

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE TRILLADO, TOSTIÓN Y MOLIENDA
EN LA EMPRESA FINCAFÉ**

RAÚL BUITRAGO ÁLVAREZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
SANTIAGO DE CALI, DICIEMBRE DEL 2011**

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE TRILLADO, TOSTIÓN Y MOLIENDA
EN LA EMPRESA FINCAFÉ**

RAÚL BUITRAGO ÁLVAREZ

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director: Ing. Agrícola Jaime Ernesto Díaz Ph.D.

Codirector: Ing. Químico Carlos Eduardo Vanegas

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
SANTIAGO DE CALI, DICIEMBRE DEL 2011**

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado significa la culminación de una etapa de aprendizaje, que hoy me llena de orgullo y satisfacción, durante esta etapa conté siempre con el apoyo, paciencia y dedicación de personas que me animaron, enseñaron y respaldaron, porque sin ellas jamás hubiera podido llegar donde estoy.

Por esta razón, para mí significa una gran felicidad y alegría dedicar este trabajo mis padres, hermanos, familia, amigos y aquellas personas especiales que siempre estuvieron de mi lado, aquellas que no me dejaron caer ni perder el rumbo, a todos ustedes les expreso mi inmenso agradecimiento por medio de este trabajo.

Muchísimas Gracias a todos.

Raúl Buitrago Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Igualmente es preciso expresar mi gratitud y aprecio a las siguientes personas e instituciones:

- Agradezco a los Ingenieros Jaime Díaz Ortiz, Carlos Eduardo Vanegas, Norberto Urrutia Cobo y Efraín del Risco Moreno por sus críticas, orientación y confianza durante todo este tiempo de trabajo.
- Agradezco también al personal de Investigadores Científicos de Cenicafé la Doctora Gloria Inés Puerta y el Doctor Carlos Oliveros líderes en Disciplina, Calidad y Manejo Ambiental.
- Agradezco a Isidro Ortiz Cabrera, por hacer realidad una idea que nació y que se hizo gracias a su apoyo incondicional
- Agradezco a Paola Ortiz Ortiz, por acompañarme y ser parte de este proyecto que culmina.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. MARCO DE REFERENCIA.....	14
1.1 GENERALIDADES	14
1.1.1 Café variedad castillo.....	14
1.2 BENEFICIO DEL CAFÉ.....	15
1.2.1 Trillado Del Café	15
1.3 TOSTIÓN O TORREFACCIÓN DEL CAFÉ	15
1.3.1 Cambios en la torrefacción	16
1.4 MOLIENDA DEL CAFÉ	19
2. METODOLOGÍA.....	21
2.1 MATERIA PRIMA.....	21
2.2 TRILLADO.....	21
2.3 TOSTIÓN	23
2.4 MOLIENDA	26
2.5 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ OBTENIDO	28
2.6 REDUCCIÓN DE COSTOS.....	29
2.7 MEJORA DE CALIDAD	29
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.1 MATERIA PRIMA.....	30
3.2 TRILLADO.....	31
3.3 TOSTIÓN	33
3.4 MOLIENDA	36
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ OBTENIDO	39
3.6 REDUCCIÓN DE COSTOS.....	41

3.7 MEJORA DE CALIDAD	41
4. CONCLUSIONES.....	43
5. RECOMENDACIONES	45
6. BIBLIOGRAFÍA.....	46
7. ANEXOS.....	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nombres comerciales del color del café con respecto a L*	18
Tabla 2. Clasificación de la molienda y métodos de preparación del café.	20
Tabla 3. Cálculo de humedad inicial del grano.....	30
Tabla 4. Calidad del café pergamino seco.....	30
Tabla 5. Rendimiento inicial del trillado	31
Tabla 6. Rendimiento del trillado con peso de 50 g	31
Tabla 7. Rendimiento del trillado con peso de 150 g	32
Tabla 8. Rendimiento del trillado con modificación de la salida.....	32
Tabla 9. Calidad del café verde	32
Tabla 10. Molienda con tamiz 0.8 mm	38
Tabla 11. Molienda con tamiz 0.6 mm	39
Tabla 12. Porcentaje de Sólidos Solubles	39
Tabla 13. Porcentaje de extracción.....	39
Tabla 14. Grados brix	40
Tabla 15. Acidez	40
Tabla 16. pH	40

Tabla 17. Resumen de la caracterización final del café	40
Tabla 18. Reducción de costos para un lote de 50 libras.....	41

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curvas de tostión.....	34
Gráfica 2. Color vs tiempo corrida 1.....	35
Gráfica 3. Color vs tiempo corrida 2.....	35
Gráfica 4. Distribución granulométrica con tamiz 0.8mm.....	37
Gráfica 5. Distribución partículas con tamiz 0.8mm	37
Gráfica 6. Distribución granulométrica con tamiz 0.6mm.....	38
Gráfica 7. Distribución de partículas con tamiz 0.6mm	38

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Escala de color NTC2442.....	18
Ilustración 2. Trilladora.	22
Ilustración 3. Trilladora con dos salidas de cascarilla	23
Ilustración 4 Tostadora de tambor	23
Ilustración 5. Tamiz de secado	24
Ilustración 6. Termocupla tipo J en tostadora.....	25
Ilustración 7. Cambio de termómetro por temocupla.....	25
Ilustración 8. Tostadora con Baliza	25
Ilustración 9 Molino de martillo	27
Ilustración 10. Tamices del molino	27
Ilustración 11. Grano tostado antes del proyecto	36
Ilustración 12. Grano tostado después del proyecto	36

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Encuesta para evaluación de calidad.	48
Anexo B. Datos tiempo y temperatura de la corrida 1 de tostión.	49
Anexo C. Datos tiempo y temperatura de la corrida 2 de tostión.	50

RESUMEN

En el año 2004 la empresa Fincafé se creó para producir café molido natural con materia prima proveniente del municipio Mondomo-Cauca. Las máquinas de trilla, tosti3n y molienda fueron dise1adas por el instructor Isidro Ortiz Cabrera y el estudiante de ingenier3a mecánica de la Universidad del Valle Andr3s Fabián Ortiz Ortiz.

Con el fin de ampliar el mercado del caf3, la empresa Fincafé realiz3 en los a1os 2010 y 2011 un proyecto de optimizaci3n de los procesos con el fin de mejorar el aroma, cuerpo, textura y sabor del producto. Actualmente, y debido a las exigencias de los nuevos clientes, se hizo necesario mejorar y caracterizar de forma m3s precisa el producto, para obtener un caf3 con mejores caracter3sticas, con el prop3sito de alcanzar alta competitividad en el mercado.

El proyecto logr3 cumplir con sus objetivos, a trav3s del an3lisis de las variables m3s significativas en los procesos individuales de la empresa y la realizaci3n de correctivos que se plantearon tanto a los procesos como a los equipos. Al final se realizo una caracterizaci3n final del producto que incluy3 variables como grado de molienda, porcentaje de s3lidos solubles, porcentaje de extracci3n, grados brix, acidez, pH y tama1o promedio de la part3cula, para poder conocer que producto se ofrece al consumidor.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se produce uno de los mejores cafés suaves del mundo debido a sus variedades especiales con las que se caracteriza. Actualmente los grandes productores y comercializadores son los que más se benefician económicamente por las cantidades con las que trabajan y la tecnología que emplean. Existen pequeños caficultores que quieren seguir el ejemplo de productores mayores, dando valor agregado a su materia prima transformándola en un producto listo para preparar bebidas de café, creando empresas dedicadas al beneficio y procesamiento del café, dejándoles un mayor beneficio y aprendizaje.

Una de esas empresas es Fincafé, la cual desarrolla el proceso de trillado, tostado y molido, produciendo un café en dos presentaciones: grano y molido. Para lograr un producto final que cumpla con los estándares del mercado, surge la necesidad de mejorar los procesos industriales llevados a cabo en esta empresa.

