

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRES VARIEDADES DE
PULPA DE CAFÉ PARA LA PRODUCCION DE UNA BEBIDA TIPO TÉ**

MARÍA ANGÉLICA PAREDES GUEVARA

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2018**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRES VARIEDADES DE
PULPA DE CAFÉ PARA LA PRODUCCION DE UNA BEBIDA TIPO TÉ**

MARIA ANGÉLICA PAREDES GUEVARA

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director:
NELSON GUTIÉRREZ GUZMÁN
Ingeniero Agrícola**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C
2018**

Nota de aceptación:

ING. ELIZABETH TORRES GAMEZ

ING. MARTHA LUCIA MALAGÓN MICAN

ING. OSCAR LIBARDO LOMBANA CHARFUELAN

Bogotá, D.C. agosto de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Decano general de Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

CONTENIDO

	pág.
1.GENERALIDADES	15
1.1 CESURCAFÉ	15
1.2 CAFÉ	15
1.2.1 Composición del café	16
1.2.1.1 Pulpa de café	17
1.2.1.2 Cafeína	17
1.2.1.3 Ácidos Clorogénicos	18
1.2.2 Variedades de café	19
1.2.2.1 Variedad Caturra	19
1.2.2.2 Variedad Castillo	20
1.2.2.3 Variedad Colombia	20
1.2.3 Té Sultana	21
1.3 CARACTERIZACIÓN PARA LA PULPA DE CAFÉ	21
1.3.1 Secado de la pulpa de café	21
1.3.2 Caracterización de color	22
1.3.3 Potencial de hidrógeno	22
1.3.4 Cromatografía HPLC	23
2. MÉTODOS EXPERIMENTALES	24
2.1 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS GRANOS DE CAFÉ PARA LA OBTENCIÓN DE LA PULPA	24
2.2 CONDICIONES DE PROCESO PARA EL SECADO DE LA PULPA DE CAFÉ	26
2.3 DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LA PULPA DE CAFÉ	28
2.4 MEDICIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN LA PULPA DE CAFÉ	30
2.5 MÉTODO DE HPLC	31
2.5.1 Elaboración de extracto para HPLC	32
2.5.2 Determinación de cafeína	34
2.5.3 Determinación de Ácidos clorogénicos	34
2.5.4 Obtención de curvas de calibración por regresión lineal	34
2.5.5 Elección de fase estacionaria en función de la polaridad de los compuestos	34
3. RESULTADOS	35
3.1 PROCESO DE SECADO	35
3.2 DETERMINACIÓN DE COLOR	35
3.3. MEDICIÓN DE PH DE LA PULPA DE CAFÉ	36
3.4. CONTENIDO DE CAFEÍNA Y ÁCIDOS CLOROGÉNICOS.	36
3.4.1Cuantificación de cafeína	38
3.4.2Cuantificación de Ácidos Clorogénicos	42
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46

4.1 ACIDEZ DE LA PULPA DE CAFÉ	46
4.2 DETERMINACIÓN DE COLOR	46
4.3 CAFEÍNA POR HPLC	47
4.4 ÁCIDOS CLOROGÉNICOS	48
5. ANÁLISIS DE COSTOS	52
5.1 COSTOS DE OPERACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO	52
5.2 OPERACIÓN DE DESPULPADO	52
5.3 OPERACIÓN DE SECADO	53
5.4 OPERACIÓN DE MOLIENDA	53
5.5 OPERACIÓN DE ENVASADO Y SELLAMIENTO	54
6. CONCLUSIONES	56
7. RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Partes del café	16
Ilustración 2. Estructura molecular de la cafeína.	18
Ilustración 3. Estructura molecular de los Ácidos Clorogénicos.	19
Ilustración 4. Recolección de frutos de café.	24
Ilustración 5. Diagrama de proceso de despulpado de café.	25
Ilustración 6. Preselección de frutos de café	26
Ilustración 7. Secado de pulpa de café al ambiente.	27
Ilustración 8. Secado de pulpa de café mediante horno de secado.	27
Ilustración 9. Procedimiento para el secado de la pulpa de café	28
Ilustración 10. Procedimiento para la determinación de color.	29
Ilustración 11. Determinación de coordenadas para lectura de color.	29
Ilustración 12. Procedimiento para la medición de pH	31
Ilustración 13. Dispersión de muestras por Ultraturax.	32
Ilustración 14. Homogenización de muestras en agitador magnético.	33
Ilustración 15. Filtración de muestras.	33
Ilustración 16. Determinación de coordenadas	46
Ilustración 17. Diagrama de bloques para la producción de té Sultana	52

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición de los granos de café tostado (Porcentaje en base seca)	17
Tabla 2. Resultados de humedad	35
Tabla 3. Promedio de lecturas para color.	36
Tabla 4. Promedio de lecturas de pH para color	36
Tabla 5. Denominación de las muestras analizadas en el cromatógrafo	37
Tabla 6. Resultados de curva estándar para la cafeína	38
Tabla 7. Resultados de cromatografía para las muestras de la columna 1	40
Tabla 8. Resultados de cafeína para la columna 2	41
Tabla 9. Resultados de concentración de cafeína	42
Tabla 10. Resultados de calibración para la cuantificación de ácidos clorogénicos	42
Tabla 11. Resultados de cromatografía para la columna 1	44
Tabla 12. Resultados de cromatografía para la columna 2	45
Tabla 13. Resultados de concentración Ácidos Clorogénicos	45
Tabla 14. Contenido de cafeína en kg de pulpa fresca	47
Tabla 15. Contenido de cafeína en kg de pulpa seca	47
Tabla 16. Cantidad de gramos necesarios para el producto	48
Tabla 17. Porcentaje de Ácidos Clorogénicos en pulpa fresca	48
Tabla 18. Porcentaje de Ácidos Clorogénicos en pulpa seca	49
Tabla 19. Cantidad requerida de pulpa seca para ácidos clorogénicos	49
Tabla 20. Correlación de variedad Colombia y caturra.	50
Tabla 21. Concentraciones de los compuestos por HPLC.	51
Tabla 22. Costos para la producción de té Sultana.	55

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Curvar estándar para la cafeína en la columna 1	39
Gráfica 2. Curva estándar para la cafeína en la columna 2	39
Gráfica 3. Curva estándar de ácidos clorogénicos de la columna 1	43
Gráfica 4. Curva estándar para ácidos clorogénicos en la columna 2	43

LISTA DE CUADROS

	pág.
cuadro 1. Precio de electricidad.	52
cuadro 2. Valor de consumo de la despulpadora	53
cuadro 3. Consumo energético en la molienda	54
cuadro 4. Consumo energético para el sellamiento y envasado.	54

GLOSARIO

COMPONENTE TERMOLABIL: sustancia que presenta descomposición a altas temperaturas.

DISOLVENTE: un disolvente o solvente es una sustancia que diluye un soluto, resultando en una disolución; normalmente es el componente de una disolución presente en mayor cantidad.

ELUCION: la elución es la retirada, por medio de un disolvente adecuado, de un material de otro que sea insoluble en ese disolvente como en la cromatografía de columna. La extracción de una sustancia absorbida de una cama porosa o de una columna cromatográfica por medio de una corriente de líquido o gas o la aplicación de calor.

ENSILAJE: fermentación de carbohidratos solubles del grano de forraje mediante bacteria que producen ácido láctico en condiciones anaerobias

ESPECTROFOTÓMETRO: es un instrumento diseñado para evaluar el color y apariencia de muestras muy pequeñas a muestras muy largas, incluyendo objetos planos, con formas o superficies curvas midiendo la cantidad de luz absorbida.

ESTERASA: una esterasa es una hidrolasa que rompe enlaces éster en los correspondientes alcoholes y ácidos por medio de una reacción química en la cual se utiliza una molécula de agua, es decir por medio de una hidrólisis.

FASE ESTACIONARIA: es la sustancia que está fija en una posición durante la cromatografía. Un ejemplo es la capa de gel de sílice en la cromatografía en capa fina.

FASE MÓVIL: es la fase que se mueve en una dirección definida. Puede ser un líquido (cromatografía de líquidos o CEC), un gas (cromatografía de gases) o un fluido supercrítico (cromatografía de fluidos supercríticos).

HIDROCARBUROS: los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Los hidrocarburos son los compuestos básicos que estudia la química orgánica.

HIDROFÍLICA: una molécula hidrofílica es aquella que puede enlazarse temporalmente con el agua a través de un enlace hidrógeno. Esto es favorable termodinámicamente, y hace solubles a las moléculas no sólo en agua sino también en otros disolventes polares. Debido a esto también se las conoce como moléculas polares.

MUCÍLAGO: polisacárido de carácter viscoso que, al entrar en contacto con el agua, ocasiona un aumento de volumen formando una suspensión coloidal.

SATURACIÓN: se conoce como saturación al estado de una disolución que ya no acepta más cantidad de la sustancia que disuelve. Una solución saturada resulta ser aquella que contiene un nivel de soluto tan grande como pueda ser posible en el volumen disolvente dado.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una evaluación de las propiedades de tres variedades de pulpa de café para la producción de una bebida tipo té como un nuevo subproducto a partir del procesamiento del café, mediante el desarrollo experimental por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC de las concentraciones de cafeína y ácidos clorogénicos.

Las pulpas de café de las variedades Caturra, Castillo y Colombia, que fueron estudiadas en este proyecto pasaron primero por un proceso de secado donde se tomaron muestras de 10g de cada una, para determinar el contenido de humedad retirado en tres condiciones diferentes de temperatura las cuales fueron de; 70°C, 55°C y secado ambiente.

Posterior a esto a cada muestra de pulpa de café, se les realizó una caracterización de color por medio de espectrofotometría y de pH a través de un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el potencial de hidrógeno de una disolución, en conjunto a esto también se realizó la preparación de soluciones de muestra de pulpa de café de las tres variedades que se iban a evaluar en el cromatógrafo.

Una vez obtenidas las soluciones de muestra se procedió a realizar los métodos de cafeína y ácidos clorogénicos en el equipo para poder calcular la concentración de estos compuestos en la pulpa de café.

Finalmente, luego de obtener los resultados de las concentraciones de cafeína y ácidos clorogénicos para las muestras estudiadas, se evidenció que las que tuvieron mayor concentración de estas sustancias fueron la variedad Colombia (3,70g de cafeína/kg de pulpa; 0,068% de ácidos clorogénicos) y la variedad Caturra (4,37g de cafeína/kg de pulpa; 0,204% de ácidos clorogénicos) entre todas las analizadas. Las cuales estas últimas nombradas se compararon con trabajos de investigación previamente realizados por otros autores donde uno de ellos evaluó los mismos compuestos en otra pulpa de café (15,67 g de cafeína/kg de pulpa; 3% de ácidos clorogénicos) y obtuvo mayor concentración de cafeína y ácidos clorogénicos con respecto a los estudiados creando consigo una desventaja en el mercado para la elaboración de la bebida de té sultana en un futuro. Sin embargo, en este proyecto se evaluaron costos de producción del té Sultana con base en 10 kg de grano de café, cuyo valor fue de \$8,935.21

Palabras clave: acidez, ácidos clorogénicos, café, cafeína, concentración, cromatografía, espectrofotometría, humedad, potencial de hidrogeno, secado.

1. GENERALIDADES

El proyecto inicia con una contextualización relacionada con el café, la cual se verá explicada en este capítulo, se describen los fundamentos de los métodos y las operaciones unitarias a emplear para la caracterización de la pulpa de café además de las variedades de café estudiadas para este proyecto que eventualmente serán sometidas a pruebas experimentales y se verán analizadas más adelante.

1.1 CESURCAFÉ

CESURCAFÉ es un centro público dedicado a la investigación, desarrollo y transferencia de tecnología, nace como respuesta de la Universidad Surcolombiana a la reciente problemática asociada a la producción y comercialización de café en la región del Departamento de Huila. Debido a su gran avance en diferentes proyectos de investigación han logrado obtener reconocimiento internacional creando de esta manera un vínculo con la Universidad de Berna (Suiza), la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zúrich (Alemania) y Slow Food (Bolivia), para la ejecución del proyecto denominado “Mejorando los medios de vida rurales mediante la promoción de café de alta calidad y productos de cascara en los países de origen en Colombia y Bolivia” en donde pretende encontrar mejores oportunidades para el mercado local y de esta manera generar más valor e ingresos en el país. De igual manera, busca aprovechar al máximo la potencialidad de los productos que genera la cáscara de café, abriendo una línea de investigación enfocada en la elaboración de una bebida tipo té, siendo este un producto diferente al abono orgánico el cual es el más usado¹.

1.2 CAFÉ

Se conoce como café a los granos que se obtienen de unas plantas *perennes tropicales* (cafetos) morfológicamente muy variables, los cuales, tostados y molidos, son usados principalmente para preparar y tomar como una infusión. Etimológicamente la palabra “café” viene de la forma latina *coffea*, miembro de la familia *rubiceae*, que tiene más de 500 géneros y 6000 especies de árboles tropicales y arbustos.² El café es uno de los productos agrícolas mundialmente más importantes y comercializados actualmente, se estima que anualmente se comercializan 9 billones de toneladas (75% de la producción mundial), emplea 25 millones de personas a escala global en más de 5 millones de unidades productivas. En el mundo se beben anualmente 400 billones de tazas y se estima que el 40% de la población mundial lo consume (Kaplinsky, 2001).

