

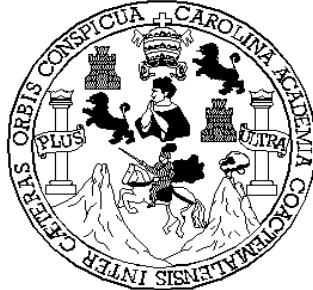


Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

Evaluación del rendimiento térmico y económico del carbón mineral
y su incidencia en la calidad del producto final, comparado con
el diésel y la leña, en el secado del café

Rosa Arlette Acevedo García
Carné No.93-12609
Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO Y ECONÓMICO
DEL CARBON MINERAL Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD
DEL PRODUCTO FINAL, COMPARADO CON EL DIÉSEL
Y LA LEÑA, EN EL SECADO DEL CAFÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

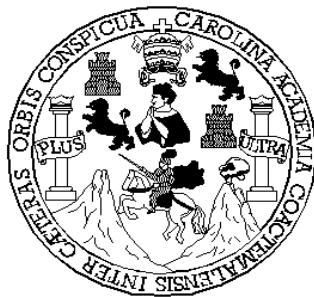
POR

ROSA ARLETTE ACEVEDO GARCÍA

ASESORADA POR EL ING. MANUEL DE JESÚS GUILLÉN FERNÁNDEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR:	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR:	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO:	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Evaluación del rendimiento térmico y económico del carbón mineral y su incidencia en la calidad del producto final, comparado con el diésel y la leña, en el secado del café.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 04 de marzo de 2002.

Rosa Arlette Acevedo García

DEDICATORIA

- A Dios** Sobre todas las cosas, por darme la vida, la salud y la inteligencia necesaria para culminar mi carrera.
- A mi madre** Rosita García de Acevedo, por su ejemplo, amor y sabiduría; reciba en el cielo este triunfo en su honor.
- A mi padre** Mario Acevedo, por su sacrificio y apoyo incondicional; sea también en su honor este logro alcanzado.
- A mi esposo** César, por su comprensión, amor y entrega, que me ayudaron a lograr este triunfo.
- A mis hermanos y cuñados** Mario, Vicky, Lily, Maritza, Vinicio y Luis, por su ayuda y acompañamiento a lo largo de mi carrera.
- A mis abuelitos** En especial a mi mamita Toya, con gran cariño.
- A mis sobrinos** Que este triunfo sea un ejemplo, para que logren sus objetivos.
- A mis tíos** Empera, Tere, Iky, Otto, y en especial a Osberto y Nery Acevedo.
- A mis familiares** Quienes me animaron siempre a seguir adelante.
- A mis amigos** De la Universidad de San Carlos de Guatemala, que compartieron conmigo estos años de estudio y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios** Porque nunca me soltó de su mano y me dio fuerzas en los momentos difíciles.
- A mis padres** Por creer en mí y esforzarse para brindarme lo necesario durante toda mi vida y mi carrera.
- A mi esposo** Por su apoyo que me anima siempre a superarme y a alcanzar mis metas.
- A ANACAFÉ** Que me brindó la oportunidad de preparar este estudio y me proveyó las herramientas y recursos necesarios.
- Al personal de ANACAFÉ** Quienes en todo momento me brindaron su ayuda y compartieron conmigo su conocimiento.
- A los beneficios de café** “El Jocote”, “Las Brisas” y “La Libertad” y a sus respectivos propietarios, quienes me abrieron sus puertas para la elaboración de este estudio.
- Al Ing. Manuel de Jesús Guillén F.** Por su valiosa disposición y asesoría.
- Al Ing. Orlando Posadas Valdez** Por la revisión del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	IX
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. TIPOS DE CAFÉ QUE SE CULTIVAN EN GUATEMALA	01
2. BENEFICIADO HÚMEDO	
2.1. Diagrama del beneficiado húmedo del café	03
2.2. Recolección del fruto en el campo	04
2.3. Recibo del fruto	04
2.4. Despulpado	04
2.5. Extracción de la pulpa	05
2.6. Clasificación del grano despulpado	05
2.7. Eliminación del mucílago	05
2.8. Lavado	05
2.9. Secado	06
2.9.1. Secado al sol	06
2.9.2. Secado mecánico	06
2.10. Almacenamiento	06