El desarrollo del trabajo experimental se realizó en la planta física de la empresa Fincafé, para determinar rangos operacionales de algunas variables del proceso y su incidencia en la calidad del producto final (porcentaje de merma, color, porcentaje de humedad final); permitiendo obtener un café con las propiedades organolépticas y fisicoquímicas requeridas por el mercado nacional.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 GENERALIDADES

Café es la semilla del árbol de cafeto, el cual pertenece a las rubiáceas y al género *Coffea*. Este crece en determinadas condiciones climáticas (VALENCIA, 2010) como las siguientes: temperatura (17° a 22°C), altitud (1000 y 2000 m.s.n.m), radiación solar (4.4 - 5.6 horas por día) y condiciones de suelo (CHIRIRINOS, 2001) como buena estructura, materia orgánica (alrededor 10%), pH ligeramente ácido (5.5 a 6). (CLARK, 1985)

1.1.1 Café variedad castillo

El café variedad Castillo fue desarrollado por Cenicaféⁱ con el fin de obtener una mejor producción, controlando las plagas que atacan en el proceso de crecimiento de la planta especialmente la roya. Su nombre fue establecido por la Federación Nacional de cafeteros de Colombia en homenaje al Dr. Jaime Castillo por su valiosa contribución al desarrollo de la caficultura en Colombia. La variedad Castillo es una variedad con adaptación general a las condiciones de Colombia. Posee un elevado potencial productivo que le permite alcanzar producciones similares a las obtenidas con las variedades testigo particularmente Caturra. Al igual que todas las variedades cultivadas, la variedad Castillo es susceptible a plagas como el minador de la hoja y la broca del café. El tamaño de sus granos, superior a 80% de café supremo, permite acceder a los mercados internacionales y beneficiar a los productores por este atributo. Su calidad en taza es similar a la obtenida en las variedades tradicionales. (CENICAFE, 2010)

Para obtener esta variedad se utilizaron como progenitores la variedad Caturra y el Híbrido de Timor, recursos genéticos ampliamente conocidos y empleados en el programa de mejoramiento que adelanta Cenicafé para la obtención de variedades compuestas con resistencia a la roya del cafeto.

ⁱ Desde 1938 al presente año existe un centro investigativo llamado **Cenicafé** ubicado en Chinchina - Caldas. Este se ha encargado de estudiar, evaluar y estimular a empresarios de que el café comercializado en Colombia cumpla con las normas para el consumo humano.

1.2 BENEFICIO DEL CAFÉ

El beneficio del café consiste en una serie de procesos de postcosecha que son: recolección del café en cereza, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado hasta obtener café pergamino seco, que luego se trilla para producir café almendra. Estos procesos influyen en la calidad del producto final. (PUERTA, 1999)

1.2.1 Trillado Del Café

El Trillado del café se hace antes de la exportación, y consiste en separar o descascarillar el grano del pergamino. Existen diversas maquinarias diseñadas para esta tarea; la mayoría emplea fricción aplicada por medio de tambores, discos y cuchillas que emplean el efecto de corte, pero todos cumplen la misma la función: decorticar el grano. Dependiendo del tipo de grano y su humedad se escoge la maquinaria más apropiada. (MURILLO, 2009)

Después de trillado, el grano de café pasa a su etapa de selección, generalmente por tamaño y densidad. En general los granos más grandes producen un mejor café. La selección de los granos se puede hacer de varias maneras, desde un tamiz hasta sofisticados métodos neumáticos, gravimétricos o electrónicos para seleccionar lotes de calidad uniforme. El rendimiento del café en la trilla para la comercialización en Colombia debe ser de 92.8 kg de café pergamino seco para obtener un saco de 70 kg de café excelso (MONTILLA, y otros, 2008).

1.3 TOSTIÓN O TORREFACCIÓN DEL CAFÉ

El tostado del café es un proceso en el cual ocurren fenómenos de transferencia de calor y de masa simultáneamente. En este se llevan a cabo distintas reacciones químicas, siendo las más importantes las de Maillard (las proteínas y ciertos lípidos de la superficie se recombinan con los azúcares en reacciones complejas), la caramelización de la sacarosa y una pirolisis final de los carbohidratos y proteínas (CLARK, 1985) (SÁNCHEZ, y otros, 2007), produciendo los compuestos que originan el aroma característico, sabor,

olor y cuerpo del café; este también sufre transformaciones físicas como cambio de volumen, densidad, color, dureza.

La temperatura de tostado es muy importante ya que tiene una fuerte influencia sobre las cualidades del café. La duración de la torrefacción es aproximadamente de 5 a 12 minutos (bajo condiciones dadas), éste tiempo varía según el equipo que se utilice y la cantidad de almendra de café adicionada (PRIETO, 2002).

Alrededor de los 180°C se inicia una fase de crepitación, la cual consiste en la descomposición caracterizada por el rompimiento de la estructura celular de los granos debido a sobrepresiones internas, se produce CO_2 y aparece el aroma del café, en éste instante las reacciones endotérmicas alcanzan su punto máximo (PRIETO, 2002).

Posteriormente comienzan las reacciones exotérmicas debido al calor de reacción dentro del grano, que hacen que éste alcance temperaturas de 200 °C aproximadamente. Después de alcanzada la óptima caramelización de azúcares se obtiene la tostión completa en donde desciende el contenido de agua a valores entre el 1.5% y el 3.5% en peso.

La temperatura óptima es la comprendida entre los 210°C y 230°C, por encima de esta ocurre la sobretostión en donde se acentúan, el desprendimiento de humos, los granos se ennegrecen, el volumen ya no aumenta y en el peor de los casos se carbonizan, se hacen más quebradizos y el aroma desaparece. Para detener el proceso de torrefacción del café es necesario generar un enfriamiento rápido e inmediato de los granos, por medio de una corriente de aire en una criba. (SÁNCHEZ, y otros, 2007)

1.3.1 Cambios en la torrefacción

1.3.1.1 Disminución de Peso

Es una consecuencia de la evaporación de una gran parte del agua inicialmente en el grano. Esta pérdida de peso está entre el 12% y el 21%, y no se da únicamente por

evaporación de agua, sino también por desprendimiento de sustancias volátiles producto de la pirólisis de estructuras macromoleculares, a la pérdida de la película plateada y estructuras de bajo peso molecular (SÁNCHEZ, y otros, 2007).

Esta pérdida de peso ocurre en dos etapas: la primera es lenta y es ocasionada por la evaporación de agua del grano; la segunda es rápida y corresponde al proceso de la pirólisis. La pérdida de peso o porcentaje de merma (PRIETO, 2002) se define en la Ecuación 1

$$\%merma = \frac{\text{Peso de café verde} - \text{Peso de café tostado}}{\text{Peso de café verde}} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

1.3.1.2 Aumento de Volumen

Se debe a la expansión de los gases producidos por la combustión (pirólisis), provocando incrementos hasta del 59% el volumen del grano (SÁNCHEZ, y otros, 2007). Al ocurrir la crepitación se libera la cascarilla del interior del grano, la cual ocasiona un efecto de secado sobre la pared celular, perdiendo así su elasticidad e incrementando su tensión intercelular (CLARK, 1985).

1.3.1.3 Color

Durante la tostión el grano de café cambia de color. Ocurre simultáneamente con la pérdida de peso y el incremento en el volumen; estos cambios dependen de la intensidad y duración del proceso. La uniformidad del color, después del tostado, es atributo de un café de buena calidad.

El color es uno de los métodos para la determinación del grado de tostión. *La Norma Técnica Colombiana* (NTC) 2442 contempla la medida de éste en unidades de L*(luminosidad en el espacio de color conocido como CILAB), cuya escala se puede ver en la Tabla 1 y la Ilustración 1.

Tabla 1. Nombres comerciales del color del café con respecto a L*

COLOR	L*
Muy Oscuro	12.4 – 14.8
Oscuro	14.9 – 18.4
Medio	18.5 – 21.5
Claro	21.6 – 24.4

Fuente: NTC 2442

Ilustración 1. Escala de color NTC2442



Fuente: (CASTAÑO, y otros, 2000)

El grado de torrefacción es medido por el color del grano, generalmente en forma empírica, utilizando una tabla de comparación de color para el café en grano o molido. Otra forma es determinando su reflectancia en un instrumento para tal fin.

Para comparación del color por el ojo humano, la muestra en grano debe ser molida y extendida, preferiblemente con luz natural. Dado que la lectura de color depende del tamaño de partícula, las determinaciones de reflectancia se realizan con muestras de café tamizadas por debajo de la malla de 500 μm , según lo establece la norma NTC 2442.

1.3.1.4 Humedad

Durante la tosti3n se remueve gran parte de la humedad presente del caf3 verde (10% a 12% de humedad), hasta humedades del 0.4% al 5%, dependiendo del grado de tosti3n.

El método más utilizado para medir la humedad está contemplado en la NTC 2558 el cual se determina por medio de secado en estufa, en la cual se deshidrata la muestra hasta peso constante a $103^{\circ}\text{C} \pm 1$, a presión atmosférica por 4 horas. Otro método es mediante la reacción de Karl Fisher (CLARK, 1985).

1.3.1.5 Sólidos Solubles y extracción

Estos son los que contribuyen en forma determinante al sabor y carácter de la taza. El porcentaje de sólidos solubles del café tostado es un parámetro utilizado con mucha frecuencia. Por esta razón la concentración de la bebida de café depende de la cantidad de sólidos que hacen parte de ella después del proceso de extracción (PRIETO, 2002).