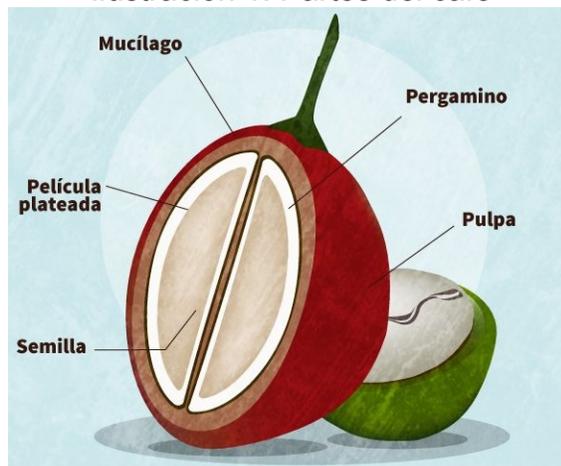
¹ Torres, Carmen. “Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café”. {En línea}. {21 de mayo de 2018} disponible en: (<http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1257.pdf>).

² Federación Nacional de cafeteros de Colombia. “Historia del café”. {En línea}. {15 de abril del 2018} disponible en; (http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/).

En Colombia, el café constituye uno de los principales cultivos agrícolas tradicionales, con un alto significado de importancia económica como rubro exportable y una alta demanda en el consumo interno, además como base fundamental en la economía en las zonas montañosas donde se desarrolla, entre las cuales se caracteriza el departamento del Huila, considerado como el mayor productor de café, con un total de 126 mil hectáreas productivas en los 34 municipios de vocación cafetera³, contando con gran reconocimiento por su alta producción en café especial que ha sido valorado como el mejor café de Colombia superando al tradicional departamento de Antioquia⁴.

1.2.1 Composición del café. La composición del café la podemos apreciar en el grano, el cual está constituido por semilla, película plateada, mucílago, pergamino y pulpa físicamente, como se puede observar en la ilustración 1. En su composición química contiene diferentes compuestos como cafeína, minerales, ácidos clorogénicos entre otros como o muestra la tabla 1 posteriormente.

Ilustración 1. Partes del café



Fuente: ECHEVERRI, Darío, *et al.* Café para cardiólogos. En: Revista Colombiana de Cardiología. Marzo/Abril, 2005. Vol. 11, No. 8, p. 357-365. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n8/v11n8a1.pdf>.

³ Caracolradio. "Huila es el primer productor de café Nacional". [En línea]. {15 de abril de 2018} disponible en: (http://caracol.com.co/emisora/2017/01/18/neiva/1484744449_568205.html).

⁴ RevistaDinero. "Huila también le apuesta a las frutas". [En línea]. {15 de Abril de 2018} disponible en: (<https://www.dinero.com/pais/articulo/industria-fruticola-del-huila/203859>).

Tabla 1. Composición de los granos de café tostado (Porcentaje en base seca)

Componente	Variedad Arábica	Variedad Robusta
Cafeína	1,3	2,4
Minerales	4,5	4,7
Lípidos	17,0	11,0
Trigonelinas	1,0	0,7
Proteínas	10,0	10,0
Ácidos alifáticos	2,4	2,5
Ácidos clorogénicos	2,7	3,1
Carbohidratos	38,0	41,5
Aromas volátiles	0,1	0,1
Melanoidinas	23,0	23,0

Fuente: ECHEVERRI, Darío, *et al.* Café para cardiólogos. En: Revista Colombiana de Cardiología. Marzo/Abril, 2005. Vol. 11, No. 8, p. 357-365. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n8/v11n8a1.pdf>.

1.2.1.1 Pulpa de café. En la industria del café, solamente se utiliza el 9,5% del peso del fruto fresco para la preparación de la bebida de café, el 90,5% queda en forma de residuos.⁵ La pulpa es la parte más voluminosa, representa entre el 40 - 56% en peso de éste⁶, siendo el principal subproducto obtenido del procesamiento del grano de café, el cual contiene diferentes propiedades como proteína y fibra cruda, grasa, energía metabolizable, ácidos clorogénicos, cafeína, entre otros. Estas propiedades le confieren cualidades nutritivas para ser utilizado en la alimentación animal, ya sea como ensilaje, torta de pulpa y secado para la obtención de harina. La pulpa de café no solamente se puede aprovechar como alimento animal, sino que también se puede reciclar en los campos de cultivo.⁷

1.2.1.2 Cafeína. La cafeína es el estimulante ligero psicoactivo de mayor consumo a nivel mundial y se encuentra en bebidas provenientes principalmente del café, siendo el café un estimulante del sistema nervioso central por contener dicho estimulante. De este modo su principal uso es proveer energía, causando activación de mente y cuerpo y la aceleración del organismo. Aunque más débil que otros estimulantes, la cafeína puede producir en algunos individuos síntomas de intoxicación, tolerancia y abstinencia. Tiene efecto diurético y estimulante del miocardio, relaja los músculos lisos, favorece la vasodilatación, contrae las arterias cerebrales, aumenta la secreción ácida del estómago y potencia la contracción del músculo esquelético. La cafeína es un alcaloide del grupo de las xantinas,

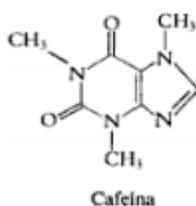
⁵ Rodríguez, N. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario Internacional: Gestión Integral de Residuos sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. 2002.

⁶ 7 Castillo, R., Carballo, L., Pérez, N., Fernández, R. Estudio de la composición química del residuo sólido del beneficio húmedo del café en bahía honda, pinar del Río. Centro de Estudios Forestales. Montes de Oca. Pinar del Río. 2002.

⁷Ives Yoplac, Efecto de la Alimentación con Pulpa de Café (*Coffea arábica*) en los Índices Productivos de Cuyes (*Cavia porcellus* L) Raza Perú.

concretamente pertenece a la familia de las metilxantinas. Las bases xánticas o púricas son alcaloides derivados de la purina, concretamente, provienen del anillo de la purina que se forma a través de la condensación de una pirimidina con un imidazol, esta posee una estructura cristalina y su fórmula molecular es $C_3H_4N_2$, como se puede apreciar en la ilustración 2, las más importantes son las metilxantinas: cafeína, teofilina y teobromina, conocidas respectivamente como 1, 3,7-trimetilxantina, 1,3-dimetilxantina y 3,7- dimetilxantina.⁸

Ilustración 2. Estructura molecular de la cafeína.



Fuente: Puerta Quintero, Gloria Ines, Cenicafe, Composición química de una taza de café. Diciembre, 2011. ISSN - 0120 - 0178 [En línea]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>

1.2.1.3 Ácidos Clorogénicos. El café está compuesto por importantes antioxidantes fenólicos, tales como: los ácidos clorogénicos y cafeico, los compuestos fenólicos poseen al menos un anillo aromático con 1 ó más grupos hidroxilos; entre ellos, los fenilpropanoides presentan la estructura básica de los fenoles más una cadena tricarbonada como grupo lateral. Los más comunes son los ácidos fenílico, cumárico, cafeico y clorogénicos, este último un éster del ácido cafeico y el ácido quínico. Los compuestos fenólicos de las plantas tienen como propiedades generales las de ser antioxidantes, ejercer efectos quelantes y modular la actividad de varios sistemas enzimáticos, de modo que actúan mayoritariamente en la dieta como elementos que promueven salud ante factores químicos y físicos estresantes para el organismo.

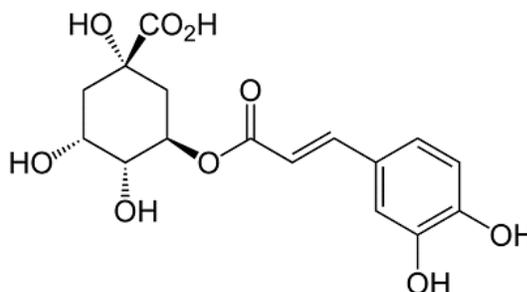
En el café verde existe una gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos ejemplificados por los ácidos clorogénico, cafeico, fenílico y cumárico, pero al tostarse, se afecta marcadamente su composición en fenoles debido a la reacción de Maillard, lo cual le confiere un agradable sabor y aroma, también se originan pigmentos denominados melanoidinas, que le dan al café tostado su color característico. El ácido clorogénico es el mayor componente fenólico del café. pues cada taza contiene de 15 a 325 mg, con un promedio de 200 mg por taza para el

⁸ Silva, Leticia. Bebidas energizantes: composición química y efectos en el organismo humano. Bogotá. 2015. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.

café americano, estimando de esta manera el consumo diario de personas adictas a él entre 0,5 a 1 gramo⁹.

El conocimiento de la biodisponibilidad y los niveles sanguíneos y tisulares de los compuestos fenólicos reviste importancia en la extrapolación de estudios de líneas celulares a modelos animales y humanos, sin embargo, en este momento hay poca información acerca de la absorción de la mayoría de los compuestos fenólicos presentes en el café, aunque se sabe que casi todo el ácido cafeico es absorbido en el intestino delgado y la mayor parte del clorogénico (alrededor de dos tercios) alcanza el colon, donde es hidrolizado por esterasas de la flora endógena. Se especula que los productos resultantes podrían ejercer interacciones con las células de la mucosa del intestino distal, como sucede con otros compuestos fenólicos, pero en esta área se precisa de futuras investigaciones que aporten nuevas evidencias.¹⁰A continuación se muestra en la ilustración 3 la estructura molecular de los ácidos clorogénicos.

Ilustración 3. Estructura molecular de los Ácidos Clorogénicos.



Fuente: Puerta Quintero, Gloria Ines, Cenicafe, Composición química de una taza de café. Diciembre, 2011. ISSN - 0120 - 0178 [En línea]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>.

1.2.2 Variedades de café. En el Departamento del Huila la producción de café se ha desarrollado principalmente con variedades de la especie *Coffea arabica* L., siendo la variedad Caturra la más común en los cultivos. Sin embargo, las variedades: Castillo, Colombia y Tabi también son altamente usadas en el sur de Colombia.¹¹

1.2.2.1 Variedad Caturra. Es un mutante procedente de la variedad Borbón, el cual se descubrió en Brasil entre 1915 y 1918, se caracteriza por tener entrenudos muy cortos tanto en el tallo como en las ramas, por lo cual alcanza un desarrollo menor que el de las variedades Borbón y Típica. Como consecuencia de la introducción al país, en 1952, de variedades de porte bajo, como la Caturra, soportados en sus

⁹ Gutiérrez Maydata A. "Café, antioxidantes y protección a la salud". [En línea]. {22 de Agosto de 2018MEDISAN 2002;6(4). <http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol6_4_02/san11402.htm>

¹⁰ r R. Maestro Duran y R. Borja Padilla. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. Instituto de la Grasa y sus Derivados (C.S.I.C). Apartado 1078. 41012 - Sevilla. España. Vol. 44 Fase. 2(1993)

¹¹ CENICAFÉ. La variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. Chinchiná, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 342)

altas producciones y tamaño de la planta reducido, en las décadas del 60 y 70 ocurrió un importante proceso de transformación tecnológico de la caficultura colombiana con la adopción del cultivo intensivo y a plena exposición solar, con base en la siembra de esta variedad (Castillo, 1990,1967), dada la aparición de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en 1983, la cual afectó tanto a la variedad Caturra como a las variedades tradicionales (Típica y Borbón). Gracias al desarrollo de esta variedad en Colombia, se continuó con el cultivo intensivo, pero ahora con variedades resistentes a esta enfermedad¹².

1.2.2.2 Variedad Castillo. Esta variedad, altamente productiva, nace del cruce entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor, dando como resultado una variedad compuesta de líneas mejoradas que difiere de sus predecesores a nivel genético con una mayor resistencia contra la roya y en mayores niveles de adaptación en su cultivo.¹³ El objetivo buscado para el mejoramiento genético estableció tres aspectos básicos:

- Adoptar la diversidad genética como estrategia general para el desarrollo de nuevas variedades, generando cultivos de *Coffea arábica* compuestos que sean competitivos.
- Utilizar el híbrido de Timor como fuente que permita tener un aumento en la resistencia a la roya del cafeto.
- Usar variedades tradicionales básicas para los cruces con la finalidad de obtener cultivos de fácil aceptación entre los agricultores por sus excelentes atributos y adaptación a las condiciones climáticas de la zona cafetera del país.

La investigación continuada ha permitido obtener nuevos componentes que han mejorado las características iniciales de las variedades tales como el tamaño del grano, conservando la resistencia a la roya para amortiguar el efecto ocasionado por la aparición cada vez más frecuente de nuevas razas del hongo.¹⁴

1.2.2.3 Variedad Colombia. Debido a que en el país todavía se tiene cerca del 30% del área en la que se cultiva la variedad Típica, desde el año 1970 Cenicafé inició un programa para desarrollar variedades de porte alto con resistencia a la roya, como resultado de esta iniciativa se produjo la variedad Tabi, la cual se liberó en el año 2002. La variedad Tabi está compuesta por la mezcla de varias progenies

¹² Arcila, Jaime. Farfán, Fernando. Moreno, Argemiro. Salazar, Luis. Hincapié, Edgar. "Sistemas de producción de café en Colombia". {En línea}. {15 de abril de 2018} disponible en: (https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf).

¹³ Alvarado A., G.; Moreno G., E.; Montoya R., E.C.; Alarcón S., R. Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo® y sus derivadas regionales. Cenicafé 60(3):210-228. 2009.

¹⁴ Alvarado A., G.; Moreno G., E.; Montoya R., E.C.; Alarcón S., R. Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo® y sus derivadas regionales. Cenicafé 60(3):210-228. 2009.

provenientes de los cruces entre el híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón con muy buenas características de producción y calidad de grano.¹⁵

1.2.3 Té Sultana. La bebida té sultana es un término utilizado en Bolivia para referirse a la cascarilla de café para ser consumida por el ser humano preparada por medio de una infusión que en algunas ocasiones lo mezclan con azúcar o canela para saborizar el producto.

En otros países como Yemen es una bebida muy común cultivando así cafetos en los cuales se toma como la bebida de té sultana como producto principal de la producción de café y desechando la semilla que produce el café.

