinzas para crisol
Pipetas 1, 5, 10 ml	Papel filtro Wathman # 4
Pipetas volumétricas de 1, 10 ml	
Bureta de 25 ml	
Probetas de 10, 25, 100 ml	
Tubos de ensayo	
Embudos de vidrio	
Recipientes de color ámbar	

APENDICE C.

METODOLOGÍA PARA LA EXPERIMENTACIÓN Y OBTENCION DE RESULTADOS EN LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CAFÉ DE ESTUDIO.

PRUEBAS FÍSICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

1. DENSIDAD APARENTE. (NTC 4084. Café tostado y molido. Método para la determinación de la densidad por compactación). (ICONTEC I. , 2005)

1.1- Equipos:

- a) Balanza
- b) Volúmetro compuesto de las siguientes partes:
 - Probeta de 250 ml y graduada con divisiones de 2 ml.
 - Soporte para la probeta con un punzón guía.
 - Leva que eleve el punzón de guía con el cilindro de medición de una vez cada rotación siendo su velocidad de rotación de $250 \text{ min}^{-1} \pm 15 \text{ mm}$.
 - Tope dispuesto de manera que el punzón de guía levantado caiga desde una altura de $3 \pm 0.1 \text{ mm}$.
 - Contador para contabilizar el número de vueltas de la levas.
 - Mango de material adecuado para obtener una guía sin rozamiento
- c) Estufa que alcance una temperatura de $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$
- d) Desecador

1.2- Preparación de la muestra:

- * Se procede a organizar las muestras en recipientes rotulados según el tiempo de torrefacción y tipo de zona de estudio. Inicialmente se registra el peso de las muestras en grano tostado entero y posteriormente se toman datos en grano molido de café.

1.3- Procedimiento:

- * En el equipo, se ajusta el volúmetro a 400 golpes.
- * Se adicionan a una probeta, previamente pesada, 250 ml ± 10 ml de la muestra de café.
- * Se ajusta la probeta en el volúmetro y se pone en funcionamiento éste.
- * Al finalizar los 400 golpes se lee el volumen final y se pasa la probeta más muestra. El peso de la muestra se calcula por la fórmula de densidad.
- * Se llevan a cabo tres determinaciones sobre la misma muestra.

1.4- Explicación del método en relación a la investigación.

MEDIDA DE DENSIDAD APARENTE. (NTC 4084. Café tostado y molido. Método para la determinación de la densidad por compactación). (ICONTEC I. , 2005)

La palabra “densidad aparente”, es la densidad global de una pluralidad de partículas, medida después de sedimentación por vibración. (Kirkpatrick, Gutwein, & Bertagna, 1991)

Ver (figura 23)

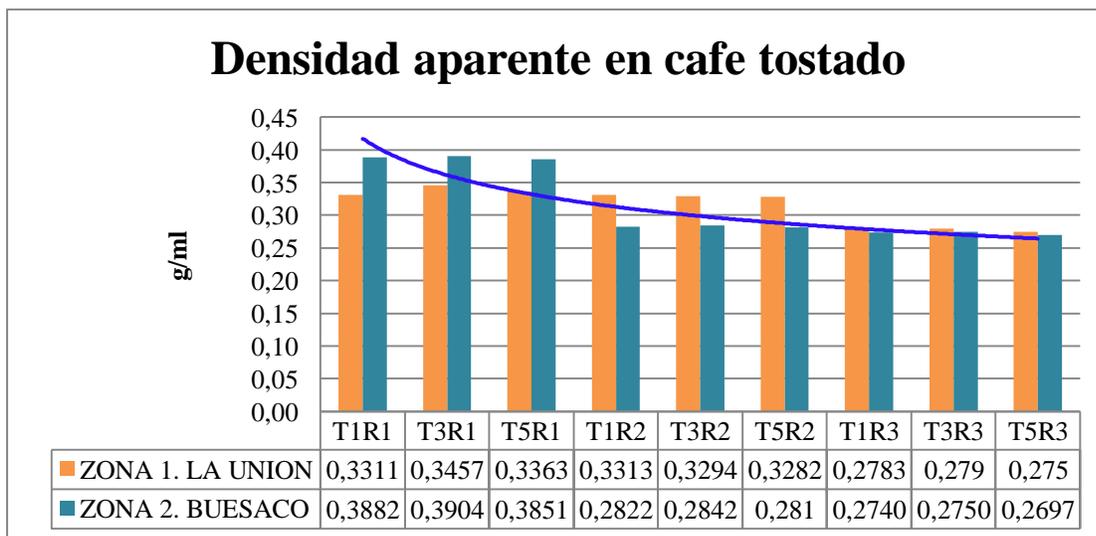


Figura 23. Densidad por compactación. NTC 4084. (ICONTEC I. , 1997)

Los granos de café tostados de ésta investigación, tienen una densidad aparente promedio en estado apisonado de 0,3138 g/ml en la zona 1 (La Unión – Nariño) y un promedio en estado apisonado de 0,3155 g/ml en la zona 2 (Buesaco – Nariño).

Dutra, E; Oliveira, L; Franca, A; Ferraz, V y Afonso, R. (2001) Explican en su estudio que existe una disminución significativa en la densidad de grano debido a su simultánea pérdida de peso y aumento de volumen, de igual forma Prieto (2002) en su estudio comprobó que la correlación entre la densidad aparente y temperatura deja como resultado una relación inversa entre éstas, ya que a medida que aumenta la temperatura la densidad disminuye, coincidiendo con los estudios de Dutra, et al. (2001).

Una relación semejante ocurre con la relación entre masa y volumen de los granos de café se asemejan a la cantidad de materia orgánica, textura y manejo de suelo que se dispuso en cada uno de los municipios en cuestión, ya que la relación entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa, afecta significativamente el desarrollo de la planta y por ende de los granos de café. (Vásquez, 2001).

Finalmente se demuestra que las condiciones ambientales a las que se someten los arbustos de cafeto son determinantes en la estructura física del grano verde de café; el peso promedio del grano de café de la zona 2: Buesaco es más denso y tiene una menor pérdida de humedad, mientras que el otro grano de café de la zona 1: La Unión es menos denso y presenta reducción de humedad en su estructura además de un tamaño pequeño en relación a los granos de la zona 2.

APENDICE D.

PRUEBAS FÍSICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

2. FRAGMENTACION DEL GRANO DE CAFE. (NTC 2441. Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Método para la determinación del tamaño de partícula). (ICONTEC I. , 1996)

Es una adaptación de la norma 2441 (Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Método para la determinación del tamaño de partícula). (ICONTEC I. , 1996) Consiste en separar en porciones el café tostado y molido de acuerdo con su tamaño de partícula, empleando tamices accionados por una tamización manual del investigador.

El criterio de selección de molienda se basó en la tabla 24.

Tabla 24.

Criterio de selección del café para cada grado de molienda.

Molienda	Diámetro promedio (μm)	Coefficiente de Uniformidad
Fina	425	> 3,8
Media	600	> 3,0
Gruesa	800	> 2,5

(Guevara & Castaño, 2005)

2.1- Equipos y materiales:

- Balanza analítica
- Tamices plásticos (empleados en uso de suelos) de referencia ME93477 con aberturas de: 500 μm (#35) y 2000 μm (#10) y una base retenedora de material orgánico.

2.2- Preparación de la muestra:

- * Se procede a organizar las muestras en recipientes rotulados según el tiempo de torrefacción y tipo de zona de estudio. Inicialmente se registra un peso de 50 gr de las muestras en grano tostado molido de café y se las adiciona a la pila de mallas en este orden: # 35 encima de #10 y base retenedora.

2.3- Procedimiento:

- * Cuando se tenga las mallas ajustadas con la muestra adicionada se procede a tamizar en movimientos horizontales por 10 minutos hasta conseguir un porcentaje en cada malla de materia retenida.
- * El peso de las muestras obtenidas, se destina a diferentes tipos de pruebas químicas teniendo en cuenta la cantidad de materia retenida en cada una de las mallas.
- * Registrar los datos.

APENDICE E.

PRUEBAS FÍSICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

3. COLORÍMETRO QUANTI K IR-800 Y COLORIMETRO PCE LIBÉRICA RGB / HSL.

3.1- Colorímetro QuantiK IR-800 (NTC 2442. Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Determinación del grado de tostación). (ICONTEC I. , 1998)

Esta norma específica un método para la determinación del grado de tostación en el café tostado en grano y tostado y molido.

3.1.1- Equipos y materiales:

- a) Colorímetro digital IR-800 marca QuantiK (Colorímetro con una legibilidad $\Delta L^* < 0.2$ en el rango de 620 nm a 950 nm)
- b) Muestras de café tostado y molido
- c) Rejilla enrasadora de porta muestras
- d) Porta muestras
- e) Espátula
- f) Discos de calibración negro (016) y rojo (-475)

3.1.2- Preparación de la muestra:

- * Se procede a organizar las muestras en recipientes rotulados según el tiempo de torrefacción y tipo de zona de estudio. En una caja rasadora se adiciona la muestra de café en las cajillas porta muestras y se las nivela de manera que queden precisas sin ajustar por presión manual.

3.1.3- Procedimiento:

- * Con el colorímetro digital IR-800 de la empresa QuantiK, se determinó el color cuantitativamente de las muestras de café sobre un rango de (-475) para rangos

luminosos y claros y (016) con rangos de luminosidad deficiente, valores similares al color negro. Éstas medidas son las de calibración del equipo y sus discos originales negro y rojo.

- * Con los discos de calibración se verifica que el equipo lea correctamente la reflectancia relativa de la muestra a analizar.
- * A continuación se introduce la cajilla porta muestras con la muestra de café tostado y molido debidamente enrasado y se cierra la compuerta del equipo y se lee el dato de reflectancia.
- * Hay que tener en cuenta que el equipo es de alta sensibilidad por lo que las muestras no deben sufrir de compactación o vibración ya que incide sobre las partículas de superficie causando una desviación de la luz de una manera apreciable.
- * Por lo general el dato reportado de reflectancia de luz se relaciona con el porcentaje de pérdida de peso obtenido en la tostación.
- * Registrar los datos obtenidos de la experimentación y realizar la gráfica de porcentaje de pérdida de peso vs reflectancia.