Existen dos métodos para determinar los sólidos solubles en la bebida del café contemplados en la NTC 4602-1 y en la NTC 4602-2, los cuales son respectivamente, Método por goteo directo, el cual se aplica para granulometría media (de $500\mu\text{m}$ a $700\mu\text{m}$) y el Método por contacto directo, que es para café con granulometría gruesa (de $701\mu\text{m}$ a $900\mu\text{m}$). (CASTAÑO, y otros, 2000)

1.4 MOLIENDA DEL CAFÉ

La granulometría del café, no solo tiene importancia en el transporte y almacenamiento de éste debido a sus características de cohesión y segregación, sino también en la influencia al momento de preparar un café de excelente calidad.

En el proceso de molienda influye el tipo y calidad del café, así como el punto de tuestión. El grano de tuestión clara tiene una estructura dura mientras que el de tuestión oscura es frágil y quebradizo. Una humedad alta en los granos de café tostado, los hace flexibles y difíciles de moler. Para la molienda de café existen diversos equipos, los más utilizados son los de discos y los de rodillos (PRIETO, 2002).

Para la extracción es necesario poner en contacto directo el café molido con agua caliente un determinado tiempo. Una molienda muy fina dará un porcentaje muy alto de extracción

con poca cantidad de agua debido a la alta superficie de contacto y se obtendrá el mismo resultado con un grano molido más grueso en mayor cantidad de líquido, con temperatura y presión más elevadas (GUEVARA, y otros, 2005)

El grado de molienda determinado para cada tipo de extracción se contempla en la NTC 3534, en donde se clasifica según la técnica de preparación y el tiempo de contacto entre el agua y el café. La metodología para el cálculo de los parámetros granulométricos está dada por la NTC 2441 (CUELLAR, y otros, 2001). Esto se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de la molienda y métodos de preparación del café.

Molienda	Diámetro medio (µm)	Coeficiente de uniformidad	Preparación	Tiempo (min.)
Gruesa	701–900	> 2,5	Ollas, pistón, percolador	6 – 9
Media	501–700	> 3,0	Colador de tela, filtros de papel, greca, goteo.	4 – 6
Fina	350–500	> 3,8	<i>Expresso</i> doméstico e institucional	0,5 – 4

Fuente: (GUEVARA, y otros, 2005)

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIA PRIMA

El café empleado para el proyecto pertenece a la variedad Castillo, comprado en la zona rural del municipio de Mondomo (Cauca) a los campesinos de la región. Los procesos a evaluar fueron el del trillado, la tostión y la molienda, otros procesos como el secado, el empaque, el transporte, entre otros, no se tuvieron en cuenta en el proyecto, debido a que correspondería a un estudio posterior para refinar la cadena productiva desarrollada por Fincafé.

El mejoramiento del proceso que se lleva a cabo en la empresa Fincafé se dividió en distintas etapas, con el fin de mejorar cada una por separado en el orden en que son llevadas a cabo dentro de la cadena de producción, para así lograr un producto mejor. La primera fue la revisión de la materia prima, a la cual se le calculó la humedad inicial por el método de secado en horno una muestra de cada uno de los lotes empleados, durante un tiempo de 4 horas a una temperatura de 103°C aproximadamente. También se hizo un análisis de homogeneidad y calidad de la materia prima, para ello se tomaron 6 muestras de distintos lotes de café pergamino seco, se mezclaron entre sí, posteriormente se tomaron 3 muestras de 100 gr, se clasificaron en grano bueno (cascara de color dorado y visualmente sana), defectuoso (cascaras de otros colores) y malo (cascara de color negro y visualmente mala).

2.2 TRILLADO

En la primera parte del desarrollo del proyecto, se realizó un análisis del estado del proceso que se llevaba a cabo en la empresa Fincafé, para este en especial, se cuenta con un equipo de trillado por medio de tornillo sin fin (Ilustración 2), que posee un motor de 15 hp y un tornillo sin fin que gira a 500 rpm nominales. Este equipo posee dos salidas, una para la cascarilla y otra para el grano decorticado.

Se calculó el rendimiento del proceso, a partir de el peso de salida de grano sin cascara y el grano con cascara, se realizaron 3 repeticiones con carga inicial de 5 kg de café

pergamino seco, esto con el fin de validar los datos obtenidos. También se evaluó visualmente el trillado del café, así como el tiempo necesario para ello.

Ilustración 2. Trilladora.



Con el fin de mejorar el rendimiento, a partir de los datos obtenidos se procedió a variar el tiempo de residencia del grano en el equipo, para ello se utilizó un sistema de contrapeso en la tapa de salida del grano. Se trabajó con un arreglo a 2 niveles (50 y 150 g) con dos repeticiones, utilizando 2 pesas en forma de disco de 50 y 100 gramos. Este rango se escogió porque en las pruebas preliminares para definir los niveles, con 200g se observó que el equipo empezaba a sufrir atascamientos. Para cada prueba se hizo un análisis de rendimiento con 5 kg.

Después de revisar los resultados obtenidos, no se encontró mucha variación con el proceso original, por lo que se procedió a espaciar los dientes del tornillo y a colocar otra salida de cascarilla para evitar atascamientos (Ilustración 3), luego se realizaron dos corridas más con 5kg.

Adicionalmente se realizó un análisis de calidad de grano con base en la NTC 3314 (Café y sus productos. Vocabulario. Términos y definiciones) y NTC 4806 (Café Consumo), clasificándolos en granos sanos (buen tamaño y color dorado), granos aceptables (de buen tamaño, con colores distintos al negro y al dorado) y granos malos (de poco tamaño o color negro). Esta norma contempla que el grano aprovechable (granos sanos y aceptables) debe ser mayor al 80%.

Ilustración 3. Trilladora con dos salidas de cascarilla



2.3 TOSTIÓN

Para este proceso, se cuenta con una tostadora a gas fabricada por la empresa Fincafé (Ilustración 4) que trabaja por lotes hasta de 100lb. Este equipo posee un tambor rotatorio donde se realiza la tostión del café, este se calienta externamente por medio de cuatro quemadores de gas natural ubicados en la parte baja del equipo, en la parte de arriba posee una campana para la salida de humos de tostión, con extractor para generar tiro forzado cuando se necesite.

Ilustración 4 Tostadora de tambor



Para controlar la entrada del material se cuenta con una tolva y a la salida de la tostadora se encuentra un tamiz de enfriamiento (ver Ilustración 5) con aire del ambiente y con un sistema de agitación mecánica a través de paletas de caucho que giran a 20 rpm. Inicialmente existían con 2 termómetros análogos de 150 °C; posteriormente con base en las recomendaciones realizadas por los estudiantes que desarrollan el proyecto se cambiaron y se colocaron 2 termocuplas tipo J. Las dimensiones de la tostadora son de 1 m de ancho, 2.5 m de alto y 2.5 m de profundidad. Se tiene un motor de 1 hp a 1750 rpm y un sistema de reducción mecánico para el giro del tambor que hace que se mueva a 20 rpm, un motor de 0.5 hp para la turbina y alimentación de gas natural domiciliario.

Ilustración 5. Tamiz de secado



En la evaluación de la tosti3n, se evidenciaron diversos problemas en el proceso, por lo cual se procedi3 a hacer cambios tanto f3sicos del equipo, como procedimentales. Uno de los mayores problemas encontrados fue no contar con instrumentos adecuados para la medici3n de las temperaturas que manejan en este equipo, as3 como no poder controlarla, ocasionando a veces un sobretostado del caf3. Para mejorar esto se instalaron unas termocuplas tipo J (Ilustraci3n 6 y Ilustraci3n 7) y una baliza de 3 colores (Ilustraci3n 8)

Ilustración 6. Termocupla tipo J en tostadora



Ilustración 7. Cambio de termómetro por termocupla



Ilustración 8. Tostadora con Baliza



Para mejorar la uniformidad de la tostión, se modificó la velocidad del tambor, colocando un piñón más grande en el sistema de cadena, haciendo girar el tambor más rápido (30rpm), con el fin de que la transferencia de calor fuera más homogénea, haciendo que disminuya el contacto del grano con el tambor y sea mayor la transferencia que se realiza por convección del aire caliente que por conducción con el este. Respecto al procedimiento que se realizaba, éste no contaba con un precalentamiento de la tostadora, así como una medición de la temperatura, ni del tiempo de tostión.

Después de la implementación de los cambios se procedió a realizar las curvas de temperatura y grado de color para la tostión, con el propósito encontrar mejores condiciones de operación y plantear un protocolo nuevo para el proceso. Estas curvas se realizaron para dos muestras de 30 lb de café trillado que se pusieron a tostar con un precalentamiento del horno a 150°C. Cuando se alcanzaba una temperatura de 210°C los quemadores de gas se ponían a llama mínima y se prendía el extractor hasta que la temperatura bajara a 190°C, cuando se alcanzaba esta nueva temperatura se apagaba el extractor y se subía la llama, este procedimiento se realizó sucesivamente hasta el final de la tostión.