1.3 CARACTERIZACIÓN PARA LA PULPA DE CAFÉ

Normalmente para la caracterización de la pulpa de café se emplean algunos tratamientos fisicoquímicos. A continuación, se exponen algunos de ellos:

1.3.1 Secado de la pulpa de café. El secado de café es un proceso que se realiza por medio de hornos de convección forzada con aire que tenga una humedad baja y al ambiente principalmente. Se realiza con el fin de retirar los líquidos que contiene la pulpa debido a que con el pasar de los días pueden aparecer mohos y en casos graves la pulpa poco seca puede desarrollar hongos.

Actualmente no existe un valor ideal sobre el grado de humedad, debido a que la pulpa de café depende del tipo de suelo y cuidado que se haya llevado durante su ciclo de vida, sin embargo, obtener un porcentaje de humedad retirado entre el 75% y 90% es el objetivo para corroborar que no se evidencie una presencia de hongos y mohos. Es importante también tener en cuenta que calentar la pulpa de café a elevadas temperaturas, en las que el porcentaje de humedad retirado sea mayor al 92%, produce una calidad inferior de la infusión debido a que los compuestos termolábiles comienzan a evaporarse.

El exceso de secado cuesta dinero, esto hace que sea tan grave como un secado insuficiente: no sólo se pierde peso, y por lo tanto dinero, sino que también se traduce directamente en una calidad inferior de la infusión, cuando la humedad baja más del 10 %, los componentes volátiles como vitaminas y demás empiezan a evaporarse y con una humedad del 8 % o menos, estos han desaparecido completamente, por este motivo, la organización mundial del café quiere que se prohíban los embarques de café con menos del 8 % de grado de humedad. El café

¹⁵ Arcila, Jaime. Farfán, Fernando. Moreno, Argemiro. Salazar, Luis. Hincapié, Edgar. "Sistemas de producción de café en Colombia". {En línea}. {15 de Abril de 2018} disponible en: (https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf).

poco seco, al igual que el café demasiado seco, no debería mezclarse con café secado correctamente.¹⁶

Es necesario saber que las condiciones climáticas en varias de las áreas de almacenamiento no llegan a ser muy adecuadas, debido que no controlan el grado de humedad en muchos casos existe exceso de secado en el grano café. La pérdida de calidad debida a un exceso de secado no puede invertirse, y es inaceptable. El café demasiado seco aumenta el porcentaje de residuos durante los procesos e molienda, reduciendo más la calidad y el valor.

1.3.2 Caracterización de color. El color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva, dos personas mirando un mismo objeto pueden usar puntos de referencia distintos y expresar el mismo color con una gran variedad de palabras diferentes llevando a confusión y falta de comunicación internamente o a través de la cadena de abastecimiento, para evitar esto y asegurar que una muestra cumpla con el estándar el color debe ser expresado en términos numéricos y objetivos. Cuando se clasifican los colores, se los puede expresar en términos de: matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez), al crear escalas para estos atributos, podemos expresar en forma precisa el color.

El espacio de color $L^* a^* b^*$ fue modelado con el espacio de color CIELAB, respecto a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo como se muestra a continuación: L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas.

L^* = Luminosidad

a^* = Coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b^* = Coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Los instrumentos de medición de color, incluyendo espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar estos atributos de color fácilmente, ellos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada L^* , a^* , y b^* ¹⁷.

1.3.3 Potencial de hidrógeno. La medición del pH de una muestra normalmente se realiza ya sea mediante papel tornasol que mide la concentración de iones hidronio mediante una escala cromática o por un instrumento de laboratorio denominado pH-metro, este instrumento consiste en la medición de una diferencia

¹⁶ Laguíadelcafé. "Grado de humedad y secado". {En línea}. {17 de Mayo de 2018} disponible en: (<http://www.laguíadelcafe.org/guia-del-cafe/calidad-del-cafe/Grado-de-humedad-y-secado/>).

¹⁷ Konicaminolta. "Entendiendo El Espacio de Color CIE $L^*A^*B^*$ ". {En línea}. {17 de mayo de 2018} disponible en: (<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>).

de un potencial eléctrico entre un electrodo del pH y un electrodo de referencia¹⁸. El potencial entre este conductor interno y la solución conocida es constante, proporcionando un potencial de referencia estable, la detección se hace de un tubo de cristal no conductor sellado a una membrana de cristal conductora.

1.3.4 Cromatografía HPLC. La cromatografía líquida (HPLC) es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla, la HPLC utiliza una fase móvil líquida para separar los componentes de la muestra, los componentes se disuelven mediante un disolvente y a continuación se hacen pasar por la columna a una gran presión. A continuación, interactúan con la fase estacionaria y salen en momentos distintos, igual que ocurre con la cromatografía de gases, si una cantidad excesiva de gas permanece disuelta en la fase móvil líquida a la presión de la columna, el gas puede salir del detector y provocar grandes picos no deseados, estos pueden eliminarse mediante el burbujeo de helio de gran pureza a través del líquido cuando el sistema HPLC no disponga de un desgasificador integrado.

¹⁸ Periódicosalud. "Phmetro – Que es, fundamento, partes, calibración". {En línea}. {21 de mayo de 2018} disponible en: (<https://periodicosalud.com/phmetro-fundamento-partes-calibracion/>).

2. MÉTODOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se plantea la metodología que se emplea en cada proceso utilizado para la caracterización de propiedades de la pulpa de café, donde a partir de las pruebas experimentales se obtienen resultados con los cuales se comparan las variedades de café estudiadas. También se definen las condiciones de secado apropiadas para la elaboración de una bebida tipo té Sultana como nuevo producto del mercado. Se toma en consideración desde la etapa de recolección de los granos de café hasta su procesamiento para la obtención de la pulpa seca y evaluación de las propiedades químicas.

2.1 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS GRANOS DE CAFÉ PARA LA OBTENCIÓN DE LA PULPA

Es necesario tener en cuenta factores importantes como la siembra y el cultivo sin el uso de agroquímicos como fertilizantes, fungicidas e insecticidas; por lo que la pulpa de café es la parte exterior del grano, debido a que esta se utilizará como una bebida sin ningún tipo de aditivos para el consumo humano.

Los granos de café estudiados en este proyecto fueron obtenidos del municipio de Santa María, ubicado aproximadamente a una (1) hora y veinte (20) minutos de la ciudad de Neiva en el Departamento del Huila, en un tiempo en el que no había cosecha de café, sin embargo se lograron recolectar granos maduros de las tres variedades estudiadas que son Colombia, Caturra y Castillo, como se muestra en la ilustración 4, que luego de la recolección fueron almacenados en neveras de icopor con geles congelados para mantener una temperatura fresca y de esta manera perder contenido de humedad durante el recorrido para luego ser transportados a los laboratorios de CESURCAFÉ ubicados en la ciudad de Neiva.

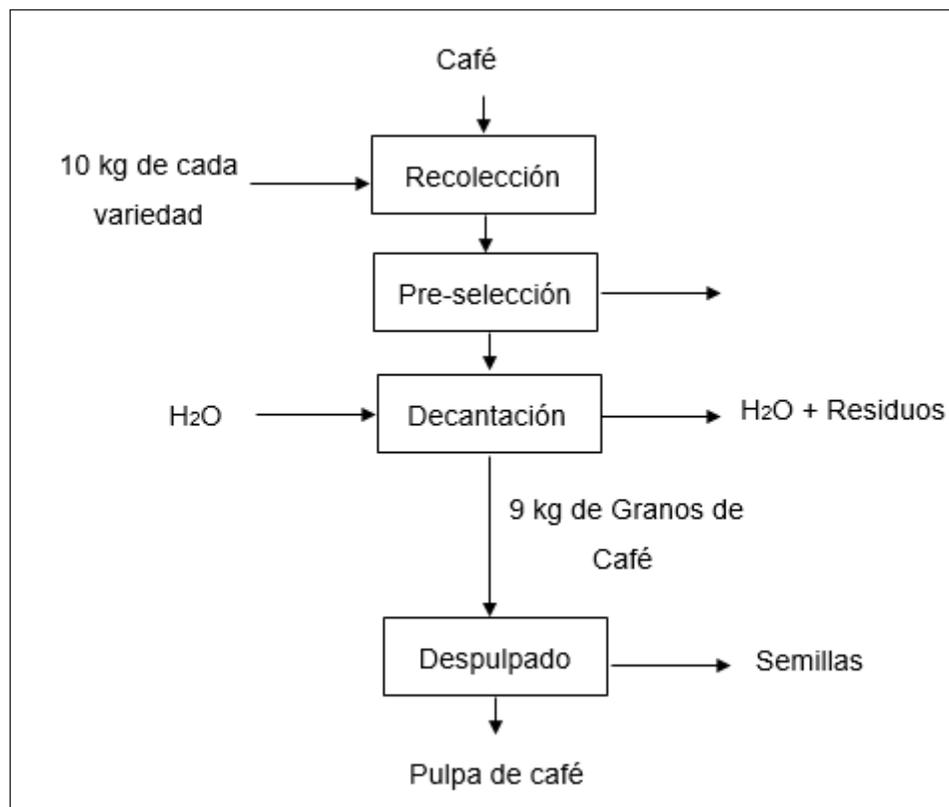
Ilustración 4. Recolección de frutos de café.



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las muestras de las tres variedades de café nombradas anteriormente se trasladaron al laboratorio de CESURCAFÉ en la ciudad de Neiva donde se realizó un lavado con el fin de eliminar los granos de café no útiles que ocasionan un sabor agrio a la bebida de café si no se retiran, los cuales fueron aproximadamente al 10% de la recolección total; para esto se utiliza un recipiente lo suficientemente grande y se le agrega agua potable para evitar la contaminación del café, al realizar este procedimiento se puede hacer nuevamente una selección de la muestra de café ya que los granos verdes y partículas extrañas como hojas o pedazos de tallos flotan con abundante agua y pueden ser removidos por medio de coladores, este proceso se realiza cuatro veces con el fin de eliminar la mayor cantidad de sustancias y granos no útiles mejorando la selectividad de la muestra para cada una de las variedades. Con el grano ya seleccionado se procede a realizar el despulpado por medio de una despulpadora industrial CI TALSA: D1000 con capacidad de 700 a 1000 Kg/h el cual consiste en introducir la muestra de café en el equipo donde se separa la semilla de la pulpa de café, que será utilizada para realizar el proyecto. A continuación, se presenta en la ilustración 5 un diagrama para el proceso de despulpado de café:

Ilustración 5. Diagrama de proceso de despulpado de café.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6. Preselección de frutos de café



Fuente: Elaboración propia.

2.2 CONDICIONES DE PROCESO PARA EL SECADO DE LA PULPA DE CAFÉ

De acuerdo con lo descrito en la sección 2.3.1, se realiza el proceso de secado de la pulpa de café en tres diferentes temperaturas, de las cuales se eligieron de acuerdo a modelos estudiados anteriormente por Cenicafe¹⁹, que fueron 70°C y 55°C en horno de secado (Horno memmert uf 55) el cual tiene un rango de temperatura desde 10°C hasta 300°C y un volumen de 53L de almacenamiento, este equipo maneja una Corriente de aire caliente con bajo contenido de humedad que entra al horno y transfiere calor al sólido, como muestra la ilustración 8 generando un gradiente de temperatura que origina el desplazamiento de agua desde el interior del sólido hacia su superficie y posteriormente su evaporación. En consecuencia, el aire que sale del horno se vuelve más húmedo.

Las muestras fueron secadas por medio de este horno durante un tiempo de 24 horas, mientras que para el secado ambiente las muestras fueron expuestas en promedio durante siete días al sol evidenciadas en la ilustración 7, con una temperatura aproximada de 33°C en la ciudad de Neiva.

El contenido de humedad en el proceso de secado de las tres variedades de café se realiza tomando una muestra de aproximadamente 10 g de cada una inicialmente (el peso de la muestra puede variar hasta 2 gramos teniendo en cuenta sus propiedades físicas), se exponen las muestras a las tres temperaturas anteriormente definidas, para posteriormente, pasado el tiempo de prueba, determinar el porcentaje de líquido que perdió la pulpa durante cada temperatura e intervalo de tiempo.

¹⁹ RODRÍGUEZ V., N.; QUINTERO Y., L. V. (2015). Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio húmedo del café. *Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación*. 2015. 2 p

Para medir el porcentaje de humedad de las muestras a la temperatura ambiente (33°C) se realiza el mismo procedimiento de tomar muestras de 10 g aproximadamente inicialmente para cada variedad, se colocan a secar en bandejas expuestas a una altura de 3 m sobre una superficie plana, se dejan en tiempo de siete (7) días como se determinó anteriormente, para luego poder medir el peso final y determinar el porcentaje de humedad inicial retirado tras el secado, descrito en el diagrama que muestra a ilustración 9.

Ilustración 7. Secado de pulpa de café al ambiente.