3.2- Colorímetro PCE Libérica RGB / HSL. (Deutsches Institut für Normung EV, 1983)

3.2.1- Equipos y materiales:

- a) Colorímetro digital PCE marca Libérica RGB / HSL.
- b) Muestras de café tostado y molido
- c) Base neutra de color blanco (hoja de papel)

3.2.2- Preparación de la muestra:

- * Se procede a organizar las muestras en recipientes rotulados según el tiempo de torrefacción y tipo de zona de estudio. En la base de color blanco (hoja de papel) se adiciona la muestra de café tostado y molido y se procede a realizar las tomas de datos de las muestras.

3.2.3- Procedimiento:

- * Con el colorímetro digital PCE Libérica RGB / HSL, se determinó sobre un área plana neutra (hoja de papel), bajo la acción del sensor del equipo las diferentes tonalidades de color de las muestras de café obtenidas en la torrefacción.
- * Las medidas del equipo se subdividen en dos rangos de color que son:
RGB = Red, Green, Blue; y HSL = Hue, Saturation, Luminance.
- * Las medidas de color HSL se aproximan a las tomadas por el ojo humano distinguiendo colores en comparación con los valores RGB.
- * Registrar los datos obtenidos de la experimentación en los tres campos de medición del color y pasarlos a un sistema de graficas sencillas que maneje rangos de color como los mencionados anteriormente.
- * Graficar las muestras obtenidas.

3.3- Explicación del método en relación a la investigación.

COLORIMETRÍA. En el trabajo realizado por Jiménez, Diezma, & Correa (2011), afirman que “el color es el parámetro más empleado para establecer el nivel de tostado del café, aspecto relevante en el momento de evaluar la calidad del producto final”.

Dentro de la intención objetiva y funcional del color se habla de dos vertientes. Una se refiere al color como signo de objetividad de algunas realidades; la otra forma de utilizar el color analíticamente es la que se refiere a la aplicación del mismo a las superficies de los objetos y formas funcionales que están en el entorno humano. (Anónimo, 2010c)

Cuando se habla del color de una manera objetiva, se entiende la cuantificación de variables que inciden sobre una muestra, es decir en el campo del color de ésta investigación la medición con la que se toma cuantitativamente el espectro de luz irradiada sobre las muestras de estudio se tiene por elemento el colorímetro QuantiK IR-800 (NTC 2442. Industrias agrícolas. Café tostado y molido. Determinación del grado de tostación) (ICONTEC I. , 1998) ya que las longitudes de onda que evoca se demuestran en la figura 24.

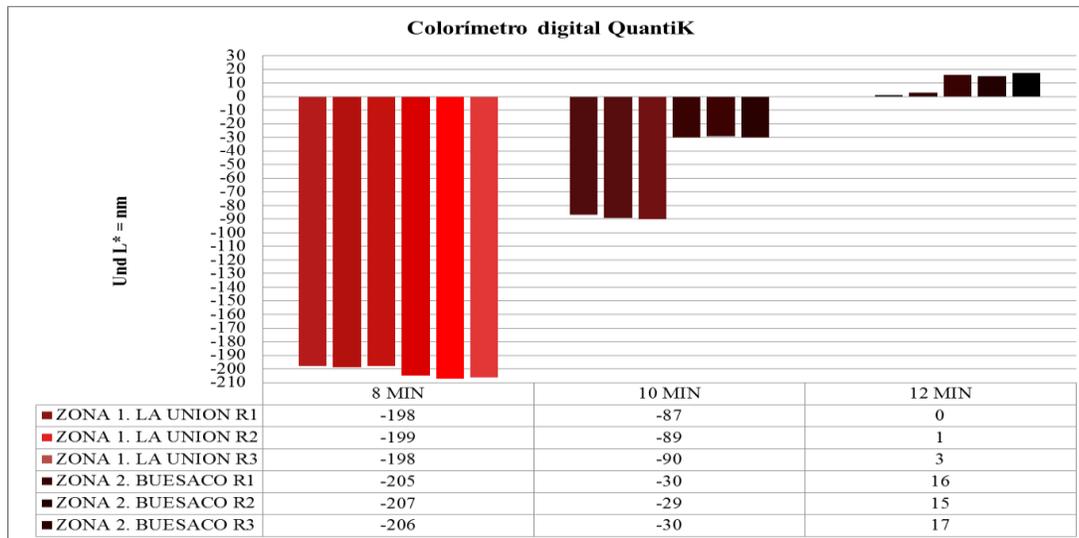


Figura 24. Campo espectral de color del colorímetro QuantiK.

El grado más elevado de saturación de la longitud de onda de la Zona 2 Replica 2 es de (- 207) realizada en 8 minutos, ya que ésta muestra represento el grado de mayor luminancia como la muestra más irradiada o clara de toda la sesión de muestras torrefactadas, debido a que mientras se va acercando al punto más iluminado, más clara se ve la muestra y es menor la temperatura que incidió sobre el grano de café. El conjunto de tonos de la figura 24 se tomó de acuerdo a la funcionalidad de los discos de calibración que son el rojo para muestras claras y el negro para muestras oscuras y sin brillo.

El contraste de lo anterior son las muestras de los 12 minutos como la de Zona 2 Replica 3 que posee un grado de color sin brillo más parecido al color negro del disco de calibración.

La relación del colorímetro RGB/HSL con las muestras es la siguiente:

- Cuando se habla de la visión analítica de las cosas se entiende por la aplicación de un sistema denominado “la visión del computador”. Hasta ahora, esta tecnología se ha aplicado a una amplia variedad de productos para la evaluación de la calidad, incluyendo manzanas (Lu, 2004), naranjas, patatas (Tao, Heinemann, Varghese, Morrow, & Sommer, 1995) y carne (Yoshikawa, y otros, 2000).

La visión del computador es un tema adoptado para autores como Chaoxin, et al, (2006) que afirman:

En la mayoría de los sistemas de visión por computador, la información o los datos extraídos de las imágenes tomadas de las muestras originales se obtiene a partir de los píxeles de las imágenes. Estos píxeles son los componentes básicos de las imágenes. Contienen dos grupos principales de información, su posición en las coordenadas que se asignan a las imágenes y el valor de brillo. Este último también se conoce como el color de las imágenes. En la mayoría de los sistemas informáticos, la información de color, representados por tres componentes de color (rojo, verde, azul), se almacena en el ahorro de la imagen. Por lo tanto, la información relativa al color de la imagen puede ser fácilmente extraído del sistema simplemente retirarse las imágenes almacenadas, si se requiere. (Chaoxin, Da Wen , & Liyun, 2006)

Para ésta investigación, la vista del computador se efectuó bajo el colorímetro digital PCE-RGB en las muestras de café tostado y molido tal como lo muestra la figura 25.

COLORIMETRO RGB / HSL						
8 MINUTOS		10 MINUTOS		12 MINUTOS		
REPLICAS ZONA 1	ZONA 1. R1 - 8 MINUTOS	ZONA 1. R1 - 10 MINUTOS	ZONA 1. R1 - 12 MINUTOS	ZONA 1. R2 - 8 MINUTOS	ZONA 1. R2 - 10 MINUTOS	ZONA 1. R2 - 12 MINUTOS
	ZONA 1. R2 - 8 MINUTOS	ZONA 1. R2 - 10 MINUTOS	ZONA 1. R2 - 12 MINUTOS	ZONA 1. R3 - 8 MINUTOS	ZONA 1. R3 - 10 MINUTOS	ZONA 1. R3 - 12 MINUTOS
	ZONA 1. R3 - 8 MINUTOS	ZONA 1. R3 - 10 MINUTOS	ZONA 1. R3 - 12 MINUTOS	ZONA 2. R1 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R1 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R1 - 12 MINUTOS
REPLICAS ZONA 2	ZONA 2. R1 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R1 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R1 - 12 MINUTOS	ZONA 2. R2 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R2 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R2 - 12 MINUTOS
	ZONA 2. R2 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R2 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R2 - 12 MINUTOS	ZONA 2. R3 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R3 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R3 - 12 MINUTOS
	ZONA 2. R3 - 8 MINUTOS	ZONA 2. R3 - 10 MINUTOS	ZONA 2. R3 - 12 MINUTOS			

Figura 25. Medición de color con el colorímetro digital PCE-RGB sobre las muestras de café

La función de los espectros de color RGB/HSL es asemejar la percepción de la vista del ser humano con la del computador, ya que cumple con las especificaciones de Matiz, saturación y Tinte. La gráfica anterior refleja la cantidad de cromatismo que tiene cada muestra tomada en diferente tiempo de tostión, por lo que las variaciones de color no son altamente significativas y van en sintonía a la percepción inicial de la muestra.

En cada replica hay una variación mínima del color debido al cambio del grado de claridad u oscuridad de un color en relación a otro, motivo por el cual se habla de una progresión que va desde colores brillantes (Replicas 1) a colores opacos (Replica 3). (Anónimo, 2010c).

En cuanto al procesamiento de la información de las medidas en RGB y HSL (Deutsches Institut für Normung EV, 1983) se tomó como referencia un programa simple para editar gráficos, como es la aplicación de Paint. Ésta aplicación posee las opciones anteriormente mencionadas y se puede establecer los parámetros de color según la cantidad tomada por el equipo PCE-RGB; la finalidad del equipo, es tomar valores de longitud de onda que las partículas emiten al aplicárseles una fuente de luz directa y así obtener datos fijos conforme lo haría la percepción humana dado el caso que se hiciere cuantificable.

APENDICE F.

PRUEBAS FÍSICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

4. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD. Método por determinación de pérdida de masa a 103°C. NTC 2558 (ICONTEC I. , 2000)

4.2- Equipos y materiales:

- a) Mufla eléctrica con estabilidad de la cámara a 1000 ° C: $\pm 0,2$ °C
- b) Balanza analítica.
- c) Muestras de café tostado y molido
- d) Cápsulas de porcelana con tapa
- e) Desecador de sílica gel.

4.3- Alistamiento de las cápsulas de porcelana.

- * Se lava y seca muy bien las cápsulas de porcelana durante una hora en la mufla a una temperatura regulada de 103°C, se retiran de la mufla y se colocan en el desecador hasta que estén completamente frías y se pesa cada cápsula con su tapa respectivamente. Se registra el dato como m0.

4.4- Preparación de la muestra:

- * Se procede a pesar 1 gramo de muestra de ensayo en la cápsula preparada y se cubre cada cápsula con su tapa y se registra el dato como m1.

4.5- Procedimiento:

- * Cuando se haya realizado los pasos 4.2 y 4.3 se procede a colocar las cápsulas de porcelana en la mufla con la cantidad de café tostado y molido pesado previamente, se lleva a la mufla durante 1 hora y 36 minutos $\pm 0,5$ h a una temperatura de 103 °C ± 1 °C.