Durante la tostión se tomaron datos de temperatura cada 30 s, además de 10 submuestras en distintos tiempos a las que posteriormente se determinó el color a partir del procedimiento descrito por la norma NTC 2442, de acuerdo al siguiente protocolo: Se realizó una molienda, tamizándola en malla 35, tomando el material que pasa de ésta y comparando con la escala mostrada en la Ilustración 1.

2.4 MOLIENDA

La molienda se realiza en un molino de martillos fabricado por Fincafé (Ilustración 9), con una potencia de 10hp, el cual tiene una capacidad de trabajo de 120 libras por hora. Cuenta con una tolva a la entrada del molino, un tamiz (Ilustración 10) de 0.8 mm de diámetro y un recolector en la parte inferior para la salida del material.

Ilustración 9 Molino de martillo



Ilustración 10. Tamices del molino



En la evaluación inicial de este proceso se realizó una distribución granulométrica a 3 muestras de 50g de café tostado y molido empleando 5 tamices malla 20, 30, 40, 50, 70 y fondo en una máquina Rotap por 10 minutos. Después de esto se procedió a cambiar el tamiz por uno de 0.6 mm de diámetro debido a que la mayoría de clientes de Fincafé realizan preparaciones de café en filtros y coladores de tela, para los cuales se recomienda tener un molienda media con un coeficiente de uniformidad mayor a 3, por lo que se realizó el mismo procedimiento a 3 muestras de 50g. La distribución granulométrica se expresó en un gráfico en escala semilogaritmica (Gráfica 4 y 6), así como una grafica de distribución de frecuencias en forma de campana(Gráfica 5 y 7), para

el cálculo del diámetro medio, se utilizó la ecuación linealizada de Rosin-Rammler (Ecuación 2), en la cual se calcularon, por medio de una regresión lineal (Ecuación 8) los parámetros n (pendiente) y b (intercepto), a partir de los valores de %R (% retenido) y D (diámetro de la partícula), posteriormente con estos valores se reemplazó %R por 50% y se despejó el Diámetro. En las tablas 9 y 10 se consignaron los resultados de estas regresiones, así como los valores del diámetro medio y el coeficiente de uniformidad.

$$\ln\left(\ln\left(\frac{100}{\%R}\right)\right) = n\ln(D) + \ln(b) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

D: diámetro partícula

%R: porcentaje retenido

b: corte con el eje

n: coeficiente de uniformidad

2.5 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ OBTENIDO

Para la caracterización del café se determinaron las propiedades más comunes en el café como lo son el color, los sólidos solubles, el pH, la acidez, los grados brix, porcentaje de extracción y granulometría a 3 muestras tratadas bajo los protocolos descritos. El color y la granulometría se determinaron en los procesos de tostión y molienda respectivamente, para los otros se describe a continuación el procedimiento para su obtención (CUELLAR, y otros, 2001).

Se pesaron 18g de café sobre el sistema de filtro y se colocaron encima de una jarra, Se midieron 300ml de agua hirviendo y se deposita sobre el filtro. Se espera a que no gotee, se dejó enfriar y se pesó. Posteriormente se tomó 10 g de bebida en una caja de petri, que luego se colocó destapada en el horno durante 4 horas a una temperatura de 105°C. Después de esto se tapó la caja y se colocó en un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente y luego se pesó. Para la acidez se tomaron 10 ml de extracto y se diluyeron a 150 ml de agua. Luego se tituló con NaOH 0.01M hasta alcanzar un pH de 7. La medición del pH se realizó directamente con un Potenciómetro.

Para obtener los sólidos solubles se utilizó la Ecuación 3, para el porcentaje de extracción la Ecuación 4, para los grados Brix la Ecuación 5 y para el cálculo de la acidez la Ecuación 6.

Sólidos solubles(%)= (peso final caja petri – peso caja petri vacía)*100/10g Ecuación 3

%rendimiento= (SS*peso extracto)*100/18g Ecuación 4

Brix= 1.4539 * SS - 0.4845 Ecuación 5

Acidéz= ml de acido gastado /(peso extracto * SS) Ecuación 6

2.6 REDUCCIÓN DE COSTOS

Un factor que se quería evaluar, era que al desarrollar el proyecto se reducían los costos de producción en la empresa, para ello se monto una carga de 50 libras en cada proceso, se tomaron los tiempos de funcionamiento de los motores eléctricos del trillado, la tosti3n y la molienda, así como el tiempo que permanecía encendido las llamas del tostador. Esto se realizo para estos procesos antes y después de desarrollar el proyecto, para al calcular el consumo total de energía eléctrica y consumo de gas, realizar un estimativo del ahorro.

2.7 MEJORA DE CALIDAD

Debido a inconvenientes para realizar el proceso de cataci3n en Cenicafé, se decidió evaluar la mejora de la calidad, implementando una encuesta (Anexo A), con la cual se buscó tener una opini3n subjetiva de los consumidores habituales de este producto, para esto se escogieron 10 de esos y se les realizo la encuesta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MATERIA PRIMA

Como se aprecia en la Tabla 3, la humedad inicial del grano (12.55%) que se compra a los campesinos de la zona, está un poco por encima de lo recomendado para el grano de café pergamino seco (12%).

Tabla 3. Cálculo de humedad inicial del grano

muestra	1	2	3		
peso inicial(g)	98.4	102.5	99.6		
peso final(g)	86.4	90.6	85.8	promedio	desviación estándar
% de humedad	12.20%	11.61%	13.86%	12.55%	9.28%

Respecto a la calidad del grano utilizado como materia prima en la empresa Fincafé, se puede afirmar que un 70.15% aproximadamente es de excelente calidad; los resultados se presentan en la Tabla 4. Los resultados anteriores indican que la empresa debe implementar un sistema de selección inicial de grano. Se recomienda utilizar un sistema de zarandas, además de fomentar entre los campesinos mejorar los protocolos de beneficio del café y la mejor selección de grano a vender.

Tabla 4. Calidad del café pergamino seco

muestra	1	2	3		
peso(g)	100.2	100.1	100.2		
bueno(g)	70.1	72.4	68.3		
defectuoso(g)	20.4	19.6	21.6		
malo(g)	9.7	8.1	10.3	promedio	desviación estándar
% grano bueno	70.0%	72.3%	68.2%	70.15%	2.98%

3.2 TRILLADO

En el rendimiento inicial del proceso de trillado en la empresa Fincafé, se observó que parte del grano que salía del equipo, todavía tenía parte de la cascarilla, esto también se evidenció en los rendimientos que se presentan en la Tabla 5. La tabla muestra un porcentaje de rendimiento promedio de 81.24 % en 52 segundos para una muestra de 5 kg, superior a lo que se presenta normalmente 75 %. Debido a los resultados obtenidos se decidió incrementar el tiempo de residencia del grano en el equipo obstaculizando la salida de él, para que así mejore el trillado.

Tabla 5. Rendimiento inicial del trillado

muestra	1	2	3		
peso entrada(g)	5009	5010	5009		
peso grano(g)	4096	4021	4092		
peso cascarilla(g)	913	989	917	promedio	desviación estándar
% rendimiento	81.77%	80.26%	81.69%	81.24%	1.05%
tiempo(s)	53	51	52	52	1.92%

En las pruebas con los contrapesos a la salida de 50 g y 150 g, se pudo aumentar el tiempo de residencia a 56.5 y 58.5 respectivamente, a demás se mejoró el rendimiento en 1.03 % y 1.17 % en cada prueba como lo muestran las Tabla 6 y la Tabla 7. Con el propósito de mejorar el proceso de trillado, se decidió colocar otro orificio en la trilladora, el cual se ubicó en la parte posterior del orificio original por donde sale la cascarilla. Se espaciaron los dientes del tornillo sin fin, con el fin de minimizar los atascamientos del grano.

Tabla 6. Rendimiento del trillado con peso de 50 g

muestra	1	2		
peso entrada(g)	5002	5007		
peso grano(g)	4027	4001		
peso cascarilla(g)	975	1006	promedio	desviación estándar
% rendimiento	80.51%	79.91%	80.21%	0.53%
tiempo(s)	57	56	56.5	1.25%

Tabla 7. Rendimiento del trillado con peso de 150 g

muestra	1	2		
peso entrada(g)	5003	5003		
peso grano(g)	4003	4009		
peso cascarilla(g)	1000	994	promedio	desviación estándar
% rendimiento	80.01%	80.13%	80.07%	0.11%
tiempo(s)	59	58	58.5	1.21%

Después de hacer las modificaciones al equipo, se realizó otra toma de datos, como se presenta en la Tabla 8. Se observó una mejoría en el rendimiento promedio a 77.99 % y el tiempo se disminuyó a 44.5 seg, visualmente se pudo observar que la cascarilla presente en el grano disminuyó sustancialmente con respecto a la inicial.