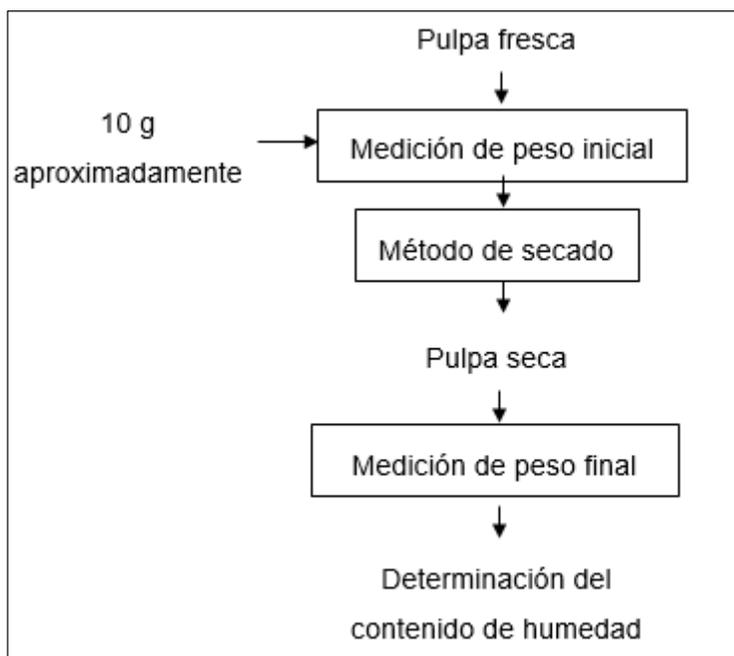
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8. Secado de pulpa de café mediante horno de secado.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9. Procedimiento para el secado de la pulpa de café



Fuente: Elaboración propia

3.3 DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LA PULPA DE CAFÉ

Para la caracterización del color de la pulpa de café, el proceso se realiza por medio de un Colorímetro konica minolta cr 410 conocido comúnmente como espectrofotómetro, el cual es un instrumento elaborado para determinar el color en objetos en condiciones dispares como a veces se encuentra la pulpa de café generando un espectro a partir de una emisión de radiación, como se puede ver en la ilustración 11.

Es un espectrofotómetro de alta precisión confiable, que permite reproducir y controlar el color de pigmentos en proceso efectivo y organizado. Sus capacidades avanzadas ayudan a establecer y cumplir con los estándares de calidad de contrastes eficientemente, mantener la consistencia en cada lote de material y comunicar el color internamente a través de la cadena de abastecimiento.²⁰

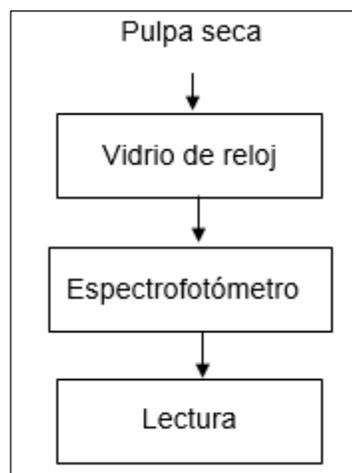
Para la determinación del color de la pulpa de café, en primera instancia se utilizan vidrios de reloj completamente cubiertos por pulpa de café con el fin de realizar una lectura precisa de los espacios de color L^* a^* b^* para cada muestra en las tres diferentes condiciones de secado mencionadas anteriormente, así como también se realiza la lectura de color para la muestra de pulpa fresca. Las lecturas de los espacios de color se deben realizar diez (10) veces por muestra para evitar el

²⁰ KonicaMinolta. "Espectrofotómetro CM-700d". [En línea]. {17 de Mayo de 2018} disponible en: (<http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-700d-spectrophotometer/>).

margen de error, puesto que la pulpa de café es un fruto natural, el cual es difícil de manipular por el ser humano y por esto no todas poseen la misma tonalidad de color. En la ilustración 10 se puede ver como se llevó a cabo el proceso.

El espectrofotómetro realiza unas lecturas de espacio de color el cual es actualmente uno de los espacios de color más usado y uniformes para evaluar el color de un objeto, este espacio de color es ampliamente usado porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana. Permitiendo evaluar los atributos de color, identificar inconsistencias y expresar precisamente sus resultados a otros en términos numéricos.

Ilustración 10 Procedimiento para la determinación de color.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 11. Determinación de coordenadas para lectura de color.



Fuente: Elaboración propia

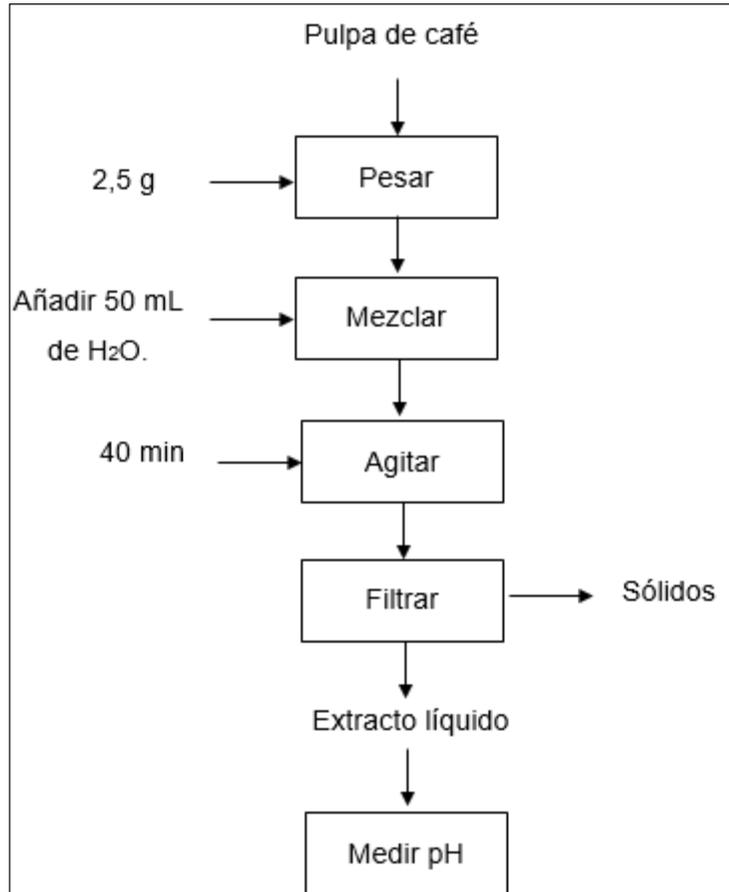
3.4 MEDICIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN LA PULPA DE CAFÉ

La medición de pH de la pulpa de café se realizará en este proyecto con el fin de verificar óptimas condiciones de la materia estudiada debido que con este dato se puede saber las condiciones del suelo en los cuales han sido sembrados los cafetos, por esto se realizaran las mediciones tanto para la pulpa fresca como para la pulpa seca en las tres condiciones de secado establecidas anteriormente, repitiendo el procedimiento tres veces para realizar un promedio de las mediciones de pH, de acuerdo a esto se pesan 2,5 g de pulpa y se introducen cada una en un vaso precipitado de 50 mL con agua destilada, posteriormente la pulpa de café se dispersa hasta poder observar que no queden partículas grandes por medio de un Ultra-turrax T18 con rango de velocidad 3500 – 24000 rpm el cual homogeniza la pulpa mediante agitación de acuerdo a su rango de velocidad.

Para poder obtener una óptima homogenización de la pulpa de café con el agua cada muestra se coloca durante cuarenta (40) minutos en un agitador magnético (placa agitadora 761-10) donde el equipo realiza la acción de un campo magnético generado por un magneto ubicado en la parte inferior

Luego de tener las muestras homogenizadas se pasan por un proceso de filtración, el cual primero se tienen cuadrados de 18 x 18 cm pliegos de papel filtrante con 0,14 mm de espesor, cada papel filtrante es doblado adecuadamente para poder introducirlo en un embudo adherido a sus paredes y este es insertado en un Erlenmeyer para poder hacer el filtrado para cada muestra, dicho proceso de filtración se realiza con el fin de proteger el instrumento de partículas sólidas. A continuación, en la ilustración 12 se muestra el procedimiento.

Ilustración 12. Procedimiento para la medición de pH



Fuente: Elaboración propia.

2.5 MÉTODO DE HPLC

Para la determinación de propiedades químicas por medio de cromatografía líquida de alta eficacia utilizando como equipo el Cromatógrafo Agilent 1260 Infinity II el cual realiza una separación de componentes de una mezcla a partir de las interacciones químicas entre la columna y el líquido que fluye a través de ella (fase móvil).

Para lo anterior se realizan, en primer lugar, extractos de las muestras, las cuales en su totalidad fueron treinta y seis (36), teniendo en cuenta que se hizo una réplica de tres veces para cada variedad de café en cada condición diferente de temperatura (70°C, 55°C, secado ambiente) y también tres veces para cada variedad en la pulpa fresca para poder tener un análisis comparativo y un margen de error menor.

Luego de obtener el extracto, es necesario preparar una muestra de cafeína y ácidos clorogénicos para poder realizar la respectiva lectura de las concentraciones de estas propiedades en las muestras que se van a estudiar, así como también es necesario realizar una muestra diferente de un blanco para poder calibrar el equipo, se elaboran dos curvas de calibración que permiten cuantificar cafeína y ácido clorogénico utilizando diferentes concentraciones de solución estándar en ambos casos.

2.5.1 Elaboración de extracto para HPLC. El extracto para realizar la lectura de propiedades químicas por cromatografía se elabora en concentraciones con relación 1:10, donde se pesa aproximadamente 1g en un vidrio de reloj de cada pulpa de café para luego ser introducidos en una mezcla de 100 mL de metanol y agua tipo 1 en una proporción de 50-50 v/v de cada sustancia, posteriormente, se dispersa cada muestra de pulpa de café hasta poder observar que no quedan partículas grandes por medio de un Ultra-turrax como se muestra en la ilustración 13, después, para poder obtener una óptima homogenización de la pulpa de café con la mezcla de metanol-agua, cada muestra se coloca durante cuarenta (40) minutos en un agitador magnético mostrados en la ilustración 14.

Ilustración 13. Dispersión de muestras por Ultraturax.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14..Homogenización de muestras en agitador magnético.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, al tener las muestras homogenizadas estas pasan por un proceso de filtración, el cual se tienen cuadros de 18x 18 cm pliegos de papel filtrante con 0,14 mm de espesor, cada papel filtrante es doblado adecuadamente para poder introducirlo en un embudo adherido a sus paredes y este se introduce en un Erlenmeyer para poder hacer el filtrado para cada muestra, como se ve en la ilustración 15. Dicho proceso de filtración se realiza con el fin de que el extracto no quede con ninguna partícula sólida debido que estas pueden producir daños en el cromatógrafo al momento de realizar la lectura de propiedades.

Ilustración 15. Filtración de muestras.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2 Determinación de cafeína. En la realización del método cromatográfico se ajustaron las condiciones cromatográficas, siguiendo el método utilizado en agilent DIN 20481²¹, de acuerdo a esto se realizaron diferentes ensayos, empezando por construir una recta de calibración con soluciones patrón de cafeína las cuales fueron: 50, 100, 300, 400 y 500 µg de estándar/mL de metanol y agua. Una vez obtenida dicha recta patrón, se utilizará como referencia el tiempo de retención para verificar que cantidad de cafeína existen en las muestras estudiadas, así como también servirá para interpolar en ella las áreas correspondientes a la cafeína extraída de las distintas muestras y obtener la cantidad de cafeína que contienen.

2.5.3 Determinación de Ácidos clorogénicos. Para este proceso, se siguió el método usado en agilent DIN 10767²² el cual utiliza concentraciones de 100, 200, 300, 400 y 500µg/mL de metanol y agua, para la calibración de cada columna usada en el equipo.

2.5.4 Obtención de curvas de calibración por regresión lineal. Se realizan modelos lineales de cafeína y ácidos clorogénicos, donde se obtienen gráficas de tendencia correspondiente a cada estándar, se denomina variable dependiente al área promedio bajo el pico de cada nivel del cromatograma correspondiente al nivel de solución estándar, la variable independiente es la concentración de cafeína o ácido clorogénico expresada en ppm de compuesto. Por ser curvas estándar de calibración se aceptó sólo modelos de regresión que tengan un coeficiente de determinación o $R^2 \geq 0.99$, debido a que favorece el mínimo margen de error de las curvas para cuantificar valores precisos con respecto a muestras de alimentos.

2.5.5 Elección de fase estacionaria en función de la polaridad de los compuestos. La cromatografía de fase normal tiene una fase estacionaria polar frecuentemente hidrofílica y una fase móvil menos polar, para seleccionar una fase óptima es mejor empezar con una fase móvil de un hidrocarburo, para este procedimiento se utilizó metanol y agua, siguiendo la metodología descrita en el manual de Agilent Technologies. En cromatografía en fase normal, el componente menos polar se eluye primero, debido a que relativamente es el más soluble en la fase móvil y un aumento de la polaridad de la fase móvil provoca una disminución del tiempo de elución, esta técnica es la que brinda un tiempo de retención y selectividad óptimas.

²¹ Naegele, Edgar. "Determination of Caffeine in Coffee Products According to DIN 20481". {En línea}. {22 de mayo de 2018} disponible en: (<https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-2851EN.pdf>).

²² Naegele, Edgar. "Determination of Chlorogenic Acid in Coffee Products According to DIN 10767". {En línea}. {22 de agosto de 2018} disponible en: (<https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-2852EN.pdf>).

3. RESULTADOS

3.1 PROCESO DE SECADO

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente se obtienen los resultados de las propiedades químicas de las pulpas de café del proceso de secado, donde se obtiene un promedio de las tres réplicas que se hicieron para cada condición de secado. En los anexos 1, 2 y 3 se puede observar los resultados completos de cada muestra a cada condición de secado para cada variedad respectivamente.

A continuación, en la tabla 2 se muestran los resultados promedio de humedad de las muestras después del proceso de secado, en donde P_i representa el peso inicial de la muestra, P_f el peso final y CH representa el contenido de humedad retirado, el contenido de humedad retirado se calculó de la siguiente manera:

$$CH\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100\%$$

Tabla 2. Resultados de humedad

Temperado de secado	Variedad	Pi (g)	Pf (g)	CH %
70°C	Caturra	10,32	2,25	78,21
	Castillo	10,25	1,82	82,21
	Colombia	10,20	2,10	79,37
55°C	Caturra	10,08	2,11	79,09
	Castillo	10,14	2,12	79,07
	Colombia	10,32	2,15	79,17
Secado Ambiente	Caturra	10,14	2,14	78,94
	Castillo	10,15	2,46	75,78
	Colombia	10,08	2,13	78,83

Fuente: Elaboración propia

3.2 DETERMINACIÓN DE COLOR

Para la determinación de color se realiza un promedio de las diez (10) lecturas que se toman de las coordenadas L^* a^* b^* con el colorímetro en cada una de las condiciones de medición, en los anexos 4, 5, 6 y 7 se pueden observar las listas de lecturas completas respectivamente para cada condición de la pulpa. A continuación, se muestran en la tabla 3 los resultados de los promedios para cada muestra

Tabla 3. Promedio de lecturas para color.