- * Cuando haya pasado el tiempo requerido, se saca la cápsula tapada y se coloca dentro del desecador por 45 min. Al alcanzar la temperatura ambiente se pesa, con aproximación a 0,1 mg, la cápsula con el residuo y se registra como m2.
- * Realizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(m1 - m2)}{(m1 - m0)} \times 100$$

- * Se llevan a cabo tres determinaciones sobre la misma muestra de ensayo para evitar sesgos en la investigación. Registrar datos y resultados obtenidos.

4.6- Explicación del método en relación a la investigación.

PORCENTAJE DE HUMEDAD EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO. Método por determinación de pérdida de masa a 103°C. NTC 2558 (ICONTEC I. , 2000)

Este método se llevó a cabo por medio de la aplicabilidad de la NTC 2558 en la que se llevaron a cabo procesos de pérdida de humedad en café tostado y molido teniendo en cuenta variables anteriores de tiempo y temperatura para cada muestra, todo ello se llevó a una proporción menor tanto al peso como al tiempo dentro de la mufla.

Se adiciono 1 g de muestra a la mufla durante 24 minutos a una temperatura de 103°C a secar, y se obtuvieron los siguientes datos. (Figura 26)

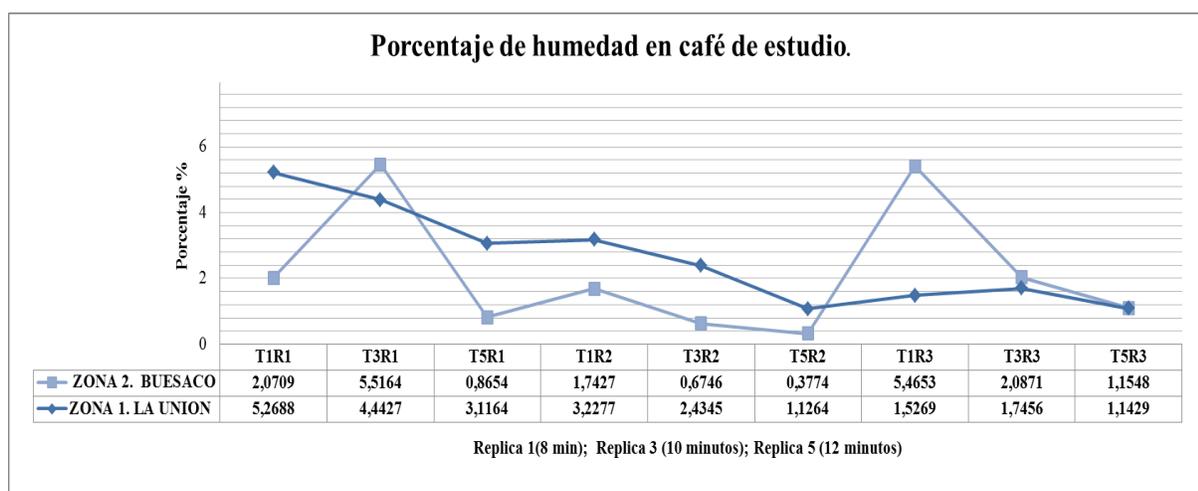


Figura 26. Contenido de humedad en café de estudio.

La figura anterior demuestra que el porcentaje de humedad final en las muestras de café tostado y molido, tienen una tendencia a la pérdida con mayor efecto en la zona 1, ya que las muestras eliminaron mayor cantidad de agua interna de los granos que las muestras de la zona 2.

Esto quiere decir que el porcentaje de humedad excedente que poseen los granos de café tras el tiempo de tostión es menor a la humedad inicial con la que ingresaron al tostador; Para el caso de tostiones 1, el contenido de agua en el grano es elevado mientras que para tostiones 3 y 5 los contenidos de humedad bajan progresivamente en tanto la temperatura se incrementa.

La relación humedad y temperatura tal como lo demuestra en los ensayos Prieto, (2002) “el comportamiento del porcentaje de humedad entre la humedad final y la humedad inicial es inversamente proporcional, ya que a medida que aumenta la temperatura el porcentaje de humedad disminuye”.

APENDICE G.

PRUEBAS FÍSICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

5. PÉRDIDA TOTAL DE PESO. Método adaptado de (Pittia, Nicoli, & Sacchetti , 2007)

La pérdida total de peso se expresa como: g/100 g.

5.1- Equipos y materiales:

- a) Balanza analítica.
- b) Muestras de café almendra.
- c) Recipientes plásticos rotulados y cronometro

5.2- Preparación de la muestra:

- * Se procede a pesar 100 gramos de muestra de ensayo y se la adiciona a la cánula del equipo, hasta que éste alcance una temperatura de 200°C.

5.3- Procedimiento:

Antes de iniciar el proceso de torrefacción se tienen en cuenta parámetros de temperatura como son: °Tp = Temperatura de precalentamiento, °Tm = Temperatura mínima, °Tc = Temperatura de crepitación y °Tf = Temperatura final.

- * Cuando se haya identificado las temperaturas anteriores, se pasa la muestra de la cánula al cilindro tostador y se observa una reducción de la temperatura inicial registrada que fueron 200°C. se reduce debido a que la masa que ingresa está a temperatura ambiente y esto incide sobre la temperatura alcanzada por el tostador.
- * Con el cronometro se toman tiempos aleatorios (8 min, 10 min y 12 min).
- * Cuando se cumpla el tiempo se pasa la muestra a una canastilla de enfriamiento hasta que se enfríe por completo y se la pasa a un recipiente rotulado con cantidad de minutos y tipo de réplica.
- * El porcentaje de pérdida de peso o merma se tiene de la siguiente fórmula:

$$\% Merma = \frac{\text{Peso de café verde} - \text{Peso de café tostado}}{\text{Peso de café verde}} \times 100$$

5.4- Explicación del método en relación a la investigación.

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO O MERMA. Método adaptado de (Pittia, Nicoli, & Sacchetti , 2007).

- La pérdida total de peso se expresa como: g/100 g.
- La pérdida de peso es una consecuencia de la evaporación de una gran parte de agua que se encuentra inicialmente en el grano de café verde. La merma oscila entre un 12% a 21% en Coffea Arábica. Esta pérdida no siempre se da por eliminación de agua, sino por evaporación de sustancias volátiles como producto de la pirolisis, la pérdida de la película plateada o estructuras de bajo peso molecular. (Riaño, 2010) (Figura 27).

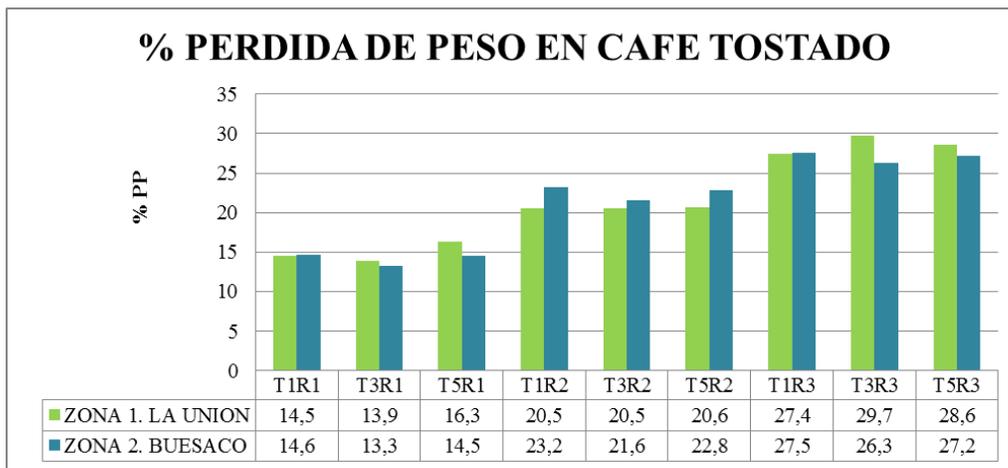


Figura 27. Porcentaje de Pérdida de peso o merma en café tostado.

En la gráfica anterior de porcentaje de pérdida de peso, se obtuvo que la zona 1 perdió mucho más del 21% en materia, especialmente en la tercera replica, ya que de debió a que el equipo podría haberse descalibrado y manejar temperaturas mayores a las programadas para esta investigación.

Esta propiedad está ligada directamente con el contenido de humedad y el color en el café, ya que a medida que se evapora el contenido de humedad de los granos de café, también se va incrementando su tamaño y oscureciendo su color dando paso a la producción de aceites y otras sustancias volátiles. (Prieto, 2002)

APENDICE H.

METODOLOGÍA PARA LA EXPERIMENTACIÓN Y OBTENCION DE RESULTADOS EN LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ DE ESTUDIO.

PRUEBAS QUÍMICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

1. PRUEBA DE DIGESTIÓN.

La prueba de digestión se determinó bajo el Método de referencia: AOAC, method 950.48 referente a Pruebas de digestión para cacahuates y nueces del Brasil de la siguiente manera:

1.1. Materiales:

- a) Muestras de café de estudio
- b) Soporte universal
- c) Pinzas de laboratorio con dobles nueces
- d) Bureta de 25 ml
- e) Agitador magnético
- f) Erlenmeyer de 250 ml (9 und)
- g) Vaso Precipitado de 600 ml
- h) Espátula metálica
- i) Pinzas metálicas para crisol
- j) Crisoles de digestión
- k) Papel blanco
- l) Toallas de papel desechables

1.2. Equipos:

- a) Bomba de recirculación de agua - JP
- b) Digestor de Kjeldahl - UDK 139
- c) Scrubber – SMS
- d) UDK 139 Unidad de destilación Kjeldahl Semiautomático

- e) Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ gr
- f) Agitador Magnético con Calentamiento Modelos CIMAREC Thermo Scientific

1.3. Reactivos:

- a) Catalizador Kjeldahl con titanio marca Chemi.
- b) Reactivo de ácido bórico al 4%
- c) Hidróxido de sodio al 30%
- d) Hidróxido de sodio al 32%
- e) Ácido sulfúrico concentrado 95 – 98% (PRS – CODEX) Marca Panreac.
- f) Sulfato de amonio marca
- g) Ácido clorhídrico al 0.2 N
- h) Indicador de Taschiro
- i) Agua destilada

1.4. Preparación o alistamiento de la muestra

Se toman aproximadamente 0,8 gramos de las muestras de café de estudio muy pulverizadas de manera que la partícula tenga un diámetro promedio de 425 μm de manera que se pueda extraer la mayor cantidad de nitrógeno y de una manera uniforme. En un tamiz de apertura fina (tamiz #10-UNAD) se zarandea la muestra de café hasta alcanzar un contenido fino de la misma y se almacena hasta su uso. (Guevara & Castaño, 2005)

Cuando se haya tenido el material fino de las muestras, en los crisoles de digestión se rotulan el Blanco, el Estándar, y las muestras de café como Z1V1R1, Z1T1R1, Z1T3R1, Z1T5R1, donde Z = Zona; V = Verde; T = Tostado; R = Replica y # 1,2,3, n... = Número de Replicas que se va a realizar en cada digestión. Cabe mencionar que V1 = Muestra de café Verde; T1 = 8 minutos; T3 = 10 minutos; T5 = 12 minutos. Para el estudio, se van a realizar exactamente se 24 en total de ambas zonas para las corridas de digestión.