Tabla 8. Rendimiento del trillado con modificación de la salida

muestra	1	2		
peso entrada(g)	5001	5008		
peso grano(g)	3910	3896		
peso cascarilla(g)	1091	1112	promedio	desviación estándar
% rendimiento	78.18%	77.80%	77.99%	0.35%
tiempo(s)	45	44	44.5	1.59%

Tabla 9. Calidad del café verde

muestra	1	2	3		
peso(g)	99.9	100.8	100.4		
sano(g)	67.4	65.2	62.3		
aceptable(g)	22.3	24.4	26.4		
malo(g)	10.2	11.2	11.7	promedio	desviación estándar
% grano aprovechable	89.8%	88.9%	88.3%	89.01%	0.82%

3.3 TOSTIÓN

Para la evaluación inicial del proceso de tostión en la empresa Fincafé, lo primero que se hizo fue indagar como se realizaba y se observaron granos previamente tostados, en esta parte se evidenciaron diversos factores que influyen en la calidad de este proceso.

El primer factor era el sistema de medición de temperatura, que hasta ese momento se realizaba con unos termómetros análogos de 150°C, los que para este proceso eran obsoletos ya que las temperaturas alcanzadas en el equipo la superaban. Para corregir eso se cambiaron los termómetros análogos por 2 termocuplas tipo J.

Otro de los aspectos a mejorar consistió en mantener un mejor control de la temperatura. El procedimiento previo consistía en encender la tostadora, esperar a que el grano crepitara, apagar la llama y pasar el café a enfriamiento; lo que ocasionaba, un grano desuniforme en el tostado, y en algunos se evidenciaba un sobretostado, lo que indica que las temperaturas alcanzadas allí eran más altas de las recomendadas en la literatura.

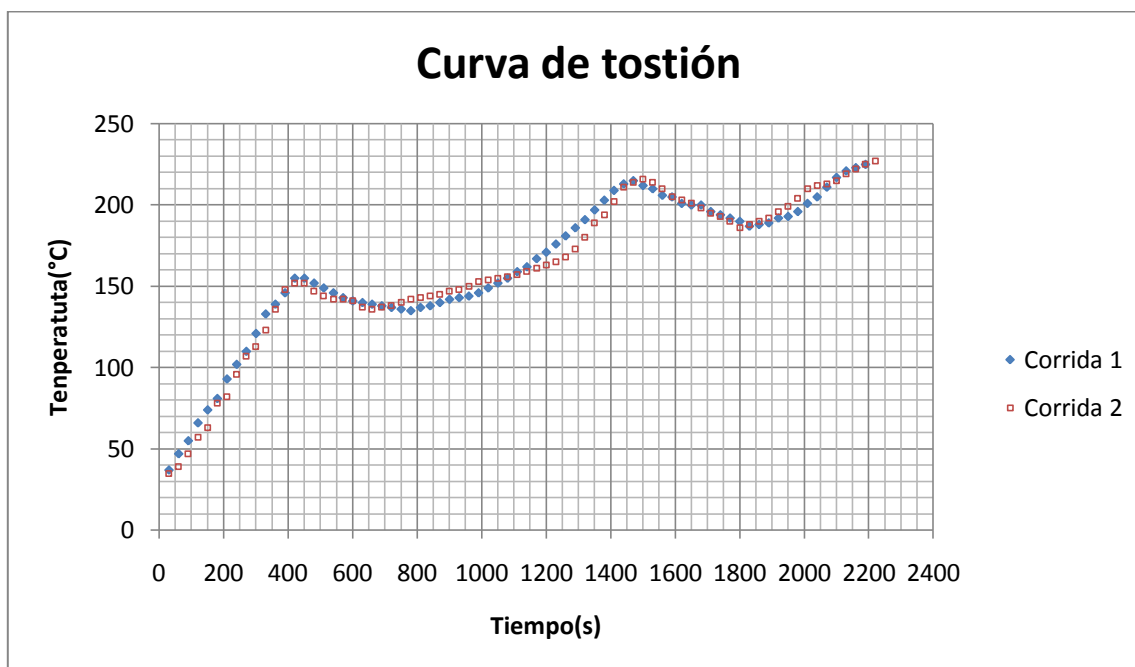
La solución se encontró utilizando las curvas de temperaturas (BOOT, 2004), que buscan lograr una tosti3n m3s uniforme, para ello se instal3 una baliza de 3 colores (amarilla, verde, roja). El color amarillo indica que la temperatura est3 en un rango menor de 150°C, el color verde en un rango de 150 a 190°C, el rojo por encima de 210°C y ninguna prendida el rango de 190 a 210°C. Tambi3n se modific3 la velocidad de giro del tambor a 30rpm con un pi33n m3s grande en el sistema de engranes, posteriormente se plante3 el siguiente protocolo:

1. Colocar el grano a tostar en la tolva de entrada
2. Encender el horno a m3xima abertura de v3lvula de gas
3. Cuando se encienda la luz verde depositar el grano en el tambor
4. Cuando se encienda la luz roja, encender la turbina de extracci3n y colocar la llama del quemador al m3nimo.
5. Cuando se encienda la luz verde apagar la campana y colocar la llama al m3ximo.
6. Repetir procedimiento hasta que se escuche crepitar el grano constantemente
7. Pasar a enfriamiento

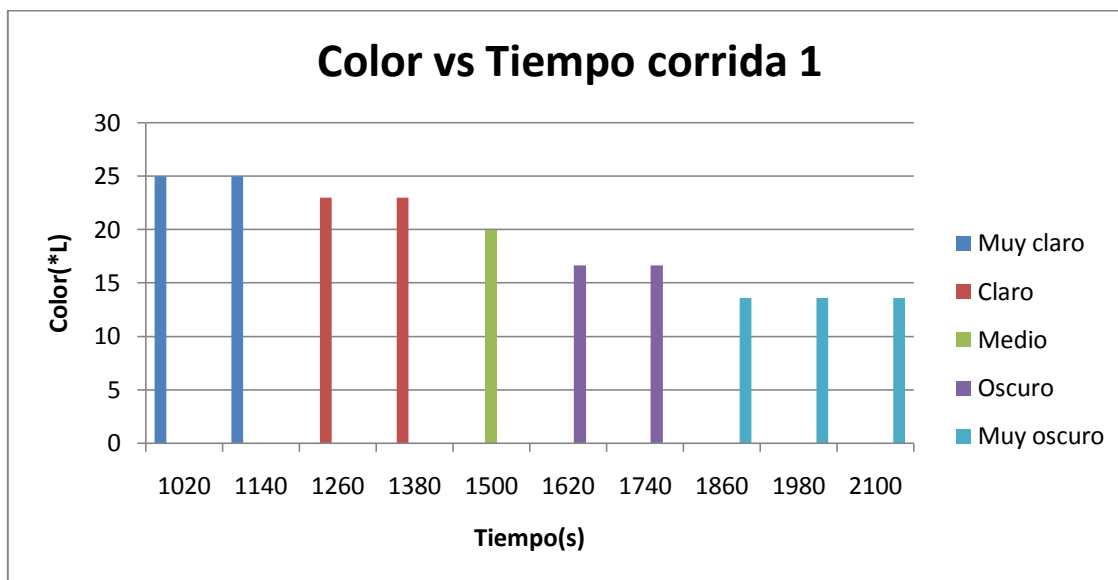
Realizando una recolección de datos para dos corridas con el procedimiento descrito, se obtuvo la Gráfica 1 que muestra los resultados obtenidos. En esta gráfica se puede observar que fue necesaria solo una disminución de temperatura, ya que los granos crepitaron en la segunda subida de temperatura. Las temperaturas alcanzadas en la primera subida están entre los 215-216 °C y en la segunda subida cuando crepitó el grano se alcanzaron temperaturas entre 225-227°C

El color de los granos obtenidos en distintos tiempos de tuestión se pueden observar en la Gráfica 2 y Gráfica 3, de lo que se puede decir que el grano en la primera subida ya alcanzaba a obtener un color oscuro, pero en la observación visual realizada, se observó que falta uniformidad, mientras que en la segunda subida se obtuvo un color muy oscuro, que se puede observar visualmente y que indica que el grano está tostado de manera muy homogénea.