3. SECADO DE SÓLIDOS	
3.1. Tipos de secado según la disposición del sólido	09
3.2. Tipos de contacto gas-sólido	10
3.3. Tipos de secadores más utilizados en la industria del café	11
3.3.1. Secador estático de cuartos inclinados	12
3.3.2. Secadoras verticales	12
3.3.3. Guardiolas	13
3.4. Curvas de secado	13
4. TIPOS DE COMBUSTIBLES	
4.1. Combustibles sólidos	15
4.1.1. Carbón mineral tipo coque	15
4.1.1.1. Mecanismo de transformación del carbón en coque	16
4.1.2. La leña	16
4.2. Combustibles líquidos	17
4.2.1. Diésel	18
4.3. Combustibles gaseosos	19
5. CONTROL DE CALIDAD	
5.1. La calidad del café y el combustible utilizado	21
5.2. Análisis de verificación de la calidad del café	22
5.2.1. Apariencia del grano verde o pergamino	22
5.2.2. Tamaño	22
5.2.3. Rendimiento	22
5.2.4. Defectos físicos	23
5.2.5. Tueste	23
5.2.6. Pruebas organolépticas	23
5.2.7. Porcentaje de humedad	23

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1. Consumo energético	25
6.2. Rendimiento térmico	26
6.3. Rendimiento económico	28
6.4. Temperaturas de secado	32
6.4.1. De la masa de café	32
6.4.2. Del aire desecante	32
6.5. Variables no controlables	33
6.6. Control de calidad	34
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	41
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama del proceso de beneficiado húmedo del café	3
2	Secador estático de cuartos inclinados	12
3	Curva típica del secado del café	14
4	Diagrama de balance de masa. Sistema de secado de café	27
5	Gráfica comparativa de humedades relativas	33
6	Resultados del análisis de catación. Beneficio El Jocote	45
7	Resultados del análisis de catación. Beneficio La Libertad	46
8	Resultados del análisis de catación. Beneficio Las Brisas	47

TABLAS

I	Poderes caloríficos de la leña	17
II	Análisis aproximado de la leña, en base seca	17
III	Consumo energético normal de un secador de granos	25
IV	Consumo energético total con cada tipo de combustible	26
V	Total de agua evaporada en cada sistema	28
VI	Rendimiento térmico de cada combustible	28
VII	Rendimiento económico de cada combustible	29
VIII	Comparativos de promedios obtenidos	29
IX	Datos originales promedio – Beneficio “El Jocote”	30
X	Datos originales promedio – Beneficio “La Libertad”	31
XI	Datos originales promedio – Beneficio “Las Brisas”	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kJ/kg	Kilo joules por kilogramo
pie ³ /min	Pie cúbico por minuto
kcal	Kilocalorías
Btu	British Thermal Unit

GLOSARIO

Beneficiado húmedo	Proceso mediante el cual se transforma el café cereza en café Pergamino, por medio de un sistema que utiliza agua para el transporte y parte del proceso de los granos.
Café cereza	Grano de café que posee todavía la pulpa.
Café pergamino	Grano de café despulpado, lavado y seco que resulta del proceso de beneficiado húmedo.
Café oro	Grano de café seco y tostado que está listo para ser molido y degustado.
Caudal	Relación entre el volumen de un fluido y el área a través de la cual está pasando éste.
Cribas	Equipos que clasifican el grano por densidad y por tamaño. Generalmente son rotatorias.
Destilación	Proceso de separación de dos componentes que utiliza vapor y líquido, esencialmente a la misma temperatura y presión.
Fermentación	Proceso microbiano que da como resultado productos útiles.
Hibridación	Animal o planta que procede del cruce entre progenitores de diferente género, especie o familia.
Humedad relativa	Relación entre la presión parcial del vapor de agua en aire y la presión del vapor de agua a la temperatura dada.

Manejo cultural	Reducción de factores que predisponen el cultivo a enfermedades. Ej. Regulación de sombra, control de malezas, etc.
Material infusible	Material que no se puede fundir.
Mucílago	Material gelatinoso insoluble en agua que recubre al grano de café.
Mutación	Variación de las informaciones contenidas en el código genético - habitualmente, un cambio de un gen a otro producido por algún factor exterior al algoritmo genético.
Quakers	Granos de café que presentan apariencia reseca debido a que todavía poseen parte de la cascarilla.
Poder calorífico	Calor que es liberado al entorno cuando una unidad de combustible en condiciones de referencia se quema completamente, en estado de régimen permanente, de tal manera que los productos salen también en condiciones de referencia.
Propiedades organolépticas	Todas aquellas características de un producto que pueden ser evaluadas por medio del sentido del gusto y del olfato.
Pulpa	Parte externa del fruto del café.
Surco	Distancia entre una línea de siembra y otra.
Sustancia oleaginosa	Sustancia de apariencia o de base aceitosa.