El equipo de digestión tiene una capacidad de 6 crisoles, por ellos en cada uno de ellos se adicionan los siguientes pesos:

- **Tubo 1 Blanco:** 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado.
- **Tubo 2 Estándar:** 0,8001 g de sulfato de amonio + 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado 98%
- **Tubo 3 Z1V1R1:** 0,8001 g apróx. de muestra V1 + 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado 98%
- **Tubo 4 Z1T1R1:** 0,8001 g apróx. de muestra T1 + 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado 98%
- **Tubo 5 Z1T3R1:** 0,8001 g apróx. de muestra T3 + 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado 98%
- **Tubo 6 Z1T5R1:** 0,8001 g apróx. de muestra T5 + 5,0304 g de Catalizador de Kjeldahl + 12 ml de Ácido Sulfúrico concentrado 98%

1.5. Alistamiento de los reactivos.

* **Hidróxido de sodio al 30%**

Para la preparación de 1 litro de hidróxido de sodio al 30% se tiene por regla de tres el peso del Hidróxido de sodio en lentejas es de 30 g en 1 litro de agua destilada. Ésta preparación es para la reserva del equipo de digestión de Kjeldahl.

* **Hidróxido de sodio al 32%.**

Para la preparación de 4 litros de hidróxido de sodio al 32% se tiene por regla de tres el peso del Hidróxido de sodio en lentejas es de 128 g en 4 litros de agua destilada. Ésta preparación es para la reserva del equipo de destilación semiautomático de Kjeldahl.

* **Ácido Clorhídrico (HCl) al 0.2 N.**

Se toma el peso atómico de la fórmula: HCl

$$H = 1$$

$$Cl = 35.5$$

$$\sum HCl = 36.5 g$$

Aplicando la fórmula de la normalidad se tiene:

$$\frac{0.2 \text{ Eq} \cdot \text{g}}{\rho} \times \frac{36.5 \text{ g}}{1 \text{ Eq} \cdot \text{g}} \times 1 = 7.3 \text{ g}$$

Si 37 g representan el 100%

7.3 g cuanto representa X

$$X = 19.72 \text{ g}$$

Aplicando la fórmula de densidad:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{19.72 \text{ g}}{1.19 \text{ g/ml}} = 16.57 \text{ ml de HCl}$$

Por diferenciación se tiene: 1000 ml agua destilada – 16.57 ml de HCl = 983.42 ml de agua destilada.

* **Ácido Bórico 4%.**

Para ésta preparación se tiene como volumen a emplear 2 litros para el análisis de las muestras.

Por regla de tres se tiene que:

4g de Ac. Bórico para 100 ml

X (g) para 2.000 ml de agua destilada

El resultado es 80 g de Ácido Bórico grado analítico para 2 litros de agua destilada.

* **Indicador de Taschiro.**

Se pesa 0.1 g de rojo de metilo y se afora con etanol al 98% en un matraz de aforo de 100 ml.

Se pesa 0.1 g de azul de metileno y se afora con etanol al 98% en un matraz de aforo de 100 ml.

Luego se juntas las dos soluciones en relación 2:1 100 ml de rojo y 50 ml de Azul. (IDAL, 2011).

1.6. Digestión de la muestra:

- * Inicialmente se precalienta el equipo de digestión a una temperatura de 25 ° C – 40° C y se ajusta que el flujo de salida de agua sea constante, se enciende la bomba de recirculación a un burbujeo lento # 1 o # 2 propio del equipo.
- * Cuando se haya verificado éste paso, se adicionan los tubos de vidrio del equipo en cada uno de sus compartimentos y se tapan rápidamente antes de que se empiece a calentar la muestra con el ácido sulfúrico concentrado y haya una emisión de gases ácidos como el óxido sulfuroso y el óxido sulfúrico y las consecuencias que eso conrae.
- * En el equipo de digestión se programa 60 minutos para las muestras de café en un solo set point a 420° C.
- * Al trascurrir el tiempo, el equipo al finalizar el proceso deja de funcionar y se inactiva reduciendo así la temperatura, lo que demuestra que las muestras han sido digeridas por completo y su coloración da un tono verde claro o verde esmeralda que es donde se encuentra el amonio concentrado obtenido de la muestra orgánica. Ver figura 1.
- * Cuando se obtenga esa coloración se procede a dejar enfriar hasta alcanzar una temperatura de 100° C a 150° C para evitar que la muestra sobresalte sobre y cause daños al investigador y el equipo.
- * Cuando se alcance esta temperatura, en la unidad de destilación Kjeldahl Semiautomático se programa en el equipo 50 ml de agua destilada y 80.3 ml de hidróxido de sodio al 32%.
- * Aparte en un Erlenmeyer de 250 ml de adiciona 30 ml de ácido bórico al 4% y 3 gotas de indicador de Taschiro y dará como resultado una coloración rosa. Ver figura 29.
- * Cuando se tenga todo listo en la unidad de destilación se procede a obtener 120 ml apróx. de dicha solución. El resultado será una solución de color azul claro. Ver figura 30.

1.7. Titulación de la muestra.

- * Si se cuenta con un dispositivo dispensador de HCL automático, se regula hasta alcanzar su máxima capacidad y se titula con HCl al 0.2 N y se registra la cantidad de ácido gastado para cambiar a coloración rosa.
- * Si no se cuenta con el dispositivo dispensador de HCL automático, entonces se monta una estructura con el soporte universal y las pinzas de laboratorio con doubles nueces y una bureta de 25 ml donde se adicionará el HCl al 0.2 N para la titulación. Registrar el volumen gastado para cálculos posteriores. Ver figura 28.



Figura 28. Materia orgánica obtenida de la digestión.



Figura 29. Solución de valoración de la muestra.

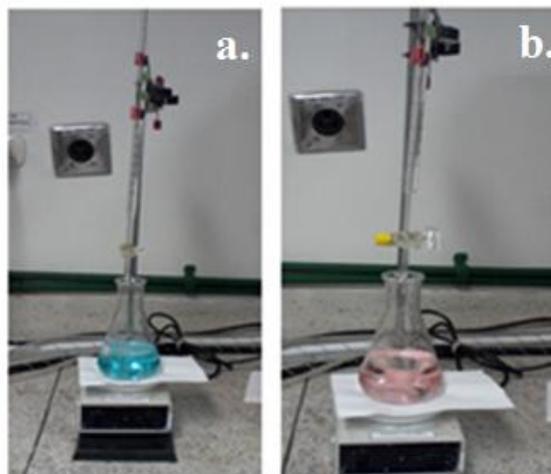


Figura 30. (a.) Muestra obtenida después de la destilación y (b.) muestra valorada con ácido clorhídrico

1.8. Explicación del método en relación a la investigación.

PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA. Las proteínas constituyen un 11% a 13% en café verde (Coffea Arábica) y un 13% a 15% en café tostado (Coffea Arábica). (Cliford M. , 1985).

En la figura 31 se puede apreciar la relación aparente entre la temperatura sobre los compuestos del café (proteínas, lípidos y carbohidratos), ya que según estudios de Prieto (2002) a medida que se logra alcanzar una temperatura promedio de 180°C se empiezan a descomponer los componentes principales del café, dando una coloración marrón debido a la caramelización de los azúcares. Cuando se ha alcanzado el rompimiento de la estructura celular de los granos debido a la crepitación de los mismos, se empieza a percibir el aroma y ciertos humos que indican que se ha alcanzado el punto máximo de las reacciones exotérmicas (absorción de energía) del café.

La correlación entre éstas no logra sobrepasar los límites sustentados en la teoría, porque manejan un mismo perfil de cosecha, es decir, los suelos donde fueron plantadas las muestras de estudio, poseen un mismo material orgánico como es el Nitrógeno proveniente y producido por tierras de origen volcánico.

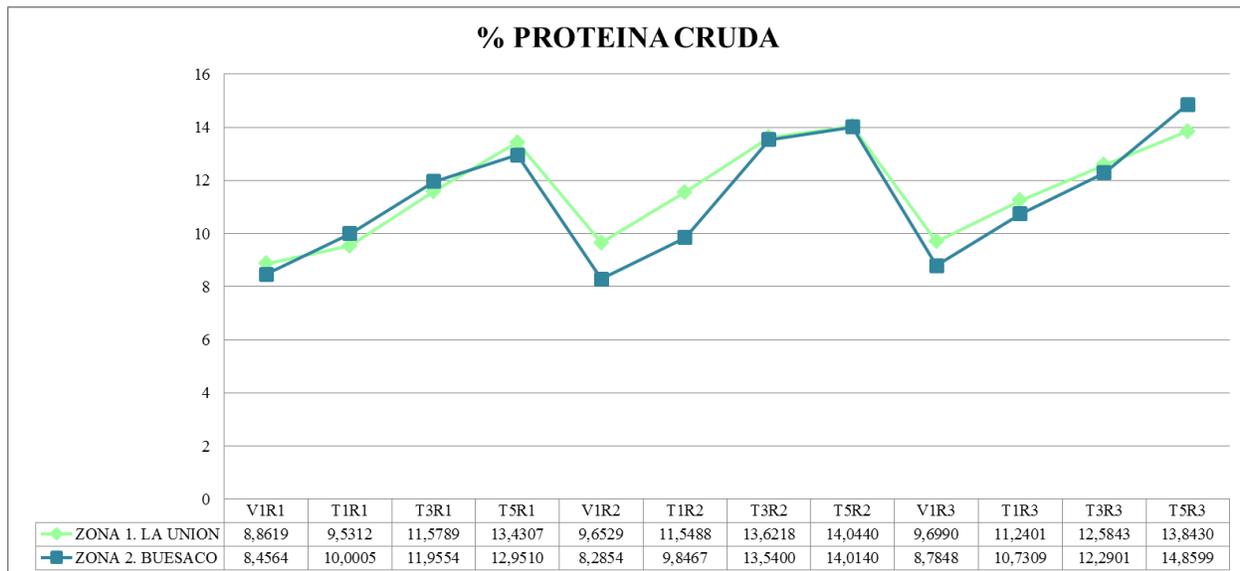


Figura 31. Porcentaje de Proteína Cruda.