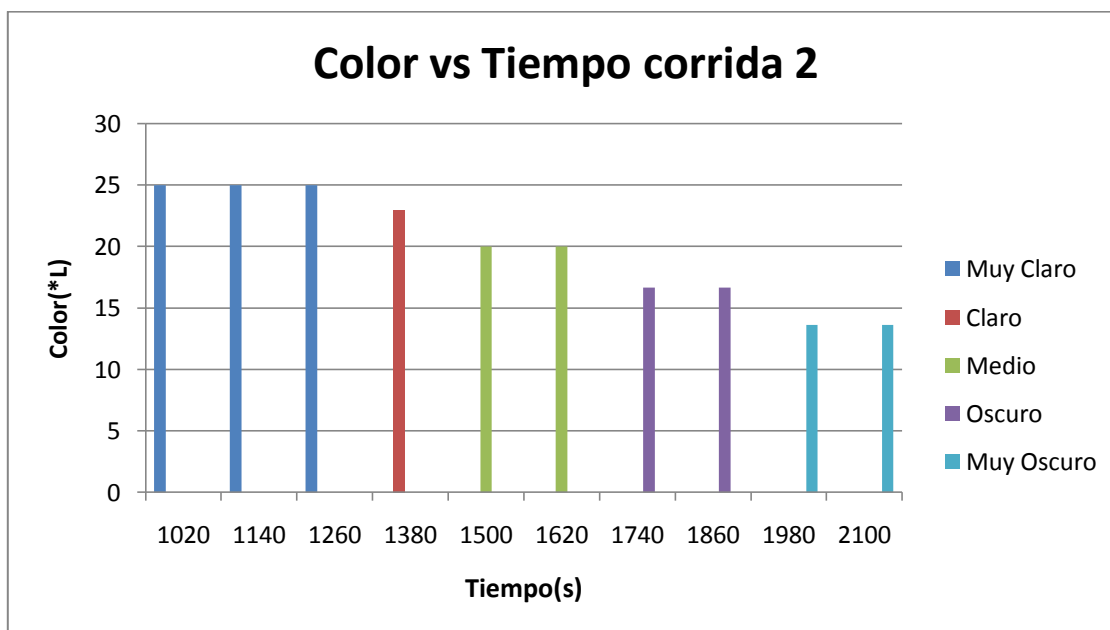
Gráfica 1. Curvas de tuestión



Gráfica 2. Color vs tiempo corrida 1



Gráfica 3. Color vs tiempo corrida 2



En la Ilustración 11 y la Ilustración 12 se aprecia la mejora de la tostión antes y después del proyecto. Como se puede ver antes la tostión no era uniforme y presentaba granos carbonizados (color negro y poco tamaño), mientras que en la tostión después del proyecto se aprecia el color oscuro y uniforme.

Ilustración 11. Grano tostado antes del proyecto

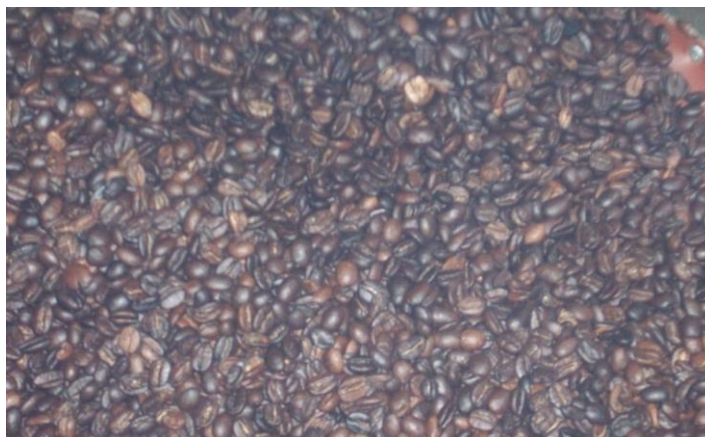


Ilustración 12. Grano tostado después del proyecto



3.4 MOLIENDA

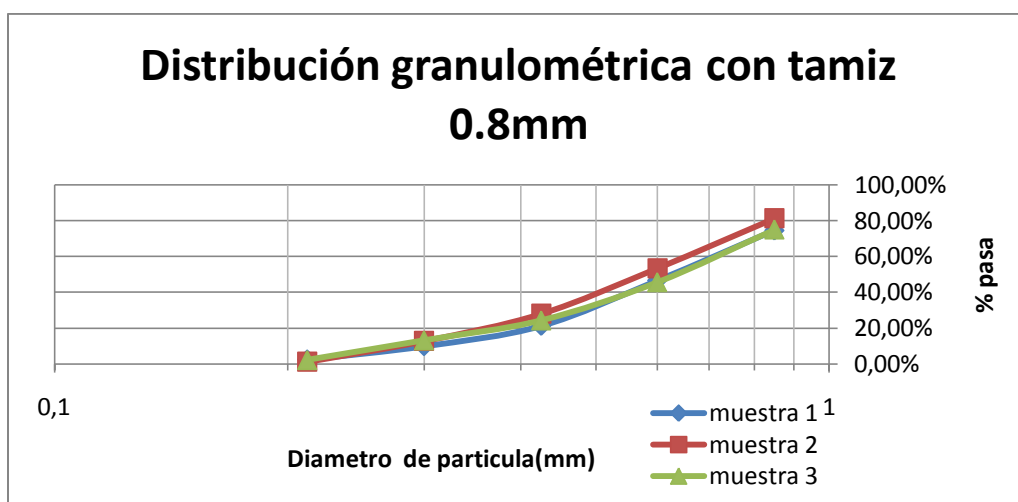
En la Gráfica 4 y Gráfica 6 se observó la distribución granulométrica del proceso de molienda con dos tamices de 0.8mm y 0.6mm, estas gráficas indican un comportamiento normal del molino, ya que su distribución es acorde con la reportada en la literatura.

El diámetro medio obtenido después de la molienda (Tabla 10 y Tabla 11), con el tamiz de 0.8mm fue de 0.618mm lo cual indica que el tipo de molienda es del tipo medio

acercándose a grueso. Para el tamiz de 0.6mm en el molino, se obtiene un diámetro medio de 0.508mm, por lo que se considera una molienda media.

Respecto al coeficiente de uniformidad, se observa que el encontrado con el tamiz de 0.6mm (3.017) está por encima de 3, lo que indica que se puede realizar una buena extracción con él, mientras que el obtenido con el tamiz de 0.8mm (2.972) está por debajo de este valor, a pesar de ello tiene un valor muy cercano al límite.

Gráfica 4. Distribución granulométrica con tamiz 0.8mm



Gráfica 5. Distribución partículas con tamiz 0.8mm

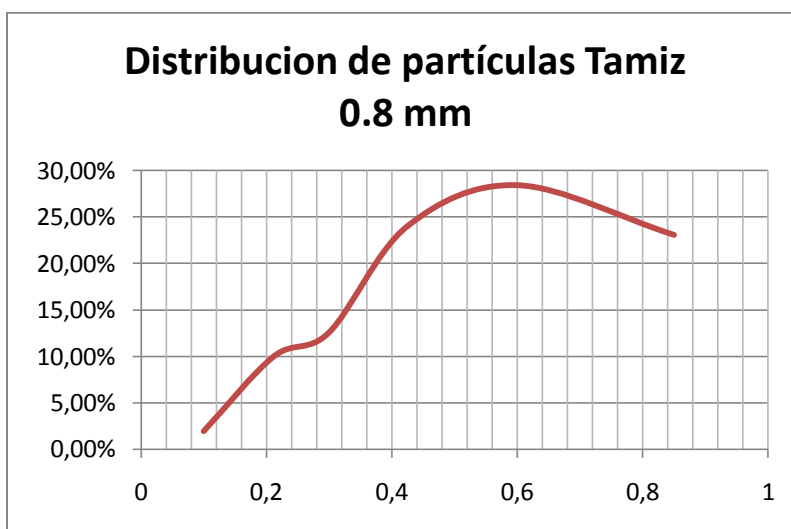
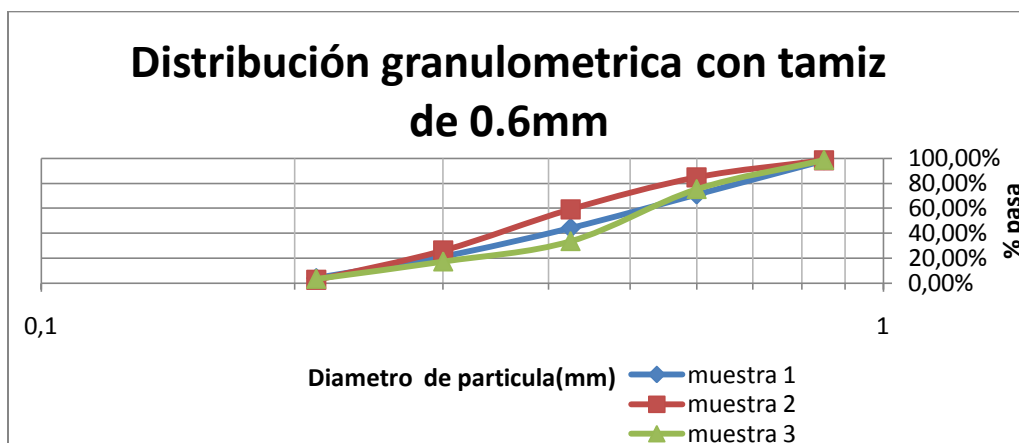