- Topografía** Rama de la Geología que se ocupa de la determinación de las posiciones relativas de los accidentes del terreno y su posterior proyección a escala en un plano o mapa.
- Zarandas** Planchas de metal perforadas que oscilan en el plano horizontal y clasifican el grano por medio de sus agujeros.

RESUMEN

Dada la importancia que tiene en la actualidad el optimizar los costos de producción de cualquier empresa, se realizó un estudio de investigación en tres fincas productoras de café en el departamento de Santa Rosa. Se evaluó el rendimiento térmico y económico del carbón mineral tipo coque, comparado con la leña y el diésel, así como sus efectos en la calidad del producto final. En este documento se presentan los resultados obtenidos de dicho estudio, habiéndose comprobado que el carbón mineral tipo coque posee un mejor rendimiento térmico que el diésel y la leña, y que la mínima diferencia económica entre aquél y la leña representa una gran ventaja al conservar el medio ambiente y los recursos naturales.

Además, se pudo comprobar que el uso del carbón mineral, al ser utilizado en contacto directo con el grano de café, no altera las propiedades fisicoquímicas ni organolépticas del mismo.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar el rendimiento térmico y económico del carbón mineral tipo coque y su incidencia en la calidad del producto final, comparado con el diésel y con la leña

- **Específicos**

1. Aplicar los conocimientos de balance de masa de la carrera de Ingeniería Química en el proceso de beneficiado húmedo del café
2. Conocer el diseño y funcionamiento de los diferentes tipos de secadores de café
3. Conocer los métodos de control de calidad que se realizan en la industria del café

HIPÓTESIS

El carbón mineral tipo coque tiene mejor rendimiento térmico y económico que el diésel y que la leña, y no altera la calidad física ni organoléptica del café al ser utilizado como combustible en un secador estático.

INTRODUCCIÓN

El cafeto es originario de Etiopía, África, y desde épocas antiguas se ha extendido su cultivo y producción por todo el mundo. A principios del siglo XVI fue introducido por Francia en las Antillas; en Guatemala, el crédito de haber introducido el cafeto lo tienen los padres jesuitas, alrededor del año 1760, quienes lo trajeron como planta ornamental para sus jardines en la Antigua Guatemala.

En Guatemala, el cafeto se instituyó gubernamentalmente como cultivo, en 1826 quedando, además, exonerado de cualquier impuesto todo el fruto producido del mismo, propiciando así que muchos agricultores se dedicaran a su cultivo¹.

A lo largo de los años, han sido muchos los retos que ha tenido que afrontar la industria cafetera en Guatemala; sin embargo, gracias al esfuerzo de los guatemaltecos y a los avances tecnológicos, se han podido obtener grandes logros que se han convertido en mejoras significativas para la agricultura nacional.

En la búsqueda de mejoras para el proceso de producción de café, se ha determinado que una de las fases del proceso que puede mejorarse es el secado del grano. En gran parte de los beneficios, este proceso se realiza artesanalmente y consiste en dispersar los granos de café sobre una superficie regular y limpia para que los rayos del sol puedan eliminar el contenido de agua de los mismos. Este proceso se lleva a cabo en 8 ó 10 días y una de sus desventajas es que depende directamente de las condiciones climatológicas del lugar, además de que requiere suficiente espacio de trabajo.

Debido a las desventajas que proporciona el secado artesanal, se ha empezado a utilizar el secado mecánico del café o beneficiado húmedo, el cual reduce el tiempo de secado a 36 horas, aproximadamente.

Sin embargo, al ahorro de tiempo en el secado se le contrapone el gasto del combustible que se utiliza en el secador. Este combustible puede ser sólido: leña, cascarilla de café o cualquier tipo de carbón; o también puede ser líquido: diésel o bunker.

En la mayoría de los beneficios que emplean secado mecánico, utilizan leña o diésel; sin embargo, recientemente ha surgido una nueva alternativa de combustible: el carbón tipo coque, que es un material de combustión limpia que además posee un excelente poder calorífico, que promete ser una buena opción para la combustión.