Cliford (1985) sustentó que la cantidad de contenido proteico en café verde tipo arábica está en un rango de 11% a 13% y en café tostado es del 13% a 15%. Si se observa los datos finales de la experimentación, cabe mencionar que hay una opción no prevista como: la cantidad de proteína en café verde no se ajusta al contenido reportado por la tabla 10, debido a que dentro de la experimentación hubo un cambio en la multiplicación del factor que para este estudio fue de 5,18 (aplicado para almendras y nueces) y no de 6,25 que funciona para la mayoría de vegetales y algunas carnes.

Poisson en (1975) reportó que las proteínas verdaderas en el café figuran en el rango de 8,7% - 9,7% (base seca). (Riaño, 2010)

APENDICE I.

PRUEBAS QUÍMICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

2. PRUEBA DE EXTRACTO ETÉREO. CANTIDAD DE LÍPIDOS.

La prueba de extracto etéreo se determinó bajo el Método de referencia: Técnica de Randall. Experimental Station for Oil and Fat Industries. (1998). Referente a Pruebas de extracción de lípidos para determinación del contenido de grasas en nueces, almendras y avellanas. Method No 4. Milano, Italia. (pág. 30)

2.1. Materiales:

- a) Muestras de café de estudio
- b) Crisoles de vidrio propios del equipo.
- c) Espátula metálica
- d) Pinzas metálicas para crisol
- e) Dedales de celulosa.
- f) Desecador silica gel
- g) Toallas de papel desechables

2.2. Equipos:

- a) Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ gr
- b) Extractor Soxhlet – SER 148
- c) Mufla Furnace 48000 THERMOLYNE marca Thermo Scientific

2.3. Reactivos:

- a) Éter de petróleo marca Sigma – Aldrich
- b) Acetona marca SIGMA – ALDRICH

2.4. Preparación o alistamiento de la muestra

La preparación de la muestra consta de pesar 1 gramo de muestra y adicionar la muestra a los dedales de celulosa propios del equipo. Registrar el peso para cálculos posteriores.

2.5. Digestión de la muestra:

- * Una vez tomados los pesos de cada muestra y adicionadas a los dedales de celulosa, se acondiciona cada dedal dentro del equipo de tal manera que quede ajustado a él.
- * Aparte, en los crisoles vacíos, limpios y secos, se adicionaron 70 ml de éter de petróleo de manera rápida para evitar su evaporación.
- * Se adecuan en el equipo y se ajustan antes de empezar la extracción de lípidos.
- * Antes de realizar el proceso, debe asegurarse de abrir el flujo de agua y se calibrar el tiempo de extracción etérea por medio del método referenciado y la muestra a extraer.
- * Hay que tener precaución con el punto de ignición del solvente, que en éste caso es éter de petróleo (110°C) para no sobrepasar los límites recomendados.
- * El equipo opera cuatro opciones de manejo que son temperatura, inmersión, lavado y recuperación. Después del tiempo de recuperación se espera a que el crisol este a temperatura ambiente y si aún hay residuos de solvente, se evapora en una plancha de calentamiento bajo una campana de extracción de gases hasta que éste desaparezca por completo. Ver figura 32.
- * La muestra reducida de lípidos restante en los dedales de celulosa, se deja secar en el desecador y se la guarda para la determinación del porcentaje de fibra.
- * Poner los crisoles al desecador y esperar que éstos enfríen por completo y registrar el peso con la muestra extraída.
- * La fórmula para esta extracción es:

$$Fat \% = \frac{g \text{ of extract}}{g \text{ of sample}} \times 100$$

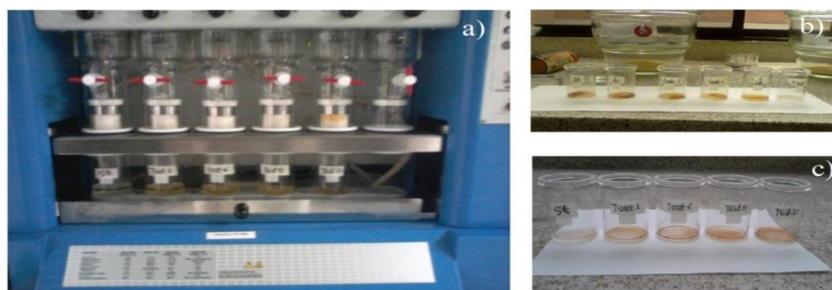


Figura 32. a) El proceso de extracción de lípidos de las muestras de café en el Extractor Soxhlet – SER 148; b) Cantidad de lípidos de la zona 1. La Unión – Nariño; c) Cantidad de lípidos de la zona 2. Buesaco – Nariño

2.6. Explicación del método en relación a la investigación.

PORCENTAJE DE LÍPIDOS EN EL CAFÉ TOSTADO. Los lípidos se encuentran en el endospermo⁸ en los granos de café. El aceite es considerado un vehículo para el aroma del café tostado. La literatura reporta que la especie (*Coffea Arábica*) posee entre un 12% a 18% de lípidos en granos verdes y un 14,5% a 20% en café tostado. (Bolívar, 2009).

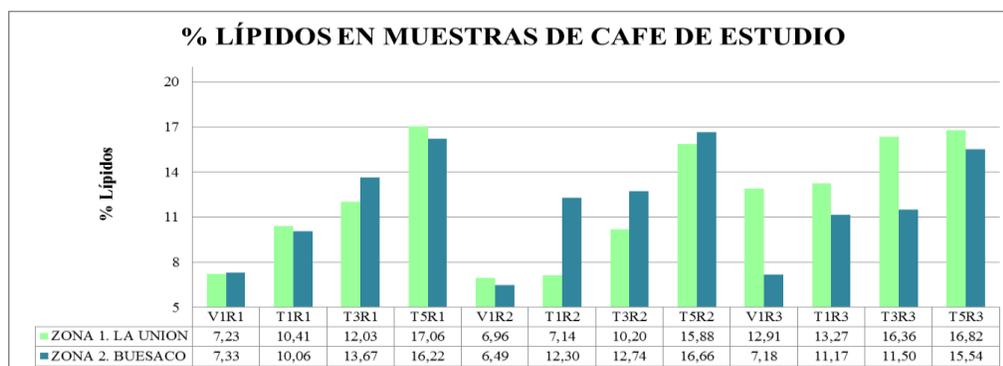


Figura 33. Porcentaje de Lípidos en el café tostado

- La cantidad de aceites obtenidos en esta práctica, son datos aproximados según la información suministrada en la literatura, es decir, la cantidad de lípidos obtenidos por la experimentación son directamente proporcionales a la temperatura y al tiempo de tostación.
- A medida que se incrementa el tiempo de tostión a una determinada temperatura, el grano expande su tamaño, eliminando humedad y produciendo ácidos grasos además de compuestos volátiles, que le dan esa estructura oleosa al final del proceso.
- El grano verde o crudo también posee un bajo nivel de lípidos aun sin pasar por el proceso de torrefacción, por ende, en los estudios realizados por (Clarke, 2003); (Cliford M. , 1985); (Folstar, 1985) señala que hay una existencia de lípidos en un 12% a 18% en granos de café arábica; el contenido obtenido por la experimentación con las muestras de café de las zonas de Nariño, expusieron una cantidad menor de aceites a la reportada por la literatura dando aproximaciones menores en la cantidad obtenida al final de la experimentación.

⁸ Pequeña cantidad de cera localizada en las capas externas del grano.

- Como se observa en la figura 33, los datos experimentales de lípidos en café tostado de la zona 2 son relativamente menores a los de la zona 1, todo ello debido a la influencia de los factores agroclimáticos mencionados en el numeral 1.4. lo que permite conocer la susceptibilidad a las temperaturas de tostión y encapsular las grasas dentro del endospermo sin que emerja todo su potencial oleaginoso.

APENDICE J.

PRUEBAS QUÍMICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

3. PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA.

La prueba de determinación del porcentaje de fibra se realizó bajo el acondicionamiento de dos métodos de referencia: **1.** Method de Van Soest P.J. & Robertson J.B., (1979). Systems of analysis evaluating fibrous feeds. Determination of acid detergent lignin. Cornell University – Ithaca, N.Y. y **2.** Norma COVENIN 430 – 82. Norma venezolana para café elaborado.

3.1. Materiales:

- a) Muestras de café de estudio
- b) Crisoles de vidrio propios del equipo.
- c) Espátula metálica
- d) Pinzas metálicas para crisol
- e) Probetas de 25 ml y 50 ml
- f) Matraz aforado de 1000 ml
- g) Desecador de silica gel
- h) Toallas de papel desechables

3.2. Equipos:

- a) Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ g
- b) Mufla Furnace 48000 THERMOLYNE marca Thermo Scientific
- c) Analizador de Fibra - FIWE Series

3.3. Reactivos:

- a) Acetona 50%
- b) SDA. Solución Detergente Acida.
- c) Alcohol octílico

3.4. Preparación o alistamiento de la muestra

La preparación de la muestra consta de pesar 1 gramo de muestra y adicionar la muestra a los crisoles porosos propios del equipo.

Registrar el peso para cálculos posteriores.

3.5. Preparación de reactivos.

* Acetona al 50%

La medición de acetona es una relación v/v y se tiene un volumen de 500 ml de acetona se diluye en 500 ml de agua destilada, hasta lograr un volumen final de 1000 ml.

* Solución Detergente Acida al 1%.

- H_2SO_4 1N
- 20 g de N-Cetil-N, N, N-Trimetilamonio Bromuro.