CONDICIÓN DE LA PULPA	VARIEDAD	LECTURA		
		L*	a*	b*
Pulpa Fresca	Castillo	18,86	7,72	3,34
	Caturra	19,11	9,31	3,92
	Colombia	20,17	8,20	4,85
70°C	Castillo	18,35	3,01	1,79
	Caturra	17,55	2,76	1,57
	Colombia	18,37	2,83	1,97
55°C	Castillo	17,72	3,45	1,98
	Caturra	17,91	3,00	2,46
	Colombia	18,26	3,07	1,92
Secado ambiente	Castillo	20,31	4,08	3,82
	Caturra	20,26	3,42	3,27
	Colombia	19,48	2,73	2,66

Fuente: Elaboración propia

3.3. MEDICIÓN DE PH DE LA PULPA DE CAFÉ

De acuerdo al procedimiento anteriormente explicado para la obtención del pH, en la tabla 4 se muestra un promedio de las tres lecturas hechas para cada muestra en cada condición de medición. En el Anexo 8,9,10 y 11 se pueden observar los resultados completos de cada medición.

Tabla 4. Promedio de lecturas de pH para color

	Caturra	Castillo	Colombia
Pulpa fresca	4,92	4,91	5,02
70°C	4,50	4,50	4,57
55°C	4,87	4,71	4,67
Secado Ambiente	4,04	3,83	3,95

Fuente: Elaboración propia

3.4. CONTENIDO DE CAFEÍNA Y ÁCIDOS CLOROGÉNICOS.

Teniendo en cuenta el procedimiento anteriormente mencionado, se analizaron treinta y seis (36) muestras en el cromatógrafo, en el cual, cada tipo de pulpa se denominó de diferente manera para mayor eficiencia en el cromatógrafo como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Denominación de las muestras analizadas en el cromatógrafo

# Lectura	Muestra	Tipo de pulpa
1	55CAT1	Pulpa seca a 55°C de la variedad Caturra
2	55CAT2	Pulpa seca a 55°C de la variedad Caturra
3	55CAT3	Pulpa seca a 55°C de la variedad Caturra
4	55COL1	Pulpa seca a 55°C de la variedad Colombia
5	55COL2	Pulpa seca a 55°C de la variedad Colombia
6	55COL3	Pulpa seca a 55°C de la variedad Colombia
7	55CAS1	Pulpa seca a 55°C de la variedad Castillo
8	55CAS2	Pulpa seca a 55°C de la variedad Castillo
9	55CAS3	Pulpa seca a 55°C de la variedad Castillo
10	PCAT1	Pulpa fresca de la variedad Caturra
11	PCAT2	Pulpa fresca de la variedad Caturra
12	PCAT3	Pulpa fresca de la variedad Caturra
13	PCOL1	Pulpa fresca de la variedad Colombia
14	PCOL2	Pulpa fresca de la variedad Colombia
15	PCOL3	Pulpa fresca de la variedad Colombia
16	PCAS1	Pulpa fresca de la variedad Castillo
17	PCAS2	Pulpa fresca de la variedad Castillo
18	PCAS3	Pulpa fresca de la variedad Castillo
19	70CAT1	Pulpa seca a 70°C de la variedad Caturra
20	70CAT2	Pulpa seca a 70°C de la variedad Caturra
21	70CAT3	Pulpa seca a 70°C de la variedad Caturra
22	70COL1	Pulpa seca a 70°C de la variedad Colombia
23	70COL2	Pulpa seca a 70°C de la variedad Colombia
24	70COL3	Pulpa seca a 70°C de la variedad Colombia
25	70CAS1	Pulpa seca a 70°C de la variedad Castillo
26	70CAS2	Pulpa seca a 70°C de la variedad Castillo
27	70CAS3	Pulpa seca a 70°C de la variedad Castillo
28	AMBCAT1	Pulpa seca al ambiente de la variedad Caturra
29	AMBCAT2	Pulpa seca al ambiente de la variedad Caturra
30	AMBCAT3	Pulpa seca al ambiente de la variedad Caturra
31	AMBCOL1	Pulpa seca al ambiente de la variedad Colombia
32	AMBCOL2	Pulpa seca al ambiente de la variedad Colombia
33	AMBCOL3	Pulpa seca al ambiente de la variedad Colombia
34	AMBCAS1	Pulpa seca al ambiente de la variedad Castillo
35	AMBCAS2	Pulpa seca al ambiente de la variedad Castillo
36	AMBCAS3	Pulpa seca al ambiente de la variedad Castillo

Fuente: Elaboración propia

3.5 CUANTIFICACIÓN DE CAFEÍNA

Siguiendo la metodología mencionada en el capítulo anterior se realizaron dos curvas de calibración para dos columnas donde se realiza la lectura de cafeína en las muestras y se obtuvieron los siguientes datos como se puede observar en la tabla 6 para cada una respectivamente:

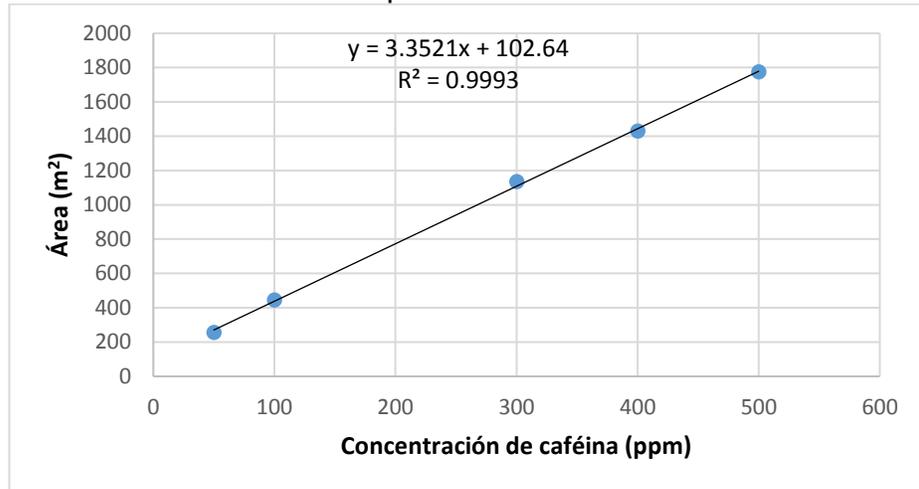
Tabla 6. Resultados de curva estándar para la cafeína

Concentración mg/L	Tiempo de retención		Área	
	Columna 1	Columna 2	Columna 1	Columna 2
50	6,88	8,14	255,69	233,80
100	6,86	8,14	444,68	513,60
300	6,86	8,14	1.134,77	1.012,97
400	6,89	8,13	1.428,57	1.480,21
500	6,88	8,12	1.774,77	2.487,89
Promedio	6,87	8,13		

Fuente: Elaboración propia

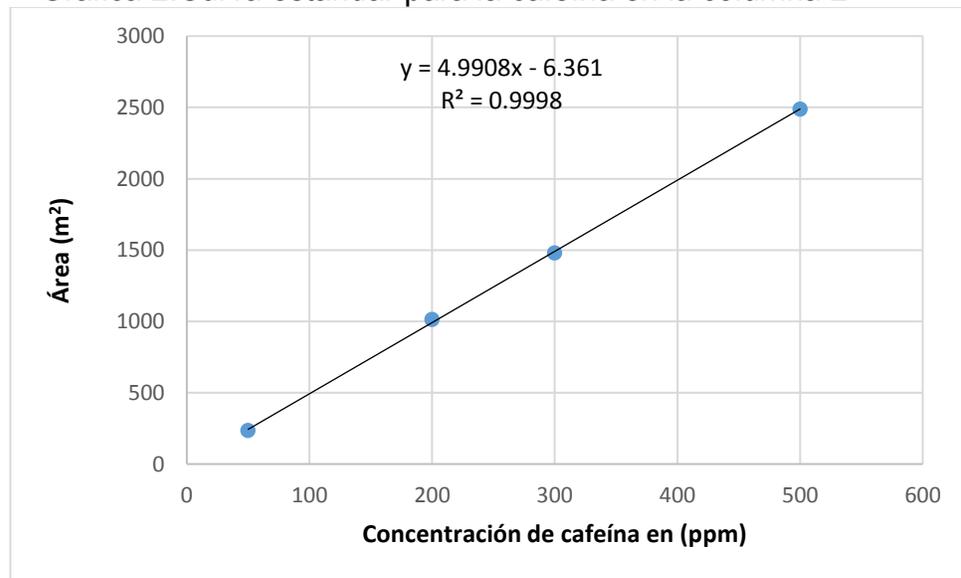
Se muestra en las Gráficas 1 y 2 la curva estándar para la cuantificación de cafeína que se obtuvo por regresión lineal para la columna 1 y 2 del cromatógrafo respectivamente. La variable dependiente muestra el área de cafeína reportada por cada cromatograma realizado, la variable independiente representa la concentración en mg de cafeína/L de agua-metanol, se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9993 para la columna 1 y de 0.9998 para la columna 2, indicando una relación directa entre la concentración de cafeína y su área bajo la curva de cafeína registrado en el HPLC.

Gráfica 1. Curvar estándar para la cafeína en la columna 1.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2. Curva estándar para la cafeína en la columna 2



Fuente: Elaboración propia

Para cuantificar la concentración de cafeína es necesario realizar la regresión lineal de la curva de calibración que fue: $y = 3,3521x + 102,64$ con $R^2 = 0,9993$ para la columna 1, mientras que para la columna 2 fue: $y = 4,9908x - 6,361$ con $R^2 = 0,9998$

Teniendo en cuenta lo anterior las ecuaciones obtenidas corresponden a:

$$y: mx + b$$

Donde:
Y: Área

m: Pendiente de la curva de calibración

x: Concentración de cafeína de las muestras inyectadas (ppm)

b: Ordenada en el origen de la curva de calibrado

De acuerdo a lo anterior, se obtuvieron las siguientes lecturas para las muestras de pulpa de café ubicadas en la columna 1 en el cromatógrafo, donde se puede reflejar en la tabla 7 que no coincidieron con el tiempo de retención promedio estimado en esa columna que fue de 6,87 minutos, debido que en la mayoría de los casos el estado de pulpa no es totalmente homogéneo, es decir que existen partículas no maduras a pesar de los procesos de selección.

Tabla 7. Resultados de cromatografía para las muestras de la columna 1

Muestra	Área	Tiempo (min)	Tiempo promedio Columna 1
55CAT1	243,11	7,84	6,87
55CAT2	282,16	7,85	6,87
55CAT3	243,04	7,86	6,87
55COL1	312,92	7,87	6,87
55COL2	299,52	7,88	6,87
55COL3	322,63	7,88	6,87
55CAS1	214,75	7,87	6,87
55CAS2	157,01	7,87	6,87
55CAS3	249,22	7,86	6,87
PCAT1	92,74	7,97	6,87
PCAT2	90,99	8,00	6,87
PCAS1	121,91	8,00	6,87
PCAS2	117,10	7,98	6,87
PCAS3	113,56	7,98	6,87
70CAT1	459,66	7,97	6,87
70CAT2	454,27	7,97	6,87

Fuente: Elaboración propia

Para las muestras ubicadas en la columna dos del cromatógrafo se puede observar en la tabla 8 que, varias de ellas coincidieron con el tiempo de retención promedio de la calibración, resaltadas en amarillo mostrando que contienen concentración de cafeína en dicho tiempo.

Tabla 8. Resultados de cafeína para la columna 2

Muestra	Área	Tiempo (min)	Tiempo promedio Columna 2
PCAT3	114,58	8,10	8,13
PCOL1	130,23	8,05	8,13
PCOL2	128,93	8,06	8,13
PCOL3	113,98	8,08	8,13
70CAT3	454,33	7,94	8,13
70COL1	428,66	8,09	8,13
70COL2	597,58	7,91	8,13
70COL3	648,09	7,93	8,13
70CAS1	513,55	7,95	8,13
70CAS2	529,27	7,95	8,13
70CAS3	541,24	7,93	8,13
AMBCAT1	392,65	8,10	8,13
AMBCAT2	380,41	8,12	8,13
AMBCAT3	393,18	8,07	8,13
AMBCOL1	375,22	7,93	8,13
AMBCOL2	362,28	7,92	8,13
AMBCOL3	335,08	7,91	8,13
AMBCAS1	193,65	7,91	8,13
AMBCAS2	367,47	7,90	8,13
AMBCAS3	259,11	7,90	8,13

Fuente: Elaboración propia

Despejando x de la ecuación obtenida por regresión lineal se pueden determinar las concentraciones de cafeína para las anteriores muestras como se refleja en la tabla 9.

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Como las muestras que detectaron cafeína en un tiempo adecuado (8,1 minutos) estaban ubicadas en la columna 2, utilizan los siguientes datos: $y = 4,9908x - 6,361$.

$$x = \frac{y + 6,361}{4,9908}$$

Tabla 9. Resultados de concentración de cafeína

Muestra	Área	Concentración mg/L
PCAT3	114,58	24,23
PCOL1	130,23	27,37
PCOL2	128,93	27,11
PCOL3	113,98	24,11
70COL1	428,66	87,16
AMBCAT1	392,65	79,95
AMBCAT2	380,41	77,50
AMBCAT3	393,18	80,06

Fuente: Elaboración propia

3.6 CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS CLOROGÉNICOS

En la cuantificación de ácidos clorogénicos se sigue el mismo procedimiento de cuantificación de cafeína, donde se realiza una calibración en cada columna del cromatógrafo donde se analizan las muestras donde los resultados se pueden observar en la tabla 10.