Este tipo de combustible es de origen colombiano y sus proveedores garantizan el suministro permanente, de manera que no se interrumpa el proceso productivo del café. Sin embargo, al introducir un nuevo material combustible a una cámara de combustión que directamente va a calentar el aire desecante de un equipo de secado, se vio la necesidad de realizar pruebas preliminares tanto de rendimiento, como de control de calidad, para asegurar que el producto tenga una mejor rentabilidad y que no va a cambiar las propiedades organolépticas del producto final, en este caso, del café, siendo los resultados de estas pruebas, el tema del presente trabajo de tesis.

1. TIPOS DE CAFÉ QUE SE CULTIVAN EN GUATEMALA

En Guatemala, así como en la mayoría de países latinoamericanos, se cultivan básicamente variedades de la especie *Coffea arabica*, las cuales han sido desarrolladas a partir de las primeras plantas suelo guatemalteco y que dieron como resultado mutaciones o hibridaciones naturales y artificiales.

Las variedades de café que existen en Guatemala se distinguen una de otra por el tamaño de su arbusto, las ramificaciones, el aspecto del fruto, la resistencia a las plagas, su producción y comportamiento ante las condiciones climatológicas. La mayoría de dichas variedades son, como se menciona anteriormente, producto de la hibridación, en muchos casos natural, de las diferentes especies.

Existe, además, una clasificación del grano que se basa en la altitud o metros sobre el nivel del mar en donde la planta ha sido cultivada, lo cual da origen a ciertas características especiales que denotan a cada uno de los tipos de café. Entre los más importantes, se encuentran: el Semiduro (1060 a 1212 msnm), el Duro (1212 a 1364 msnm), el Estrictamente Duro (1364 o más) y el de Antigua, Atitlán, Cobán, Fraijanes y Huehuetenango (más de 1515 msnm).

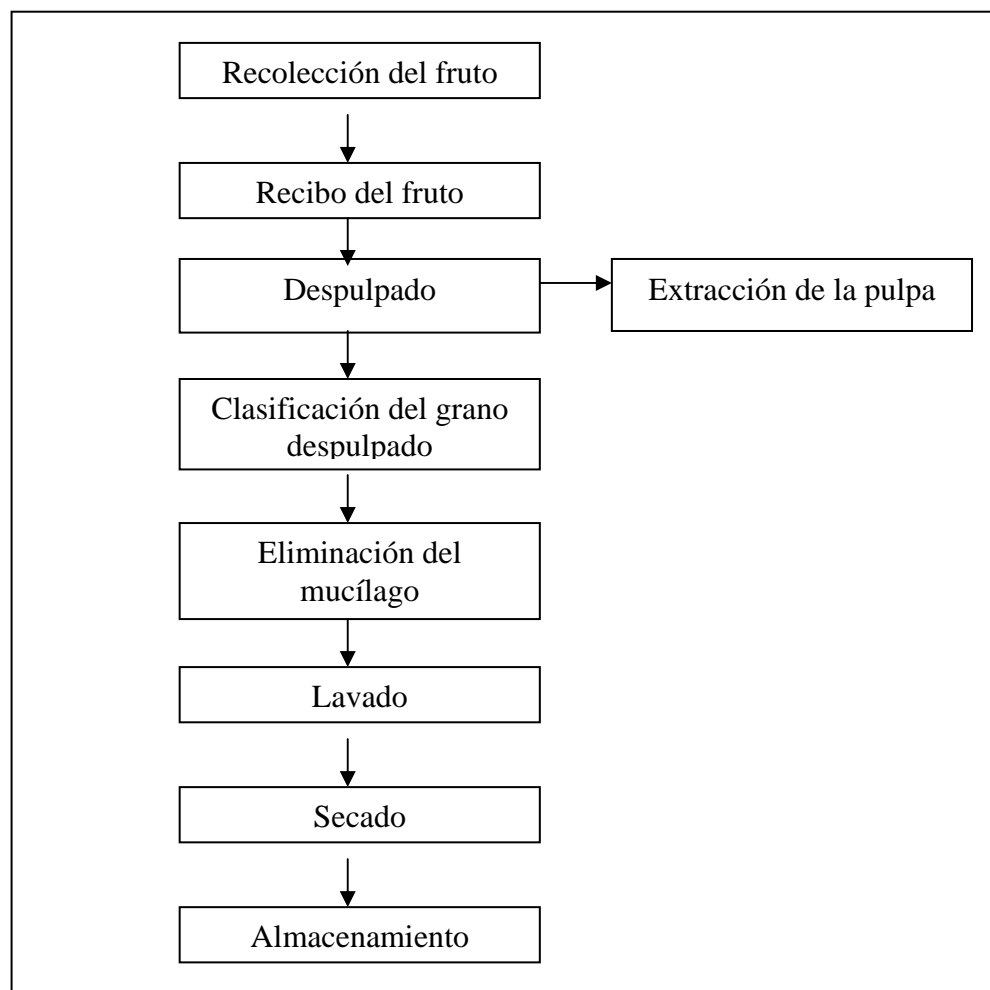
La investigación por parte de la Asociación Nacional del Café y de los caficultores es constante y en la actualidad la variedad de café que está en estudio es la Robusta. Este tipo de café es un arbusto muy vigoroso y grande que se está injertando para obtener un descendiente de Robusta que sea resistente especialmente a los nemátodos, los cuales son muy abundantes en el suelo guatemalteco y causan mucho daño a las plantaciones.