H_2SO_4 al 1N para 1 litro.

$$N = \frac{\# \text{ de Eq} \cdot g \text{ soluto}}{1 \text{ Litro solución}}$$

Se tiene que:

- $\rho = 1.84 \text{ g/ml}$
- Pureza $H_2SO_4 = 96\%$

$$H_2SO_4 = \begin{array}{l} H = 1 \times 2 = 2 \\ S = 1 \times 32 = 32 \\ O = 16 \times 4 = 64 \\ \hline = 98 \text{ g} \end{array}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$Eq \cdot g = \frac{PM}{H^+} = \frac{98 \text{ g}}{2} = 49 \text{ g}$$

$$N = \frac{1 \text{ Eq} \cdot g}{1\rho} \times \frac{49 g}{1 \text{ Eq} \cdot g} \times 1\rho = 49 g$$

Si 96 g es para 100 ml

49 g es X

$$X = 51.04 \text{ ml}$$

$$\frac{51.04 \text{ ml}}{1.84 \rho} = 27.74 \text{ ml de } H_2SO_4$$

Se completa el volumen hasta alcanzar 1 litro de solución, por lo tanto son: 27.74 ml de H_2SO_4 y 72.26 ml de agua destilada.

3.6. Alistamiento de la muestra.

El alistamiento de la muestra ocurre al pesar el extracto seco de los dedales de la prueba de extracto etéreo, ya que según los métodos de referencia, la prueba de porcentaje de fibra cruda requiere de una muestra a la que se le haya retirado el 80% de lípidos y así no haya alteración en los resultados finales.

Una vez se tenga el peso exacto de las muestras, se pasa cada muestra al crisol poroso el cual se va a colocar cuidadosamente en el equipo verificando que encaje perfectamente en los orificios propios del equipo. Cuando se haya verificado su ingreso se baja la palanca de ajuste del equipo y se procede a adicionar los reactivos. Ver figura 34.

3.7. Digestión de la muestra:

- * Cuando se haya realizado el proceso anterior de adecuación de la muestra se procede a la adición de 100 ml de SDA caliente y 4 gotas de n-Octanol.
- * Se debe asegurar que haya paso de agua a través del condensador de reflujo del equipo.
- * En el equipo se programa un tiempo de calentamiento inicial de 10 minutos en la opción 4 de la perilla de temperatura y el tiempo restante (50 min) a ebullición en la opción 10 de la perilla hasta alcanzar la temperatura máxima del equipo.

- * Dejar en recirculación la muestra en la solución acida y esperar que el equipo anuncie el fin de la operación. Ver figura 35.
- * Al Terminar la recirculación, se debe bajar por completo la temperatura y filtrar el contenido de muestra consumido y se procede a lavar 3 veces con alícuotas de 50 ml de agua caliente y luego 2 alícuotas de 50 ml de acetona fría al 50%. Ver figura 36.
- * Luego se seca la muestra durante 2 horas a 105°C y se las pasa a un desecador. Ver figura 37.
- * Se pesa la muestra seca.
- * Para calcular la cantidad de fibra cruda en el café, se toman la materia seca extraida y se la somete a cenizas, a una temperatura de 550°C por 30 minutos. Ver figura 38.
- * Calcular.

$$\% \text{ ADL} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{Peso del residuo})}{(\text{Peso del crisol} + \text{Peso de la muestra})} \times 100$$

$$\% \text{ Ash (Ceniza)} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{Peso del residuo})}{(\text{Peso del crisol} + \text{Peso de la muestra})} \times 100$$



Figura 34. Alistamiento de las muestras en el equipo.



Figura 35. Recirculación de la muestra en S.D.A.



Figura 36. Evacuación de S.D.A. en el proceso de extracción de fibra cruda en las muestras de café de estudio.

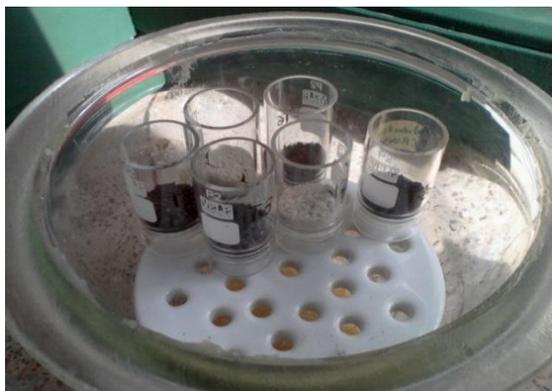


Figura 37. Crisoles de fibra con muestras de café obtenidas tras el proceso de filtración.



Figura 38. Cantidad de ceniza obtenida tras una elevada temperatura en el café.

3.8. Explicación del método en relación a la investigación.

PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA. El proceso de extracción de fibra cruda se dio por la invención de Van Soest (1963) que solucionó el problema de los residuos de proteína mediante la inclusión de un detergente (bromuro de cetil trimetil amonio, CIAB) en medio ácido (H_2SO_4). Este método es referido como el método de fibra detergente ácida (FDA) que se aplica en función de una muestra desgrasada después de la ebullición con soluciones diluidas de álcalis fuertes y ácidos minerales. (AOAC, 1993)

En la experimentación se obtuvieron datos relativos a la mencionada por la literatura, ya que la fibra cruda como tal, se encuentra en el cisco del café comúnmente llamado como pergamino, siendo éste una excelente fuente de celulosa, lignina, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción. (Riaño, 2010)

Por ello, se trató de determinar el contenido total de fibra en muestras de café verde y torrefactado en cuanto al contenido de lignina obtenido de la incineración de la muestra a $550^{\circ}C$ de celulosa. Los valores son poco significativos ya que dan valores menores de 1% para ambas zonas de estudio.

No podría considerarse una fuente excelente de lignina en el caso de café verde, ya que las fibras se encuentran covalentemente unidas a la celulosa y otros polisacáridos. Los datos reportados en ésta investigación son de baja significancia aunque cabe demostrar que el método de determinación de fibras por Solución Detergente Acida dio como resultado valores proximales al 1% en la borra del café, haciendo cuantificable éste tipo de fibras en el café verde como tostado para ambas zonas 1 y 2. (Figura 39)

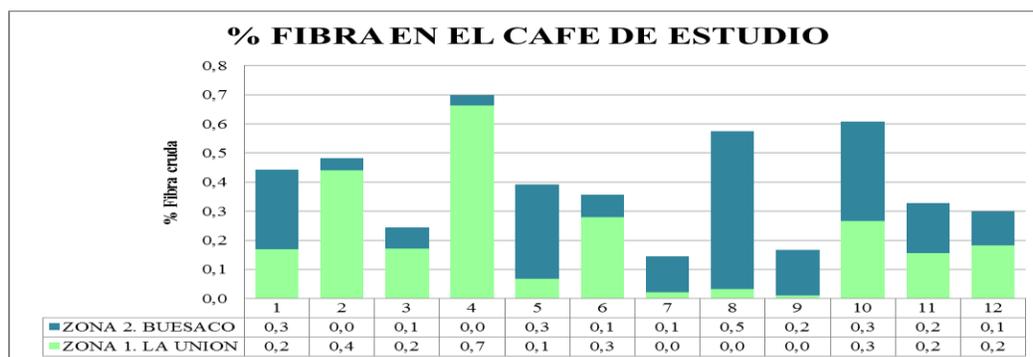


Figura 39. Porcentaje de Fibra cruda. Determinación de lignina por medio de Soluciones acidas.

La estimación de los datos obtenidos anteriormente son consecuencia las proporciones menores de la celulosa y lignina encontrada en el alimento (café verde y tostado) solubilizado a través de las proteínas intracelulares, que liberan la fibra insoluble al detergente y la hacen cuantificable en la experimentación. (AOAC, 1993)

APENDICE K.**PRUEBAS QUÍMICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.****4. ACIDEZ TITULABLE.**

La prueba de determinación de acidez titulable se realizó bajo el método de referencia: Norma A.O.A.C. 920.92. Acidity (total) of roasted Coffee.

4.1. Materiales:

- a) Muestras de café de estudio
- b) Espátula metálica
- c) Probetas de 25 ml, 50 ml y 100 ml
- d) Erlenmeyer de 250 ml
- e) Desecador de silica gel
- f) Papel filtro whatman 4
- g) Vaso de precipitado de 500 ml y 1000 ml.
- h) Balón aforado de 100 ml
- i) Toallas de papel desechables

4.2. Equipos:

- a) Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ g
- b) Mufla Furnace 48000 THERMOLYNE marca Thermo Scientific

4.3. Reactivos:

- a) Hidróxido de sodio 0,1 mol/L
- b) Biftalato de Potasio marca PANREAC.

4.4. Preparación o alistamiento de la muestra

Si el café es en grano se debe moler y obtener la muestra de café molido en grado de molienda media de acuerdo a los parámetros de la NTC 3566. Se debe mezclar y homogeneizar la muestra de laboratorio para obtener la porción de ensayo.

4.5. Preparación de reactivos.

* Hidróxido de sodio 0,1 mol/L

Para la preparación de 100 ml de hidróxido de sodio 0,1 mol/l se pesan 0,4 g de hidróxido de sodio, se disuelven en un vaso de precipitados completamente en 50 ml de agua destilada y se lleva a un volumen de 100 ml en un balón aforado.

- Valoración del hidróxido de sodio con Biftalato de potasio.

Para valorar la solución de hidróxido de sodio se deben pesar aproximadamente 0,15 g de Biftalato de potasio, se debe conocer el valor exacto del Biftalato de potasio pesado.

Luego se disuelven en 100 ml de agua y se titula potenciométricamente con el hidróxido de sodio preparado, agregando sucesivamente volúmenes de 0,1 ml, hasta el primer punto en que el pH sea superior a 7, ese será el punto de equivalencia; se observa el volumen en este punto y se realizan los cálculos como se muestran en el ejemplo a continuación. Peso de Biftalato de potasio: 0,1523 g Volumen de hidróxido de sodio para llegar al punto de equivalencia: 6,8 ml La concentración exacta del hidróxido de sodio será:

$$\frac{(0,1523 \text{ g} \times 1000)}{(6,8 \text{ ml} \times 204,22 \text{ g/mol})} = 0,110 \text{ mol/Lt}$$

La concentración exacta del hidróxido de sodio es 0,110 mol/l, los valores 1.000 y 204,22 son constantes, el primero depende del factor de dilución, y el otro es el peso molecular del Biftalato de potasio.

4.6. Calibración del potenciómetro

El potenciómetro debe ser calibrado, utilizando patrones de pH de 4,00 y 7,00; según las instrucciones del numeral 1. Medición de pH.