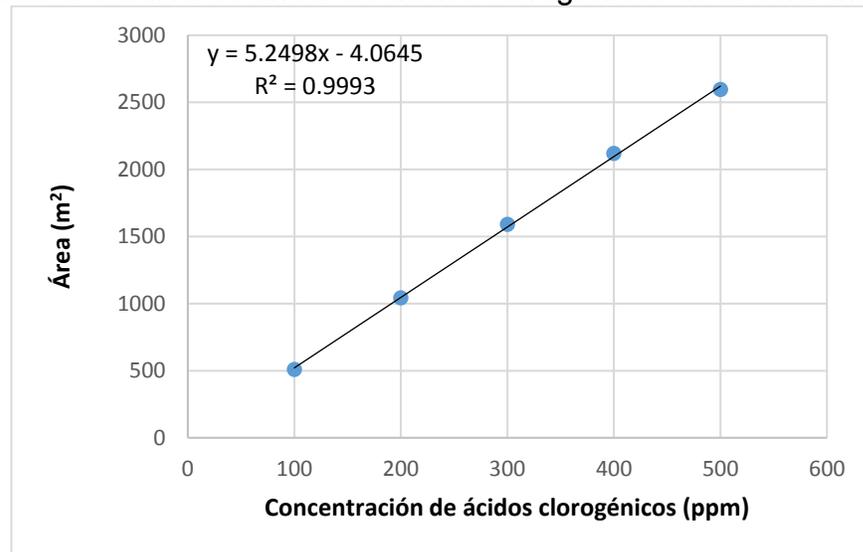
Tabla 10. Resultados de calibración para la cuantificación de ácidos clorogénicos.

Concentración mg/L	Tiempo de retención		Área	
	Columna 1	Columna 2	Columna 1	Columna 2
100	6,05	7,39	509,0	567,7
200	6,08	7,36	1.041,0	1.171,9
300	6,06	7,38	1.590,2	1.796,0
400	6,07	7,35	2.119,7	2.366,0
500	6,08	7,36	2.594,5	2.884,3
Promedio de tiempo de retención	6,07	7,37		

Fuente: Elaboración propia

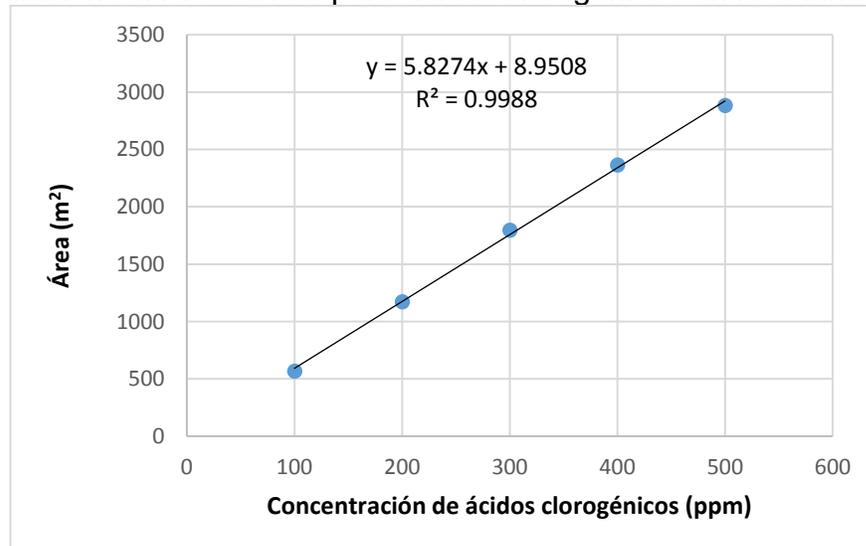
Se muestran en las gráficas 3 y 4 la curva estándar de la columna 1 y 2 respectivamente, para la cuantificación de ácidos clorogénicos, que se obtuvo por regresión lineal. La variable dependiente muestra el área de ácidos clorogénicos reportados por cada cromatograma realizado mientras que la variable independiente representa la concentración de ácidos clorogénicos en partes por millón de agua-metanol. Se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9993 para la columna 1 y 0,9988 para la columna 2, indicando una relación directa entre la concentración de ácidos clorogénicos en g/L y su área bajo la curva de ácidos clorogénicos registrado en el HPLC.

Gráfica 3. Curva estándar de ácidos clorogénicos de la columna 1.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Curva estándar para ácidos clorogénicos en la columna 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para cuantificar la concentración de ácidos clorogénicos se realiza de igual manera, obteniendo la regresión lineal de la curva de calibrado que fue: $y = 5,2498x - 4,0645$ con $R^2 = 0,9993$ en la columna 1, mientras que para la columna 2 fue: $y = 5,8274x + 8,9508$ con $R^2 = 0,9988$.

Al igual que en la determinación de concentración de cafeína se utilizan los mismos parámetros de la ecuación lineal utilizada.

Los datos se compararon frente a los tiempos de retención utilizados en cada calibración respectivamente, debido que es el tiempo de retención el que indica de acuerdo a la calibración la concentración de ácidos clorogénicos que existe en ese momento, un tiempo diferente realiza una lectura de otro compuesto diferente al que se está estudiando. A continuación, se muestran en la tabla 11 los datos obtenidos en la columna 1 de acuerdo a la ubicación de las muestras, donde se puede reflejar que no existe lectura en el tiempo de retención estimado de ácidos clorogénicos.

Tabla 11. Resultados de cromatografía para la columna 1

Muestra	Área	Tiempo (min)	Tiempo de retención Columna 1
55CAT1	27,66	7,13	6,07
55CAT2	96,78	7,14	6,07
55CAT3	52,66	7,16	6,07
55COL1	126,10	7,17	6,07
55COL2	152,72	7,19	6,07
55COL3	216,47	7,20	6,07
55CAS1	285,59	7,19	6,07
55CAS2	90,83	7,19	6,07
Muestra	Área	Tiempo (min)	Tiempo de retención Columna 1
55CAS3	101,37	7,18	6,07
PCAT1	174,79	7,26	6,07
PCAT2	223,89	7,29	6,07
PCAT3	194,31	7,30	6,07
PCOL3	155,75	7,30	6,07
PCAS1	122,12	7,29	6,07
PCAS2	140,90	7,28	6,07
PCAS3	100,48	7,29	6,07

Fuente: Elaboración propia

Para la columna 2, se obtuvieron las siguientes lecturas en el cromatógrafo, donde se pueden reflejar en la tabla 12 las muestras (Resaltadas en amarillo) que contienen concentración de ácidos clorogénicos en el mismo tiempo de retención aproximado al tiempo de retención promedio de la curva de calibración realizada en dicha columna:

Tabla 12. Resultados de cromatografía para la columna 2

Muestra	Área	Tiempo (min)	Tiempo de retención promedio Columna 2
PCOL1	103,31	7,31	7,37
PCOL2	67,09	7,30	7,37
70CAT1	352,48	7,28	7,37
70CAT2	352,41	7,29	7,37
70CAT3	355,26	7,25	7,37
70COL1	87,66	7,31	7,37
70COL2	296,53	7,26	7,37
70COL3	191,46	7,25	7,37
70CAS1	165,83	7,27	7,37
70CAS2	193,19	7,26	7,37
70CAS3	200,98	7,26	7,37
AMBCAT1	273,64	7,35	7,37
AMBCAT2	253,92	7,35	7,37
AMBCAT3	395,66	7,24	7,37
AMBCOL1	309,21	7,25	7,37
AMBCOL2	263,78	7,24	7,37
AMBCOL3	284,81	7,24	7,37
AMBCAS1	274,18	7,24	7,37
AMBCAS2	443,49	7,23	7,37
AMBCAS3	253,07	7,23	7,37

Fuente: Elaboración propia

Debido a que las muestras que contienen ácidos clorogénicos en el tiempo de retención promedio similar se encuentran ubicadas en la columna 2, se utilizará la ecuación lineal de dicha calibración para poder realizar la cuantificación de concentración de ácidos clorogénicos de cada muestra cómo se puede ver en la tabla 13, las cuales se obtienen despejando x:

$$x = \frac{y - 8,9508}{5,8274}$$

Tabla 13. Resultados de concentración Ácidos Clorogénicos

Muestra	Área	Concentración mg/L
PCOL1	103,31	16,19
PCOL2	67,09	9,98
70COL1	87,66	13,51
AMBCAT1	273,64	45,42
AMBCAT2	253,92	42,04

Fuente: Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

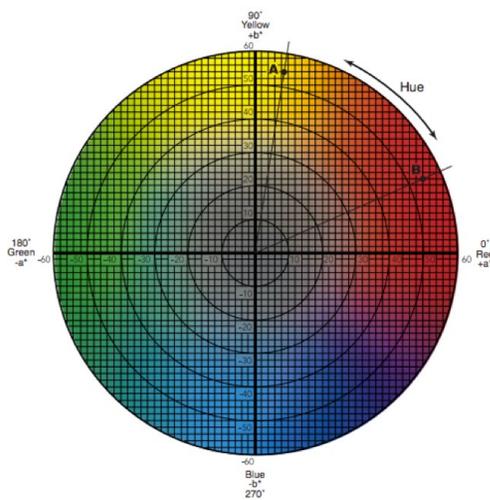
5.1 ACIDEZ DE LA PULPA DE CAFÉ.

La acidez del café es una cualidad la cual se incrementa con la altitud del área o lote del café y modifica dependiendo del grado de madurez del fruto, su rango de pH en los suelos agrícolas normalmente varían entre 4 y 10²³. Según los resultados obtenidos para las variedades de café indica que todas tienen una acidez, indicando un contenido de aluminio en el suelo, el cual no se ha controlado con su debido proceso antes del cultivo, también esta cualidad se incrementa con la altitud del área o el lote del café, también se ve modificada de igual forma por el grado de madurez del fruto, así como también factores climáticos que puede inferir.

5.2 DETERMINACIÓN DE COLOR

De acuerdo con los resultados obtenidos para las variedades de café en sus diferentes condiciones, se puede reflejar que la pulpa mantiene su color independientemente de los procesos de secado por los cuales es sometida, el color se interpreta en la ilustración 16:

Ilustración 16. Determinación de coordenadas



Fuente: KonicaMinolta. "Espectrofotómetro CM-700d". {En línea}. {17 de Mayo de 2018} disponible en: (<http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-700d-spectrophotometer/>).

De acuerdo a la ilustración anterior los valores obtenidos por el espectrofotómetro de las muestras de pulpa de café estudiadas arrojaron valores cercanos a los 0° indicando una coloración rojiza para las muestras, debido que los granos de café recolectados fueron en estado de maduración.

²³ Sadeghian Khalajabadi, Siavosh. La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. En Colombia. Abril, 2016. ISSN-0120-0178

5.3 CAFEÍNA POR HPLC

Se realiza una relación de acuerdo al peso con el cual se realizó la preparación de la muestra analizada en el cromatógrafo de la siguiente manera, para dejar la concentración de cafeína expresada en gramos por kilogramo de café, como se muestra en la tabla 14 para la pulpa fresca y tabla 15 para la pulpa seca:

$$\frac{\text{gramos de cafeína}}{\text{Kilogramo de pulpa café}} = \frac{\text{concentración de cafeína mg}}{\text{cantidad de pulpa en la preparación g}} * \frac{0,05 \text{ L de agua}}{1 \text{ L de agua}} * \frac{1 \text{ g cafeína}}{1000 \text{ mg de cafeína}} * \frac{1000 \text{ g pulpa}}{1 \text{ kg pulpa}}$$

Tabla 14. Contenido de cafeína en kg de pulpa fresca

Muestras	Concentración de cafeína mg/L	Cantidad de pulpa fresca(g)	g de cafeína /kg de pulpa
PCAT3	24,23	1,00	1,21
PCOL1	27,37	1,02	1,34
PCOL2	27,11	1,00	1,35
PCOL3	24,11	1,00	1,21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Contenido de cafeína en kg de pulpa seca

Muestra	Concentración mg/L	Cantidad de pulpa seca (g)	g de cafeína/kg de pulpa seca
70COL1	87,16	1,00	4,37
AMBCAT1	79,95	1,11	3,59
AMBCAT2	77,50	1,08	3,58
AMBCAT3	80,06	1,08	3,70

Fuente: Elaboración propia.

Anteriormente ya se había realizado un estudio de la cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución en Honduras en el año 2008, trabajo el cual fue elaborado por José Roberto López²⁴ en donde calcula las concentraciones de estos compuestos en la pulpa de café. El contenido de cafeína que él cuantificó fue de 15,487 g de cafeína en 1 kg de pulpa de café. Para llegar a esa concentración en este proyecto es necesario aumentar el contenido de pulpa seca en la misma cantidad de volumen que se utilizó en la realización del extracto de la preparación de las muestras que fue de 100 mL de metanol-agua. Para calcular este contenido se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{Contenido de pulpa necesario} = \frac{\text{Concentración establecida} * \text{contenido en g analizado}}{\text{Concentración analizada}}$$

²⁴ López, José. Cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Trabajo de grado. Honduras. 2008.

A continuación, en la tabla 16, se muestran los resultados de la cantidad de pulpa seca que se necesitan para lograr la concentración establecida (15,487 g de cafeína/kg de pulpa seca).

Tabla 16. Cantidad de gramos necesarios para el producto

Muestra	g de cafeína/kg de pulpa de café	Cantidad necesaria de pulpa(g)
70COL1	4,37	3,54
AMBCAT1	3,59	4,79
AMBCAT2	3,58	4,67
AMBCAT3	3,70	4,52

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla anterior la variedad Caturra es la que necesita menor cantidad en gramos de pulpa seca para llegar a esta concentración que se tiene en literatura, y también la que menos costo implicaría en la producción debido que su condición adecuada de secado fue al ambiente.