2. BENEFICIADO HÚMEDO

Beneficiado húmedo es el proceso mediante el cual se transforma el café cereza en café pergamino, por medio de un sistema que utiliza agua para el transporte y parte del proceso de los granos. Este proceso se lleva a cabo en varias etapas que se pueden observar en el diagrama siguiente.

2.1 Diagrama del beneficiado húmedo del café

Figura No.1: Diagrama del proceso de beneficiado húmedo del café



Fuente: Asociación Nacional del Café. **Manual de Caficultura**, p. 233.

Los aspectos más importantes de cada una de las etapas del diagrama se describen brevemente a continuación.

2.2. Recolección del fruto en el campo

En esta primera etapa del proceso es importante que se corten solamente los granos que están completamente maduros, porque de lo contrario los granos verdes o con otros defectos afectan la calidad final del producto; para evitar este problema, después del corte se hace una clasificación del grano y se elimina el que está malo.

2.3. Recibo del fruto

Cuando el fruto es llevado al beneficio, es pesado en romanas electrónicas o manuales y luego vaciado en los tanques recibidores que poseen una pendiente de 4 a 5%, para que el café luego sea transportado con mayor facilidad y con la menor cantidad de agua posible hacia la siguiente etapa del proceso.

En la etapa de recibo del fruto se lleva a cabo la clasificación del fruto por medio de sifones y sistemas de cribado para flotes que separan el fruto enfermo, que tiene menor densidad, y también elimina piedras y basura que pueden provocar el deterioro de la maquinaria.

2.4. Despulpado

Esta es la fase mecánica del proceso en donde el fruto es transportado a los despulpadores, en la mayoría de los casos, por medio de canales con corrientes de agua. Los equipos que realizan el despulpado ejercen presión sobre el fruto, aprovechando la lubricación que produce el mucílago, presionándolo hasta que suelte el grano.

2.5. Extracción de la pulpa

La pulpa de café representa aproximadamente un 40% del fruto, por lo cual es el residuo más voluminoso del beneficiado húmedo. En los beneficios tradicionales la pulpa se transporta a través de canales con agua hacia un destino determinado; sin embargo, en la actualidad se está implementando un tornillo sinfín, que permite extraer mecánicamente este subproducto.

2.6. Clasificación del grano despulpado

La clasificación del grano se realiza antes de la fermentación. Es quizá la etapa más importante del beneficiado de café, ya que permite asegurar la uniformidad del grano y al mismo tiempo eliminar frutos enfermos y el resto de pulpa. Esta clasificación se puede hacer por medio de zarandas oscilantes o cribas giratorias, las cuales clasifican el grano por densidad y por tamaño.

2.7. Eliminación del mucílago

El mucílago es un material gelatinoso insoluble en agua, por lo cual es necesario fermentarlo para que se pueda remover posteriormente en el lavado. Esto se realiza en natural (con agua) o químicamente; en Guatemala, en la mayoría de los beneficios, la fermentación se realiza en natural. Ésta se realiza en pilas donde se le agrega agua al grano y se deja reposar durante 6 a 48 horas, dependiendo de la madurez del fruto y de la temperatura del ambiente, entre otros factores.

2.8. Lavado

En esta operación se elimina el resto de mucílago que queda adherido al pergamino por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua. En esta fase es muy importante economizar agua, ya que de esto depende, en gran parte, la eficacia del proceso.