Tabla 10. Molienda con tamiz 0.8 mm

	pendiente	intercepto	R ²	diámetro medio	coeficiente de uniformidad
muestra 1	2.792	0.868	0.9833	0.643	2.7917
muestra 2	3.330	1.403	0.9289	0.588	3.3296
muestra 3	2.795	0.957	0.9562	0.623	2.7952
promedio				0.618	2.972
%desviación estándar				4.49%	10.41%

$$\ln \left(\ln \left(\frac{100}{\%R} \right) \right) = 2.792 \ln(D) + \ln(0.868) \quad \text{Ecuación 7}$$

Gráfica 6. Distribución granulométrica con tamiz 0.6mm



Gráfica 7. Distribución de partículas con tamiz 0.6mm

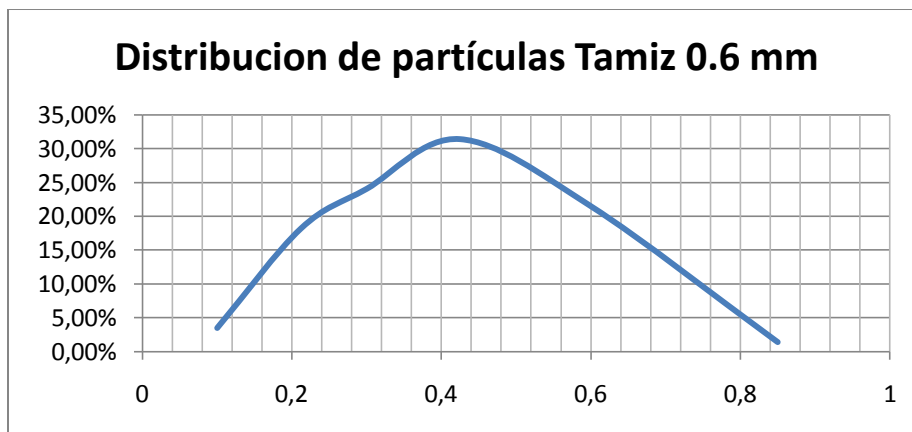


Tabla 11. Molienda con tamiz 0.6 mm

	pendiente	intercepto	R ²	diámetro medio	coeficiente de uniformidad
muestra 1	2.661	1.359	0.9597	0.523	2.661
muestra 2	3.250	2.138	0.9031	0.463	3.250
muestra 3	3.142	1.571	0.9735	0.540	3.142
			promedio	0.508	3.017
			%desviación estándar	7.94%	10.39%

$$\ln\left(\ln\left(\frac{100}{\%R}\right)\right) = 3.142\ln(D) + \ln(1.571)$$

Ecuación 8

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ OBTENIDO

Los datos para la realización de la caracterización a las muestras finales obtenidas con las modificaciones y protocolos implementados en el desarrollo del proyecto se muestran en la Tabla 12, la Tabla 13, la Tabla 14, la Tabla 15 y la Tabla 16.

Tabla 12. Porcentaje de Sólidos Solubles

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
caja petri vacía	53.39	53.38	53.39
caja petri final	53.70	53.64	53.66
SS%	3.10%	2.60%	2.70%

Tabla 13. Porcentaje de extracción

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
peso extracto	263,9	261,6	262,9
% Extracción	45,45	37,79	39,43

Tabla 14. Grados brix

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
grados Brix	4.02	3.29	3.44

Tabla 15. Acidez

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
ml de NaOH	15.2	16.4	14.9
acidez	1.611	2.088	1.819

Tabla 16. pH

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
pH	5.6	5.1	5.3

Los resultados finales de la caracterización se resumen en la Tabla 17, en la que se puede observar las principales características del café que se produce en la empresa Fincafé.

Tabla 17. Resumen de la caracterización final del café

	muestra 1	muestra 2	muestra 3	promedio	Desviación estándar
color	Muy oscuro	Muy oscuro	Muy oscuro	Muy oscuro	Na
sólidos	3.10%	2.60%	2.70%	3.07%	9.45%
pH	5.6	5.1	5.3	5.33	4.72%
acidez	1.61	2.09	1.82	1.73	13.01%
brix	4.02	3.29	3.44	3.97	10.73%
% extracción	45,45	37,79	39,43	40,89	9,86%
diámetro medio	0.523	0.463	0.540	0.508	7.94%
molienda	media	fin	media	media	Na

3.6 REDUCCIÓN DE COSTOS

La reducción de costos a la empresa Fincafé realizada en el proyecto, se puede observar desde una perspectiva económica directa, evidenciada en la Tabla 18, donde se disminuye el consumo de energía eléctrica y de gas natural. A demás desde una perspectiva de calidad, se está produciendo un mejor café con costos menores asociados.

Tabla 18. Reducción de costos para un lote de 50 libras

Proceso	anterior	actual	unidad
Tamaño lote	50		lb
tiempo trillado	8.67	7.42	min
potencia	15		hp
Energía Trillado	1.62	1.38	kW-h
tiempo tostión	52.42	38.18	min
potencia	1		hp
Energía tostión	0.65	0,47	kW-h
consumo equipo	1.48		m3/h
consumo gas	1.29	0,94	m3
tiempo molienda	25.5	25,7	min
potencia	10		hp
Energía Molienda	3.17	3.20	kW-h
Consumo total Energía	5.44	5.05	kW-h
Consumo total Gas	1.29	0.94	m ³
% ahorro Energía	7.1%		
% ahorro gas	27%		

3.7 MEJORA DE CALIDAD

Según encuesta realizada entre 10 consumidores del café Fincafé estos son los resultados por pregunta:

1. Aproximadamente hace cuanto consume el café Fincafé:

a. Menos de 6 meses	10%
b. Más 6 meses	60%
c. Más de 12 meses	30%

2. Como prepara habitualmente el café Fincafé:

a. Cafetera eléctrica	60%
b. Colador convencional	40%
c. Maquina expreso	0%

3. Según sus experiencias con este café, califique de 0 a 4 siendo 0 la mínima calificación y 4 la máxima las siguientes características

	1	2	3	4
a. Sabor	0%	10%	70%	20%
b. Aroma del café molido	0%	30%	70%	0%
c. Aroma del café preparado	0%	10%	60%	30%

4. Comparando el café que consume ahora con el café consumido hace más de 6 meses, encuentra diferencias significativas

	SI	NO	MAS O MENOS
a. Sabor	70%	0%	30%
b. Aroma del café molido	10%	20%	70%
c. Aroma del café preparado	60%	0%	40%

Como se puede apreciar en los resultados, la mayor parte (90%) de los consumidores llevan más de 6 meses consumiendo el café, a demás de que el método de preparación de ellos es en un 60% en cafetera eléctrica, debido a esto se puede considerar un población homogénea para el medir la calidad del café según sus consumidores.

En la pregunta 3 se evidencia que la calificación más común que dan los consumidores es de 3 (70% en sabor, 70%aroma café molido, 60% aroma bebida) para esas características, esto indica que están consumiendo un café que les gusta y tiene una buena calidad.