Respecto a todos los resultados obtenidos de cafeína en la pulpa de café se puede observar una clara diferencia entre la fresca y la seca, debido a que altas temperaturas los compuestos se concentran más, aunque cabe resaltar que la pulpa, al perder la humedad, pierde su proporción en el tamaño esto hace que se necesite mayor cantidad de café para lograr una proporción estable.

5.4 ÁCIDOS CLOROGÉNICOS

Para la comparación de ácidos clorogénicos de acuerdo a la literatura que esta expresada en porcentaje (%), se realiza una relación de acuerdo con el peso el cual se preparó la muestra analizada en el cromatógrafo de la siguiente manera como se muestra en la tabla 17 para la pulpa fresca y tabla 18 para la pulpa seca:

$$\% A.C = \frac{\text{Concentración de A.C mg}}{1 \text{ L de agua}} * \frac{0,05 \text{ L de agua}}{\text{g de pulpa pesada}} * \frac{1 \text{ g de pulpa}}{1000 \text{ mg de A.C}} * 100\%$$

Tabla 17. Porcentaje de Ácidos Clorogénicos en pulpa fresca

Muestra	A.C mg/L	Cantidad de pulpa fresca(g)	A.C%
PCOL1	16,192	1,024	0,079
PCOL2	9,977	1,005	0,050

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Porcentaje de Ácidos Clorogénicos en pulpa seca

Muestra	A.C mg/L	Cantidad de pulpa seca(g)	A.C %
70COL1	13,506	0,997	0,068
AMBCAT1	45,421	1,114	0,204
AMBCAT2	42,037	1,083	0,194

Fuente: Elaboración propia

En concordancia con el trabajo de grado realizado por José Roberto López²⁵, el porcentaje de ácidos clorogénicos en la pulpa que él estudió fue de 3%, donde se puede observar en la anterior tabla una gran diferencia entre el contenido de ácidos clorogénicos en las variedades de café del Huila y la analizada por dicho autor. Al igual que para la cafeína se estableció la misma relación para calcular la cantidad de gramos que se deben utilizar para igualar dicho contenido de ácidos clorogénicos, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Cantidad requerida de pulpa seca para ácidos clorogénicos

Muestra	% A.C	Cantidad necesaria de pulpa (g)
70COL1	0,068	43,99
AMBCAT1	0,204	16,38
AMBCAT2	0,194	16,74

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, la muestra que se acerca al contenido de ácidos clorogénicos es la variedad caturra en condición de secado ambiente, teniendo una menor diferencia respecto a las demás, requiriendo una pequeña diferencia de gramos en su contenido final.

Dados los resultados obtenidos de cafeína y ácidos clorogénicos, las dos muestras que fueron viables para cada procedimiento fueron respectivamente: la variedad Colombia seca a 70°C y la variedad caturra en condición de secado ambiente. De acuerdo a los resultados de estas muestras se realizará una correlación como se ve en la tabla 20 entre ellas para determinar la viabilidad de alguna de ellas.

²⁵ López, José. Cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Trabajo de grado. Honduras. 2008.

Tabla 20. Correlación de variedad Colombia y caturra.

Muestra	Cantidad de pulpa seca requerida(g)	
	Ácidos clorogénicos	Cafeína
70COL1	43,99	3,54
AMBCAT1	16,38	4,79

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la comparación entre las dos variedades se puede decir que la más adecuada para la elaboración de té sultana es la variedad Caturra en condición de secado ambiente, debido que es la que contiene la misma concentración de ácidos clorogénico siguiendo el estudio realizado por José Roberto López, con 27,61 g menos de pulpa seca respecto a la variedad Colombia. Al contener 16,38 g de pulpa seca sobrepasa la concentración de 15,67g de cafeína/ kg de pulpa de café, siendo más adecuada aún la variedad caturra para la elaboración del té.

Cabe resaltar que el consumo de las bebidas tipo té ha logrado ascender en los últimos años²⁶ creando en el interés en investigadores para el estudio de las propiedades químicas de diferentes plantas que se puedan utilizar por medio de una infusión como té para el consumo humano.

Es así que en el año 2017 se realizó un estudio en la Escuela de Nutrición y Dietética en la Universidad de Antioquia ubicada en Medellín, Colombia²⁷, donde se realizó un proyecto de investigación de las hojas de *Ilex laurina* K como potencial de materia prima, alimento funcional y sustituyente del convencional té de mate *Ilex paraguariensis*; para evaluar las propiedades nutricionales y fisicoquímicas por medio de cromatografía líquida de alta eficacia HPLC de dicha hoja.

Donde las concentraciones de cafeína, teobromina, ácido clorogénico y p-cumárico fueron muy superiores en la muestra de ILK en comparación con la de IP como se puede ver en la tabla 21.

²⁶ Portafolio. "En ascenso el consumo de té en Colombia" Abril de 2014" {En línea}. {22 de Agosto de 2018} disponible en: <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/ascenso-consumo-colombia-41662>

²⁷ Pérez JM, Cardona W, Urango L, Alzate F, Rojano B, Maldonado ME. Aspectos nutricionales y fisicoquímicos de *Ilex laurina* Kunth (Aquifoliaceae): un estudio comparativo con *Ilex paraguariensis*. *Perspect Nutr Humana*. 2017;19:41-54. DOI: 10.17533/udea.penh. v19n1a04

Tabla 21. Concentraciones de los compuestos por HPLC.

Compuesto	I. paraguariensis I. (mg/L)	Iaurina K(mg/L)
Cafeína	873,0	1189,9
Teobromina	1112,5	2017,7
Ácido Clorogénico	98,6	429,2
Ácido cafeico	47,4	52,6
Ácido p-cumárico	24,4	47,3
Ácido ferúlico	No contiene	21,5

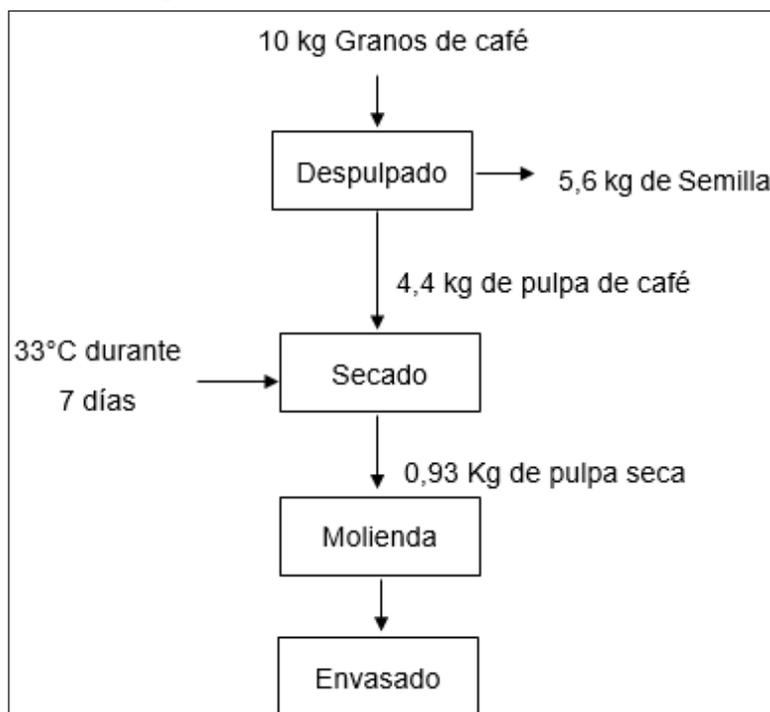
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta esta investigación cabe resaltar que las concentraciones de cafeína y ácidos clorogénicos estudiados en la pulpa de café de este proyecto fueron bastante inferior respecto con las hojas de Ilex Iaurina y las hojas Ilex paraguariensis creando así una gran desventaja en el mercado para la elaboración de la bebida de té sultana en un futuro.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección, se realiza un análisis de los costos de producción estimados de pulpa de café deshidratada a partir de 10 kg de granos de café, la cual se va a destinar para la producción de té. Para este análisis solamente se tiene en cuenta las siguientes etapas: despulpado, secado ambiente, molienda, envasado y mano de obra debido que el té Sultana es un subproducto del café, como se muestra en la ilustración 17.

Ilustración 17. Diagrama de bloques para la producción de té Sultana



Fuente: Elaboración propia.

6.1 COSTOS DE OPERACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO

Estos costos se basan en 10 kg de granos de café, los cuales los datos de esta sección se fundamentan en relación con el precio de la electricidad en el cuadro 1 a mayo de 2018.

Cuadro 1. Precio de electricidad.

Precio electricidad (\$/KW*h) ²⁸	443.55
---	--------

Fuente: Elaboración propia

²⁸ Codensa. "Tarifas de energía eléctrica (\$/KWH) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (creg) marzo de 2018" {En línea}. {26 de Mayo de 2018} disponible en: (<https://www.codensa.com.co/document/Tarifario-mayo-2018.pdf>).

6.2 OPERACIÓN DE DESPULPADO

El tiempo de despulpado para 10 Kg de café fue de 15 min, lo que equivale a 0.25h para facilidades de cálculo. A continuación, en el cuadro 2, se el consumo del equipo utilizado para la operación de despulpado:

Cuadro 2. Valor de consumo de la despulpadora

Equipo	Valor (pesos)	Consumo (KW)
Despulpadora Gaviota Ingesec 300	4,500,000	3

Fuente: Elaboración propia.

Con el precio de la electricidad se puede estimar el costo de la operación de despulpado para 10 kg de café que fue la base de cálculo que se planteó al principio de este capítulo y el precio de la electricidad expuesto anteriormente, se pueden estimar los costos de la operación de despulpado.

$$3 \text{ KW} * 0.25\text{h} = 0,75 \text{ KW} * \text{h} * \left(\frac{\$443.55}{1\text{KW} * \text{h}} \right) = \$332.66$$

Donde la pulpa representa aproximadamente el 44% del fruto completo, quedando de esta manera 4,4 kg de pulpa para la elaboración del té.

Dicho porcentaje es la utilización en costos del equipo dado que es un proceso que se debe utilizar en la elaboración de café, teniendo de esta manera un costo de manejo de \$133,06.

6.3 OPERACIÓN DE SECADO

Los costos de operación en el secado no se analizan puesto que en el secado natural no existe consumo energético, ya que este método de secado es al aire libre sin convección forzada.

Luego de realizar el proceso de secado en condición ambiente de 4,4 Kg de pulpa de café, es necesario realizar la diferencia en el contenido de humedad retirado, que para el caso de la variedad Caturra es en promedio 78,94%, obteniendo de esta manera 0,93 Kg de pulpa seca (926,64 g).

6.4 OPERACIÓN DE MOLIENDA

La molienda de café en el equipo investigado tiene una productividad de un kilogramo por hora²⁹, es decir, que para este proyecto se estudiará el costo de

²⁹ Quisbert, Carmelo. "Estudio de factibilidad para la producción de sultana instantánea en polvo". {En línea}. {7 de Junio de 2018} disponible en: (<https://es.calameo.com/read/004899612dee2dd11dead>).

solamente una hora para moler la materia que se tiene. El consumo energético del equipo empleado se muestra en el cuadro 3:

Cuadro 3. Consumo energético en la molienda

Equipo	Valor (pesos)	Consumo (KW) ³⁰
Morteadora para café pergamino 1.5	17,500,000	4

Fuente: Elaboración propia

Con el precio de la electricidad expuesto anteriormente se puede plantear una estimación de los costos de operación de secado.

$$4 \text{ KW} * 1\text{h} = 4 \text{ KW} * \text{h} * \left(\frac{\$443.55}{1 \text{ KW} * \text{h}} \right) = \$1,774.2$$

6.5 OPERACIÓN DE ENVASADO Y SELLAMIENTO

En la actualidad existe una máquina envasadora de té SP-A 600 en bolsas, la cual puede realizar automáticamente las siguientes tareas: Introducción de té o hierbas, sellado en caliente automáticamente, pegado de hilo, etiquetado, sellado del sobre y conteo de 100 bolsas de té por minuto.

Puesto que se tienen 926,64 g de pulpa seca y son necesarios 16,38g de pulpa seca para cumplir con los parámetros de cafeína y ácidos clorogénicos en cada sobre, se puede decir que se tendrían aproximadamente 56 bolsas de té en esa cantidad de gramos inicial, debido a esto para envasar y sellar esta cantidad de gramos en bolsas de té el equipo propuesto solo tardaría un minuto en almacenar los productos.

Cuadro 4. Consumo energético para el sellamiento y envasado.

Equipo	Consumo (KW) ³¹
SP-A 600 Envasadora de té	3.7

Fuente: Elaboración propia.

Con el precio de la electricidad expuesto anteriormente se puede plantear una estimación de los costos de operación de secado.

³⁰ Memmert. "Estufa universal UN55". [En línea]. {26 de Mayo de 2018} disponible en: (<https://www.memmert.com/es/el-producto/estufas-estufas-de-secado/estufa-universal/UN55/>).

³¹ Chinapak. "Máquina automática envasadora de té en bolsitas saquitos". [En línea]. {7 de Junio de 2018} disponible en: (<http://www.chinapak.es/maquina-automatica-ensavadora-de-te-en-bolsitas-saquitos/>).

$$3.7 \text{ KW} * 1 \text{ min} = 3.7 \text{ KW} * \text{min} * \left(\frac{\$443.55}{1 \text{ KW} * \text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) = \$27.35$$

6.6 MANO DE OBRA

Debido a que se está evaluando una base de 10 kg de café para la producción de té Sultana, no se requiere más de un día de trabajo para llegar al producto final, lo cual un día de trabajo de ocho horas para un caficultor tiene un costo de \$28.000.³² Se debe tener en cuenta que todo el proceso tarda un tiempo aproximado de dos horas por lo cual un trabajador alcanzaría a repetir el proceso 4 veces, es decir que para el procesamiento de los 10 kg la mano de obra es de \$7.000.