4.7. Método de extracción

En un Erlenmeyer de 250 ml se colocan 5 g pesados con aproximación al 0,01 g de café tostado y molido con 100 ml de agua a 90 °C, se agita durante 3 min, se filtra inmediatamente sobre el papel filtro cualitativo, se lava 3 veces el Erlenmeyer y el papel filtro con alícuotas de 5 ml de agua destilada; el extracto se lleva a un volumen de 100 ml en un balón aforado; el sistema debe estar a temperatura de 25 °C

4.8. Titulación

En un vaso de precipitados se agregan 50 ml del extracto del café obtenido, con una pipeta volumétrica, se agita magnéticamente y se coloca el electrodo del potenciómetro previamente calibrado, se titula potenciométricamente con el hidróxido de sodio valorado, agregando volúmenes de 0,1 ml hasta el primer punto en que el pH llegue a 6,5, este será el punto de equivalencia, se lee el volumen de hidróxido de sodio gastado para llegar a este punto, este será el volumen de equivalencia.

4.9. Expresión de resultados

La acidez de la muestra se expresa en mg de ácido Clorogénico en 1 g de café. Para obtener el contenido de acidez de la muestra se realizan los siguientes cálculos:

- * Gramos de café exactamente pesados
- * Volumen de hidróxido de sodio en el punto de equivalencia (pH 6.5)
- * Concentración del hidróxido de sodio: mol/l

Acidez química titulable de la muestra de café =

$$\frac{3,5 \text{ ml} \times 0,110 \text{ mol/L} \times 2 \times 354,31 \text{ gr/mol} \times 1\text{L}/1000 \text{ ml} \times 1000 \text{ mg}/1 \text{ gr}}{5,05 \text{ gr}} = 54,02 \text{ mg ac. chlog.}/\text{gr de café}$$

El valor 2 representa el factor de dilución, mientras 354,31 g/mol es el peso molecular del ácido Clorogénico, estos valores son constantes en la formula.

4.10. Explicación del método en relación a la investigación.

ACIDEZ TITULABLE. En el proceso de torrefacción, muchas de las sustancias solubles en agua se ven afectadas como las proteínas, sacarosa, ácidos clorogénicos y cenizas. Durante el

tostado, los ácidos clorogénicos pueden alcanzar pérdidas entre 50% y 80%, aunque pueden alcanzar pérdidas superiores al incrementarse la conductividad térmica a través de las capas del grano. [Óp., cit. Clarke & Macrae, 1987]

En la figura 40 se puede observar que la cantidad de ácidos clorogénicos perdidos en el proceso de torrefacción es progresiva y descendente; a medida que se incrementa el tiempo de torrefacción en los granos de café, estos van disminuyendo en el inicio de la pirolisis, llegando a perder 6/100 g en granos de café de *Coffea arábica*, en tostaciones oscuras. (Cliford M. N., 1985)

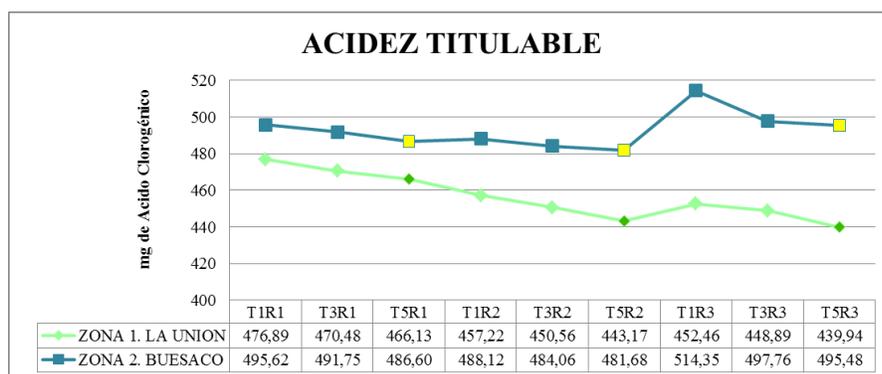


Figura 40. Cantidad de mg de ácidos clorogénicos en el café de las zonas 1 – 2.

La grafica anterior dispone de tres replicas en cada caso, señaladas por puntos de otro color al de la línea, lo que corresponde a la terminación de la réplica en valores descendentes para cada una de ellas, confirmando la cantidad muestral de la literatura anterior.

Se puede deducir que la cantidad de ácidos clorogénicos obtenidos de la experimentación posee una cuantía superior en la zona 2 que la zona 1, ya que los factores agroclimáticos de la tierra de esta zona hacen al grano del árbol de cafeto, buscar mecanismos naturales de “defensa” frente a estas condiciones de elevada altitud, generando procesos metabólicos particulares que tienen una incidencia en los atributos particulares del Café de Nariño. (FEDERACAFÉ F. , 2010b)

APENDICE L.

PRUEBAS QUÍMICAS EN CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.

5. PRUEBA DE DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS TOTALES.

La prueba de determinación de Carbohidratos totales se determinó bajo el Método de referencia: Método Fenol – Sulfúrico (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956) de la siguiente manera:

5.1. Materiales:

- a) Muestras de café de estudio
- b) Tubos de ensayo y cuadrilla
- c) Pinzas para tubos de ensayo
- d) Espátula metálica
- e) Matraz aforado de 100 ml (6 und)
- f) Marcador de vidrio
- g) Toallas de papel desechables

5.2. Equipos:

- a) Balanza analítica OHAUS Adventurer con aproximación de $\pm 0,001$ g
- b) Agitador Magnético con Calentamiento Modelos CIMAREC Thermo Scientific
- c) Agitador Vortex Genie II G – 560 Scientific industries, Inc.
- d) Espectrofotómetro
- e) Baño maría

5.3. Reactivos:

- a) Reactivo de Fenol al 5%
- b) Ácido sulfúrico concentrado
- c) Glucosa estándar
- d) Glucosa stock al 1%

5.3.1. Preparación de la curva patrón.

Se toman 6 matraces aforados de 100 ml donde se va a realizar la siguiente rotulación:

- **Matraz 1:** BLANCO
- **Matraz 2:** Glucosa al 20%
- **Matraz 3:** Glucosa al 40%
- **Matraz 4:** Glucosa al 60%
- **Matraz 5:** Glucosa al 80%
- **Matraz 6:** Glucosa al 100%

A continuación se realizan las siguientes soluciones:

- **Matraz 1:** BLANCO = 0 ml de glucosa estándar + 100 ml de agua destilada
- **Matraz 2:** Glucosa al 20% = 20 ml de glucosa estándar + 80 ml de agua destilada
- **Matraz 3:** Glucosa al 40% = 40 ml de glucosa estándar + 60 ml de agua destilada
- **Matraz 4:** Glucosa al 60% = 60 ml de glucosa estándar + 40 ml de agua destilada
- **Matraz 5:** Glucosa al 80% = 80 ml de glucosa estándar + 20 ml de agua destilada
- **Matraz 6:** Glucosa al 100% = 100 ml de glucosa estándar + 0 ml de agua destilada

Cuando se tenga las soluciones, se las coloca en los matraces anteriores y se las emplea el mismo día ya que la glucosa tiende a oxidarse muy rápido y los valores que posteriormente brinde no sean acertados y tengan tendencia a crear error experimental.

5.3.2. Preparación de solución de glucosa stock al 1%.

La glucosa stock al 1% se realiza de la siguiente manera:

- Se toma un matraz aforado de 100 ml y se le adicionan 50 ml de agua destilada y 1 gramo de glucosa pulverizada, se agita enérgicamente la solución hasta desvanecer por completo la glucosa y se enrasa hasta completar el aforo o un volumen de 100 ml. Se rotula la solución como glucosa stock al 1%.

5.3.3. Preparación de solución de glucosa estándar al 0,1%.

La glucosa estándar al 0,1% se realiza de la siguiente manera:

- Se toma un matraz aforado de 100 ml y se le adicionan 50 ml de agua destilada y 10 ml de glucosa stock al 1%, se agita enérgicamente la solución por 30 segundos y se enrasa hasta completar el aforo o un volumen de 100 ml. Se rotula la solución como glucosa estándar al 0,1%.

5.4. Curva de calibración de los carbohidratos.

La curva de calibración se tomó bajo cinco diferentes concentraciones de glucosa, estas concentraciones ayudaran en el proceso de encontrar un patrón numérico de reflectancia con la ayuda del espectrofotómetro y así observar cuál de ellas sirve para determinar el rango máximo de absorbancia en las muestras de estudio.

El procedimiento se llevó a cabo en los siguientes pasos:

- * Para determinar el máximo valor que se tomará como V_r = Valor referencia de la estandarización, se llevaron a cabo algunas soluciones para determinarse por medio de espectrofotometría, así: Ver tabla 24.

Tabla 25.

Concentraciones de soluciones de glucosa para curva de calibración.

Reactivo	Tubos de ensayo (ml)					
	Blanco	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5
Solución Estándar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fenol 5%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
H₂SO₄ concentrado	5	5	5	5	5	5

Antes de llevarse a cabo las operaciones se debe asegurar en encender el baño maría o una solución de agua caliente para que haya una destrucción de los polisacáridos en monosacáridos debido al ácido concentrado.

Después de que se hayan adicionado los reactivos en los tubos de ensayo, por medio de un Vortex de agitación se toman las pinzas de tubo de ensayo y se procede a calibrar la cantidad necesaria de vibraciones del equipo para que se mezclen uniformemente. Cabe mencionar que la reacción de un ácido concentrado con una base forma una reacción exotérmica formando calor en las soluciones.

Cuando se hayan mezclado homogéneamente las soluciones, se las pasa a un baño maría o a una solución caliente de entre unos 90°C por 5 minutos para que haya una síntesis en los azúcares.

Cuando hayan pasado los 5 minutos se deben retirar del agua caliente y se ponen a enfriar hasta que no haya calor en su interior; para reducir la carga calórica de las soluciones, se trasladan estas a unos beakers de 100 ml para que se enfríen por completo. Si la proporción de estas soluciones tiene un volumen menor de 10 ml, entonces se adiciona agua destilada para que haya una lectura de color en el espectrofotómetro posteriormente.

En el espectrofotómetro se lee cada una de las muestras anteriores a una longitud de onda de 650nm y se lee las absorbancias de éstas en el equipo. Ver tabla 25.

Tabla 26.

Absorbancias de la curva de calibración de la glucosa.