La última pregunta muestra que en el sabor y el aroma de la bebida de café, el 100% de los encuestados dicen sentir una mejora de estas características, así sea considerada una mejora leve. Respecto al aroma del café molido, los encuestados afirman que fue muy poca la mejora (70%)

4. CONCLUSIONES

- Con las mejoras efectuadas en el proceso de trillado, se evita el ingreso de grano con cascarilla, con lo que se logra eliminar el sabor a quemado debido a esta.
- En la tostión se presentaron las mayores mejoras, ya que se le implementaron cambios tanto al equipo (termocuplas y velocidad de giro de tambor) como al protocolo de uso. Además siendo este uno de los procesos más influyentes en la producción de un café de excelente calidad y al hacer estas mejoras se logra una tostión muy oscura sin llegar al punto de sobretostación o carbonizado de los granos, resaltando su sabor característico mas no un sabor a quemado, que fue uno de los principales problemas iniciales encontrados.
- Aun cuando el sistema de control en la tostión es totalmente manual (no automatizado), se implementó el uso de curvas de tostión, que son muy importantes para la producción de los distintos tipos de café y que si son muy utilizadas en las grandes empresas productoras, donde este proceso es totalmente automático.
- En el proceso de molienda se logro disminuir el tamaño promedio de partícula, con lo cual se logra una mejor extracción y se realza más sus características.
- Al realizar la caracterización final y compararla con las establecida en la literatura, se puede afirmar que cumple con la mayoría los parámetros, siendo el porcentaje de extracción un poco más alto de lo reportado en la literatura, a pesar de ello la extracción no es un parámetro que indique una buena calidad de café, ya que depende del tipo de preparación que cada consumidor utilice.
- Respecto al ahorro que generaron los cambios en la empresa debido al desarrollo del proyecto, estos alcanzan aproximadamente un 7% de reducción de consumo de energía eléctrica y del 27% respecto al consumo de gas natural.
- Gracias a las opiniones dadas por los consumidores habituales del café Fincafé, se logro evidenciar que las mejoras en los procesos, incidieron favorablemente a la calidad del producto final.

- Debido a lo anteriormente expresado se puede concluir que se logró mejorar la calidad de café que comercializa la empresa Fincafé a un menor costo operacional asociado, a partir de cambios en los procedimientos y en la modificación física de algunos equipos.
- Respecto a las desviaciones numéricas que se presentaron en los procesos (trillado, tostión, molienda y caracterización final), la más alta fue la de molienda. Igualmente al caracterizar el café en la parte final del proyecto, en las variables calculadas (color, sólidos solubles, pH, acidéz, grados brix y % de extracción) se presentaron desviaciones estándar altas comparadas con los procesos, esto debido a que las características finales tienen variación por los distintos defectos de los granos que son utilizados como materia prima.
- El proceso que se puede considerar más uniforme fue el del trillado, que es el que posee las menores desviaciones durante todas las pruebas.

5. RECOMENDACIONES

- Se debe organizar mejor la planta física de la empresa, la organización de los equipos en el espacio con que se cuenta. Así como la automatización del empaque del café producido.
- Hacer protocolos para implementación de una mejor caracterización de la materia prima que se compra, para ello se sugiere realizar capacitaciones a los campesinos que le venden a la empresa Fincafé, enfocadas en un mejor beneficio inicial en sus fincas, principalmente en el secado del café pergamino, para así poder llegar a obtener un café de mayor calidad.
- Implementar un sistema de separación mecánica, que podría ser una zaranda para clasificar por tamaño el grano que se compra y a demás adquirir un equipo de secado para utilizar con el grano cuando sea necesario, ya que la humedad inicial es una variable que influye en todo el proceso.
- Como recomendación general, se puede sugerir la implementación de otros proyectos enfocados en certificar la calidad del café que se produce en Fincafé, a través de sellos de calidad, BMP, entre otros, que lo califiquen como un café natural, ecológico y en un futuro orgánico.

6. BIBLIOGRAFÍA

BOOT Willem The Naked Bean- Roasting to Perfection [Publicación periódica] // Roast Magazine. - Portland, Estados Unidos : [s.n.], Marzo de 2004.

CASTAÑO José, QUINTERO Gloria y VARGAS Ricardo Caracterización del rendimiento de extracción y del contenido de sólidos solubles de la bebida de café [Publicación periódica] // Cenicafe 51. - 2000. - págs. 185-195.

CENICAFE Cenicafe [En línea]. - 2010. - Agosto de 2010. - http://cenicafe.org/modules/Variedades_de_Cafe/docs/variedades_wmf.pdf.

CHIRIRINOS Hamlet Fertilización del cafeto (Coffea arábica) [Publicación periódica] // INFORMACIONES AGRONOMICAS. - Diciembre de 2001. - 1 : Vol. 5.

CLARK Ronald Coffee. Vol. 1. Chemistry. [Libro]. - New York : [s.n.], 1985.

CUELLAR Paula y CASTAÑO José Relación entre la densidad aparente del café tostado y molido medida por compactación y caída libre y algunas propiedades del extracto de café [Publicación periódica] // Cenicafe 52. - 2001. - págs. 215-222.

FAO - IICA Calidad de los alimentos vinculada al origen y las tradiciones de América Latina: Estudios de caso [Libro]. - Lima : FAO-IICA, 2008.

GUEVARA Ricardo y CASTAÑO Jose Caracterización granulométrica del café colombiano tostado y molido [Publicación periódica] // Cenicafe 56. - 2005. - 1. - págs. 5-18.

MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO COLOMBIA Resolución 4819 [Libro]. - Bogotá : [s.n.], 2005.

MONTILLA Jimena, ARCILA Jaime y PUERTA Gloria Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio [Publicación periódica] // Avances Técnicos Cenicafe. - abril de 2008. - 370.

MURILLO Miguel El café y su Transformación [En línea] // Agroindustria. - 2009. - Septiembre de 2010. - <http://agroindustria.over-blog.com/article-32619357.html>.

PRIETO Alexandra Caracterización física de café semitostado [Tesis]. - Bogota : [s.n.], 2002.

PUERTA Gloria Influencia del proceso de beneficio [Publicación periódica] // Cenicafé 50. - 1999. - págs. 78-88.

SÁNCHEZ Julio y ANAYA Irasema Estudio de la Hidrodinámica del Café Tostado (Coffea arabica L.) [Publicación periódica] // Revista Mexicana de Ingeniería Química. - Mexico : [s.n.], 2007. - 002 : Vol. 6. - págs. 185-192.

VALENCIA Germán [En línea] // International Plant Nutrition Institute. - 2010. - Agosto de 2010. -

[http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/abde7353d28f849705256fff006c0726/\\$FILE/Fisiolog%C3%ADa,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20del%20cafeto.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/abde7353d28f849705256fff006c0726/$FILE/Fisiolog%C3%ADa,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20del%20cafeto.pdf).

7. ANEXOS

Anexo A. Encuesta para evaluación de calidad.

ENCUESTA CAFÉ FINCAFÉ

1. Aproximadamente hace cuanto consume el café Fincafé:
 - a. Menos de 6 meses
 - b. Más 6 meses
 - c. Más de 12 meses
2. Como prepara habitualmente el café Fincafé:
 - a. Cafetera eléctrica
 - b. Colador convencional
 - c. Maquina expreso
3. Según sus experiencias con este café, califique de 0 a 4 siendo 0 la mínima calificación y 4 la máxima las siguientes características:
 - a. Sabor
 - b. Aroma del café molido
 - c. Aroma del café preparado
4. Comparando el café que consume ahora con el café consumido hace más de 6 meses, encuentra diferencias significativas en

	SI	NO	MAS O MENOS
a. Sabor			
b. Aroma del café molido			
c. Aroma del café preparado			

Anexo B. Datos tiempo y temperatura de la corrida 1 de tostión.

tiempo(s)	temperatura(°C)	tiempo(s)	temperatura(°C)
30	37	1140	162
60	47	1170	167
90	55	1200	171
120	66	1230	176
150	74	1260	181
180	81	1290	186
210	93	1320	191
240	102	1350	197
270	110	1380	203
300	121	1410	209
330	133	1440	213
360	139	1470	215
390	146	1500	212
420	155	1530	210
450	155	1560	206
480	152	1590	205
510	149	1620	201
540	146	1650	200
570	143	1680	200
600	141	1710	196
630	140	1740	194
660	139	1770	192
690	138	1800	190
720	137	1830	187
750	136	1860	188
780	135	1890	189
810	137	1920	192
840	138	1950	193
870	140	1980	196
900	142	2010	201
930	143	2040	205
960	144	2070	211
990	146	2100	217
1020	149	2130	221
1050	152	2160	223
1080	155	2190	225
1110	159		

Anexo C. Datos tiempo y temperatura de la corrida 2 de tostión.

tiempo(s)	temperatura(°C)	tiempo(s)	temperatura(°C)
30	35	1140	159
60	39	1170	161
90	47	1200	163
120	57	1230	165
150	63	1260	168
180	78	1290	173
210	82	1320	180
240	96	1350	189
270	107	1380	194
300	113	1410	202
330	123	1440	211
360	136	1470	214
390	148	1500	216
420	152	1530	214
450	152	1560	210
480	147	1590	205
510	144	1620	203
540	142	1650	201
570	142	1680	198
600	141	1710	195
630	137	1740	193
660	136	1770	190
690	137	1800	186
720	138	1830	188
750	140	1860	190
780	142	1890	192
810	143	1920	196
840	144	1950	199
870	145	1980	204
900	147	2010	210
930	148	2040	212
960	150	2070	213
990	153	2100	215
1020	154	2130	219
1050	155	2160	222
1080	156	2190	225
1110	157	2220	227