A continuación, se muestra en la tabla 22 los costos de procesamiento de 10Kg de café para la obtención de una bebida de té sultana.

Tabla 22. Costos para la producción de té Sultana.

Etapa	Precio estimado (\$)
Despulpado	133,06
Molienda	1,774.2
Envasado y sellamiento	27.35
Mano de obra	7,000
Total	\$8,935.21

³² Colombia “Cerca de 300.000 pesos semanales puede ganar un recolector de café” . {En línea}. {14 de Agosto de 2018} disponible en: <https://www.colombia.com/actualidad/nacionales/sdi/120405/cerca-de-300000-pesos-semanales-puede-ganar-un-recolector-de-cafe>.

7. CONCLUSIONES

- La condición adecuada para llevar a cabo el proceso de secado es al ambiente en una temperatura de 33°C en promedio, la cual fue la registrada en la ciudad de Neiva, ya que no existe costo energético y contiene propiedades luego del proceso.
- Por medio de cromatografía HPLC se determinaron las concentraciones para cafeína y ácidos clorogénicos los cuales realizaron una lectura de baja concentración para ambos casos y no todas las muestras analizadas reflejaron resultados óptimos, pues existen factores externos que afectan la materia estudiada ya que es un fruto el cual no es homogéneo en su totalidad.
- Para la conservación de ácidos clorogénicos la temperatura adecuada es de secado ambiente durante un tiempo de aproximadamente diez (10) días con una temperatura promedio de 33°C, mientras que para la conservación de cafeína la variedad que más se asimiló a la literatura fue Colombia, en un secado a 70°C durando 24 horas mediante un horno de secado.
- Para la elaboración de una bebida tipo té a partir de la pulpa de café, que es un residuo en el procesamiento del café, se debe tener en cuenta que lo importante es economizar gastos para aumentar la viabilidad de este subproducto haciendo de este un proyecto social para los cafeteros de la región, donde la mayoría de procesos se pueden realizar de manera manual (recolección, selección y despulpado) y artesanal (envasado a pequeña escala), reduciendo de esta manera costos energéticos y la inversión de equipos para ellos.
- Al realizar una mayor escala de producción de té Sultana realizando un análisis financiero respecto a los resultados obtenidos se puede deducir que por cada bulto de café (125 kilogramos) tendría un precio de \$111.690.
- Respecto al té de mate, el té sultana contiene menor concentración de compuestos químicos en su composición generando una desventaja en su producción.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación donde se siga la norma técnica colombiana 2442 (NTC 2442) la cual especifica métodos para la determinación del grado de tosti3n en caf3 tostado en grano y/o molido mediante mediciones colorim3tricas.
- Para la determinaci3n del grado de humedad es necesario evaluar otras condiciones de tiempo y temperaturas de secado, y comparar si existe un grado de diferencia en las concentraciones finales de las propiedades qu3micas.
- Es necesario tener en cuenta los valores de las propiedades qu3micas por medio de cromatograf3a l3quida de alta eficacia exactos del T3 sultana elaborado en Bolivia para poder comparar con los encontrados en las diferentes literaturas y con los obtenidos en las muestras de caf3 estudiados.
- Se recomienda realizar un an3lisis m3s detallado sobre los flujos en el proceso de despulpado del grano de caf3 teniendo en cuenta todos los residuos que se generan en la recolecci3n y selecci3n de caf3, as3 como tambi3n contemplar el tiempo en el cual se realiza la recolecta.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO A., G.; MORENO G., E.; MONTOYA R., E.C.; ALARCÓN S., R. Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo® y sus derivadas regionales. *Cenicafé* 60(3):210-228. 2009.

BLANDÓN C., G.; RODRÍGUEZ V., N.; DÁVILA A., M.T. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé (Colombia,1998)* 49(3):169-185.

BRESSANI, R.; E. Estrada y R. Jar-quín. Pulpa y pergamino de Café. I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. *Turrialba* 22: 299-304, 1972.

CALLE AZNAR S. Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales. [Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Química]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya; 2011.

CAMARGO, M.C.R. & TOLEDO, M.C.F.. Caffeine content of commercial Brazilian coffee. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1998,18, 421–424.

CAMARGO, M.C.R. & TOLEDO, M.C.F. HPLC determination of caffeine in tea, chocolate products and carbonated beverages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (1999). 79, 1861–1864.

CASAL, S., BEATRIZ OLIVEIRA, M. & FERREIRA, M.A. HPLC/diode-array applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. *Food Chemistry*. (2000). 68, 481–485.

CASTILLO, R., CARBALLO, L., PÉREZ, N., FERNÁNDEZ, R. Estudio de la composición química del residuo sólido del beneficio húmedo del café en bahía honda, pinar del Río. Centro de Estudios Forestales. Montes de Oca. Pinar del Río. 2002.

CENICAFÉ. La variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. Chinchiná, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 342).

FARAH, A. & DONANGELO, C.M. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18,23–36.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación, presentación de tesis, trabajos de grados y otros trabajos de investigaciones. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 2008, p. 1

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y escritura... NTC 5613. Bogotá: El instituto, 2008, p.12

_____. Referencias Documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C...: INCONTEC, 2002. NTC-ISO 19011.

_____. Referencias documentales para la fuente de información electrónicas. NTC 4490

IVES YOPLAC, Efecto de la Alimentación con Pulpa de Café (*Coffea arábica*) en los Índices Productivos de Cuyes (*Cavia porcellus* L) Raza Perú. Vol. 28, Núm. 3 (2017).

KY, C.L; LOUARN, J; DUSSERT, S; GUYOT, B; HAMON, S; NOIROT, M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry* (75) 223–230.

KY, C; NOIROT; M; HAMON, S. 1997. Comparison of five purification methods for chlorogenic acids in green coffee beans (*coffea* sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (45) 785-790.

LÓPEZ, JOSÉ. Cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Trabajo de grado. Honduras. 2008.

M. W. DONG. *Handbook of Pharmaceutical Analysis by HPLC Volume 6*. Amsterdam. Elsevier B.V., 2005

MARÍA L. MARÍN GARCÍA. *Bases químicas del medio ambiente: manual de laboratorio*. Valencia, Editorial de la UPV, 2004.

PÉREZ JM, CARDONA W, URANGO L, ALZATE F, ROJANO B, MALDONADO ME. Aspectos nutricionales y fisicoquímicos de *Ilex laurina* Kunth (Aquifoliaceae): un estudio comparativo con *Ilex paraguariensis*. *Perspect Nutr Humana*. 2017;19:41-54. DOI: 10.17533/udea.penh. v19n1a04.

RODRÍGUEZ, N. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario Internacional: Gestión Integral de Residuos sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. 2002.

RODRÍGUEZ V., N.; QUINTERO Y., L. V. (2015). Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio húmedo del café. *Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación*. 2015. 2 p.

S. MENG, J. CAO, Q. FENG, J. PENG, AND Y. HU, Evidence-Based Complementary Altern. Med., 2013, 801457.

SILVA, LETICIA. Bebidas energizantes: composición química y efectos en el organismo humano. Bogotá. 2015. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias

ANEXOS

Anexo A.

Tabla de resultados de pérdida de contenido de humedad para la pulpa seca

Pulpa seca a 70°C											
Caturra	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Colombia	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Castillo	Pi (g)	Pf (g)	CH %
1	10,31	2,24	78,27	1	10,10	2,05	79,69	1	10,32	1,74	83,14
2	10,46	2,35	77,52	2	10,16	2,12	79,10	2	10,17	1,87	81,66
3	10,20	2,16	78,83	3	10,34	2,14	79,32	3	10,26	1,86	81,84
Promedio	10,32	2,25	78,21	Promedio	10,20	2,10	79,37	Promedio	10,25	1,82	82,21

Pulpa seca a 55°C											
Caturra	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Colombia	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Castillo	Pi (g)	Pf (g)	CH %
1	10,09	2,09	79,27	1	10,14	2,13	78,98	1	10,18	2,24	78,01
2	10,09	2,15	78,68	2	10,41	2,15	79,34	2	10,21	2,11	79,35
3	10,06	2,08	79,30	3	10,42	2,17	79,21	3	10,04	2,02	79,84
Promedio	10,08	2,11	79,09	Promedio	10,32	2,15	79,17	Promedio	10,14	2,12	79,07

Pulpa a Secado ambiente											
Caturra	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Colombia	Pi (g)	Pf (g)	CH %	Castillo	Pi (g)	Pf (g)	CH %
1	10,16	2,10	79,37	1	10,10	2,06	79,57	1	10,14	2,23	77,99
2	10,11	2,16	78,67	2	10,07	2,15	78,64	2	10,15	2,20	78,33
3	10,16	2,15	78,80	3	10,07	2,19	78,26	3	10,18	2,95	71,02
Promedio	10,14	2,14	78,94	Promedio	10,08	2,13	78,83	Promedio	10,15	2,46	75,78

Anexo B
Resultado de las lecturas para la determinación de color

Pulpa fresca								
Castillo			Caturra			Colombia		
L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
19,19	7,72	3,22	19,19	9,86	3,76	19,93	8,14	4,53
19,48	7,82	3,42	19,63	8,32	4,26	19,73	7,79	4,4
18,56	7,22	2,91	19,09	9,21	3,79	20,62	8,07	4,9
19,01	8,29	3,45	19,18	9,37	3,72	20,18	8,1	4,71
18,32	7,51	3,08	19,26	9,37	3,89	20,94	8,27	5,53
18,32	7,53	3,46	19,39	9,06	3,91	20,3	8,3	4,45
18,76	7,87	3,39	16,66	9,69	4,02	19,46	8,01	4,78
18,96	6,81	3,7	19,44	9,28	3,52	20	9,23	5,04
18,97	8,23	3,6	19,28	9,8	4,17	20,68	8,06	5,45
18,99	8,15	3,14	19,93	9,1	4,12	19,81	8,07	4,73

Sultana 70°								
Castillo			Caturra			Colombia		
L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
18,41	3,2	2,02	17,83	2,97	1,85	18,67	3,08	2,22
18,58	3,12	1,79	17,32	2,62	1,49	18,23	2,83	1,97
18,58	3,1	1,87	17,35	2,65	1,42	18,26	2,85	2,83
18,54	3,09	1,89	17,31	2,77	1,46	18,1	2,61	1,53
18,28	2,91	1,75	17,61	2,65	1,56	18,04	2,67	1,78
18,29	2,98	1,73	17,2	2,64	1,52	18,64	3,02	2,06
18,14	2,84	1,72	17,57	2,76	1,61	18,13	2,51	1,49
18,32	2,96	1,52	17,68	2,79	1,58	18,58	2,8	1,87
18,06	2,82	1,73	17,8	2,82	1,65	18,63	3,11	2,2
18,31	3,05	1,9	17,85	2,95	1,6	18,4	2,77	1,79

Sultana 55°								
Castillo			Caturra			Colombia		
L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
17,57	3,3	2,03	18,35	3,32	2,62	18,63	3,15	2,13
17,5	3,19	1,82	18,02	3	2,27	17,93	2,85	1,64
17,73	3,45	1,97	17,92	2,96	2,35	18,31	3,13	1,99
17,89	3,64	2,21	17,95	2,95	2,34	18,45	3,08	1,68
17,97	3,43	2,09	17,73	2,77	2,5	18,21	3,07	1,92
17,89	3,41	1,95	17,6	2,95	2,52	18,08	3,07	1,91

17,82	3,45	1,79	17,87	2,84	2,53	18,29	3,08	1,84
17,72	3,59	2,16	17,34	2,725	2,77	18,34	3,09	2,16
17,54	3,47	1,89	18,21	3,31	2,4	17,99	3,09	2,04
17,565	3,54	1,85	18,08	3,195	2,32	18,39	3,1	1,885

Sultana secado ambiente								
Castillo			Caturra			Colombia		
L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
20,05	4	3,8	20,81	3,43	3,43	19,6	2,96	2,84
20,25	4,17	3,89	20,31	3,63	3,69	19,38	2,74	2,63
20,03	3,83	3,56	19,8	3,16	2,9	19,3	2,7	2,57
20,48	4,27	3,9	20,42	3,26	3,18	19,62	2,75	2,75
19,84	3,65	3,34	20,22	3,81	3,61	19,95	3,05	3,11
19,77	3,64	3,33	20,14	3,44	3,47	19,13	2,62	2,57
21,14	4,63	4,55	19,71	3,29	3,33	19,1	2,68	2,62
20,24	4,14	3,84	20,14	3,34	3,06	19,8	2,59	2,54
20,56	4,16	3,93	20,06	3,63	3,33	19,31	2,59	2,45
20,73	4,29	4,02	21,02	3,18	2,68	19,65	2,58	2,49

**Anexo C.
Resultado de lecturas de pH**

Pulpa fresca			
Muestra	Colombia	Caturra	Castillo
1	5,08	4,86	4,95
2	4,98	4,88	4,92
3	4,99	5,02	4,85
Promedio	5,02	4,92	4,91

Sultana 70°C			
Muestra	Colombia	Caturra	Castillo
1	4,60	4,49	4,50
2	4,60	4,52	4,51
3	4,51	4,50	4,48
Promedio	4,57	4,50	4,50

Sultana 55°C			
Muestra	Colombia	Caturra	Castillo
1	4,71	4,90	4,71
2	4,67	4,86	4,73
3	4,64	4,86	4,68
Promedio	4,67	4,87	4,71

Sultana Secado ambiente			
Muestra	Colombia	Caturra	Castillo
1	3,98	4,05	3,90
2	3,95	4,04	3,78
3	3,93	4,03	3,80
Promedio	3,95	4,04	3,83