Muestra	Blanco de la muestra con solución conocida	Blanco de la muestra con agua destilada
blanco	0,000	0,000
tubo 1	0,084	0,102
tubo 2	0,176	0,194
tubo 3	0,520	0,537
tubo 4	0,803	0,817
tubo 5	1,154	1,168

Al obtener datos como los anteriores se procede a graficar el comportamiento de la glucosa bajo dos maneras de medir absorbancias en dos tipos de concentraciones de blanco, así:

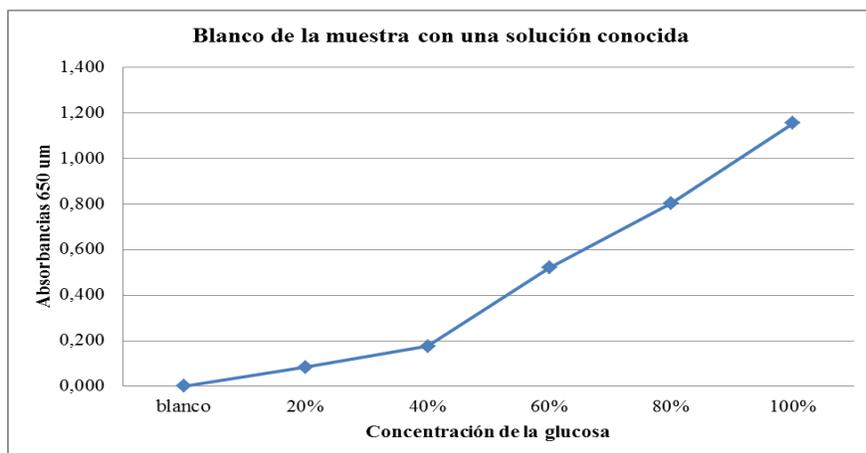


Figura 41. Absorbancias medidas en la curva de calibración de la glucosa con un blanco de concentración conocida.

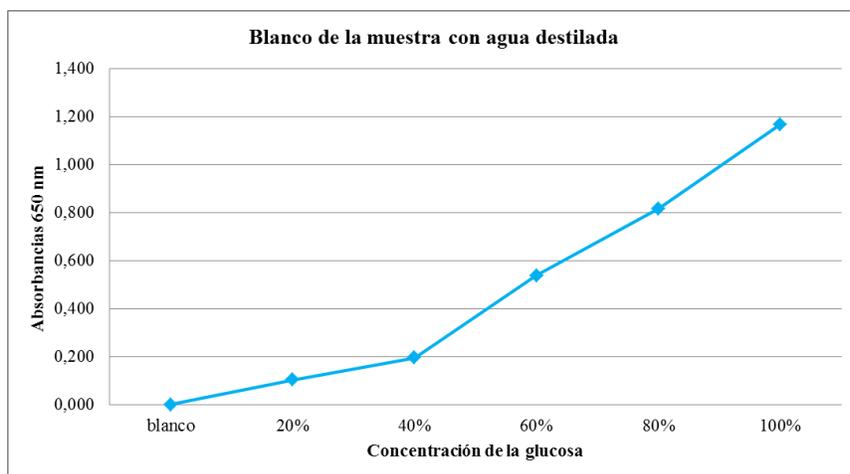


Figura 42. Absorbancias medidas en la curva de calibración de la glucosa con un blanco de agua destilada.

De acuerdo a las gráficas anteriores, en el análisis de resultados se especifica el valor máximo estándar de referencia tomados para cada uno de los blancos y las mediciones de carbohidratos según las referencias bibliográficas.

5.5. Preparación de reactivos.

* Fenol al 5%

Se toman ± 5 gramos de fenol y 50 ml de agua destilada en un balón aforado de 100 ml, se agita hasta la disolución durante 5 minutos. Después de la mezcla se lleva el volumen hasta el aforo y se rotula como Fenol al 5%.

* Soluciones patrón de glucosa según la curva de calibración.

Ver numerales 5.3.2. y 5.3.3.

5.6. Preparación o alistamiento de la muestra

La condensación de los carbohidratos es más común con fenol. Su determinación se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

- * Inicialmente se realizó un alistamiento de la muestra: Para preparar la muestra se procede a calentar agua destilada en un recipiente de vidrio sobre un agitador magnético con calentamiento aprox. 400 ml hasta que de punto de ebullición. La cantidad para cada zona es de 327 ml en sus muestras.
- * Aparte se coloca sobre cada vaso de precipitado de 100 ml un papel filtro Whatman 4 y se lo ajusta de tal manera que soporte el peso seco y filtrado húmedo de la muestra de café.
- * Luego se pesa la muestra apróx. 1 gramo sobre la balanza analítica con aproximación de $\pm 0,001$ g y se vierte las muestras en cada uno de los vasos, rotulando la zona y el grado de tostado de cada uno.
- * Una vez se tenga esto listo, se adiciona 2 gramos de muestra en cada filtro y 37 ml de agua caliente sobre cada una de ellas; cabe mencionar que el peso de la muestra ha sido ajustada bajo los parámetros de (Farfán, 2007)
- * Se deja enfriar el filtrado obtenido. Ver figura 43.
- De ese filtrado se toman 5 ml de muestra y se adiciona cada una en un tubo de ensayo para posteriores análisis de carbohidratos.

- La muestra si no se la va a utilizar en el momento, se la conserva en refrigeración y en oscuridad, para evitar que los rayos de luz degraden sus características.

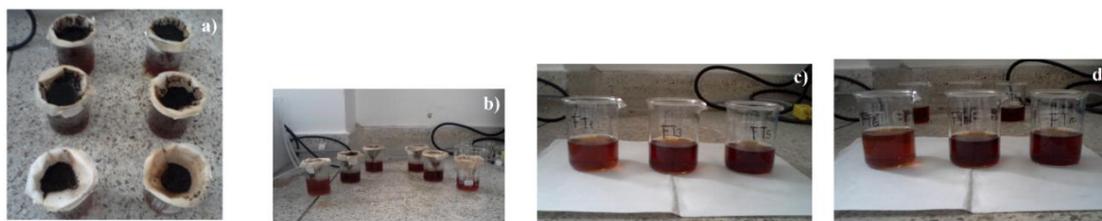


Figura 43. a) muestras de café filtrada; b) cantidad de muestra de café filtrada; c) muestras de la zona 1 filtradas; d) muestras de la zona 2 filtradas

5.7. Método de extracción

- A continuación se hace la siguiente mezcla reactiva:

Tabla 27.

Mezcla reactiva para encontrar CHO.

Reactivo	Tubos de ensayo (ml)						
	Blanco	Stand	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo N...
Agua destilada	1	0	0	0	0	0	0
Solución Estándar	0	1	0	0	0	0	0
Fenol 5%	1	1	1	1	1	1	1
H₂SO₄ concentrado	10	10	10	10	10	10	10
ECV1 – ECT1	0	0	1	1	1	1	1

- A continuación se agita los tubos de ensayo por medio de un Vortex de agitación, se toman las pinzas de tubo de ensayo y se procede a calibrar la cantidad necesaria de vibraciones del equipo para que se mezclen uniformemente. Cabe mencionar que la reacción de un ácido concentrado con una base forma una reacción exotérmica formando calor en las soluciones.

- Luego se procede a incubar a baño maría a 90°C por 5 minutos, retirar la muestra y dejar enfriar completamente.
- Medir con el espectrofotómetro a una longitud de onda de 650 nm
- Realizar curva de calibración antes de llevarse a cabo el proceso anterior.

5.8. Explicación del método en relación a la investigación.

CARBOHIDRATOS TOTALES. Los Carbohidratos totales en el café, son constituyentes y pueden representar más del 50 % del peso seco. (Puerta G. , 2011) Los Carbohidratos son precursores de la reacción de Millard (en el caso de la sacarosa, después de la inversión) y caramelización, que son importantes para el desarrollo de color y el aroma. La figura 44 demuestra las concentraciones de carbohidratos medidos por absorbancias a una longitud de onda de 650 nm, reaccionaron en un medio ácido y calor, dando como resultado la descomposición de azúcares como oligosacáridos y polisacáridos en monosacáridos.

Se tomaron dos tipos de muestras bajo dos blancos diferentes: el primero es el caso de una concentración conocida o propia de la deshidratación de los azúcares en medio ácido y el segundo es tomado como Agua destilada. El resultado fue el siguiente: (Figura 44)

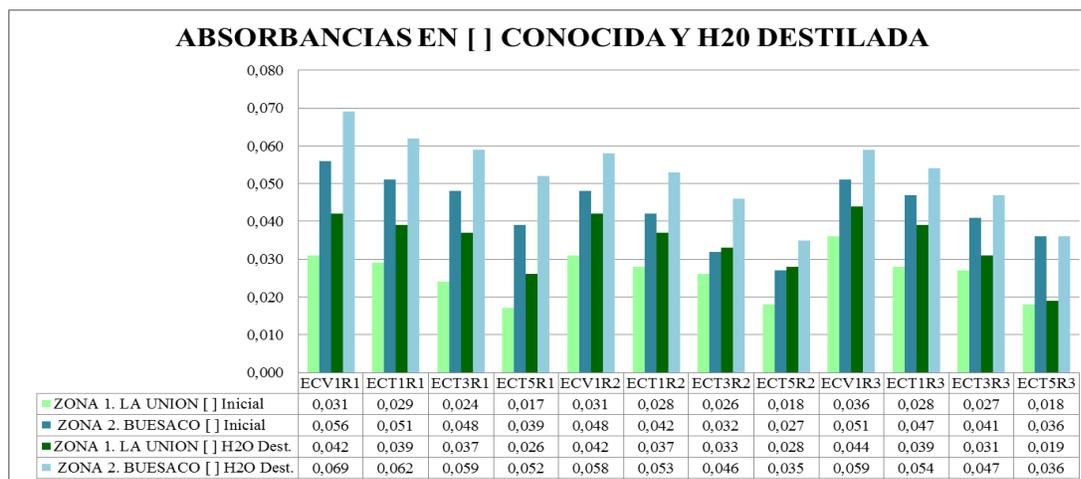


Figura 44. Absorbancias en dos blancos a concentraciones diferentes.

De los principales polisacáridos en café, el galactomanano y los arabinogalactanos son solubles, pero la celulosa no lo es. (Kölling-Speer & Speer, 2005)

La desviación de la gráfica, indica que hay una proyección negativa del grano verde en relación al grano tostado, ya que el proceso de torrefacción afecta significativamente el contenido de azúcares de los granos de café de las zonas de estudio, por lo que la zona 2 presenta mejores cantidades de azúcares debido a su formación agroclimática, que permite que su metabolismo enfrente condiciones adversas desde el punto de vista de temperatura; generando procesos metabólicos particulares que tienen una incidencia en los atributos particulares en taza. (FEDERACAFÉ F. , 2010b)