2.9. Secado

La etapa de secado consiste en remover la humedad del grano desde una humedad inicial que puede variar entre 30 y 40%, hasta una de 10-12%.

Los métodos de secado que se utilizan en la industria del café son los siguientes:

2.9.1. Secado al sol

El secado del café al sol constituye una de las prácticas más comunes en lugares donde se cuenta con espacio, energía solar y suficiente aire. Este método consiste en dispersar los granos de café después de lavado, en capas de 5 ó 6 centímetros sobre una superficie plana y limpia (patio) para que la energía solar pueda eliminar la humedad de los mismos. Estas capas se remueven 3 ó 4 veces al día para que el secado sea uniforme.

2.9.2 Secado mecánico

En el ámbito cafetero, se le llama secado mecánico al proceso inducido de secamiento del café; es decir, que cuando se utiliza cualquier tipo de secado que no sea el natural, se está realizando un secado mecánico. Esto se hace necesario en los lugares en donde no se cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para el secado al sol o no se tiene el espacio suficiente para dispersar el grano. Para realizar este tipo de secado existen varios tipos de secadores, los cuales se describen en el capítulo tres.

2.10. Almacenamiento

Es importante tener un lugar de almacenamiento con la temperatura y humedad relativa adecuadas para mantener el grano en buenas condiciones.

Los distintos tipos de café en pergamino cultivados en Guatemala, pueden almacenarse dentro de los límites de humedad comercial, en ambientes que posean humedad relativa media de cincuenta por ciento (50%), y niveles de temperatura alrededor de 22°C².

Otro factor muy importante que se debe tomar en cuenta es que el café absorbe los olores con mucha facilidad; por lo tanto, debe evitarse que en la misma bodega de almacenamiento haya insecticidas, detergentes o algún otro producto que pueda transferirle el aroma al café.

3. SECADO DE SÓLIDOS

Cabe mencionar que el secado “es la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas, de un cierto material”³. Esta operación unitaria es una de las más importantes en la industria, debido a la gran cantidad de procesos que hacen uso de ella. Los equipos que se utilizan para el secado de materiales son muy variados y el tipo que se seleccione depende específicamente del producto que se desee secar.

Existen muchos equipos y formas de secar los sólidos, y la selección de éstos depende de la facilidad, espacio, material a secar y recursos que se tengan para instalarlo.

3.1. Tipos de secado según la disposición del sólido

Cuando se lleva a cabo el secado de un sólido, este último puede estar en cualesquiera de las siguientes formas:

Estático: Este es un lecho denso de sólidos en el cual cada partícula descansa sobre otras, esencialmente a la densidad de masa de sedimentación de la fase sólida. Es decir, no existe movimiento relativo entre las partículas sólidas.

Móvil: Este es un tipo de lecho de sólidos ligeramente restringido en el cual las partículas están separadas apenas lo suficiente para fluir o deslizarse unas sobre otras. Por lo común, el flujo es descendente por la acción de la gravedad.

Fluidificado: Es una condición menos restringida aún, en la cual las partículas sólidas se sostienen por medio de fuerzas de arrastre provocadas por la fase gaseosa que pasa por los intersticios de las partículas, con una velocidad crítica dada. Se dice que es una condición inestable puesto que la fase de los sólidos y la fase gaseosa están entremezcladas y se comportan juntas como un fluido en ebullición.

Diluido: Esta es una condición irrestricta en la cual las partículas sólidas están tan separadas entre sí que prácticamente no ejercen ninguna influencia unas sobre otras. Es decir, que la fase de los sólidos está tan dispersa dentro del gas que la densidad de la suspensión es fundamentalmente la de la fase gaseosa en lo individual.

3.2. Tipos de contacto gas-sólido

Flujo paralelo: La dirección del flujo de gas es paralela a la superficie de la fase sólida. El contacto se registra primordialmente en la entrecara comprendida entre dos fases, en donde se produce quizá una leve penetración del gas en los vacíos comprendidos entre los sólidos cercanos a la superficie. En este caso, los sólidos se encuentran generalmente en una condición estática.

Flujo perpendicular: La dirección de la corriente de gas es normal a la entrecara de las fases. El gas choca contra el sólido y también en este caso, los sólidos se encuentran casi siempre en una condición estática.

Circulación directa: En este caso, el gas penetra y fluye directamente pasando por los intersticios de los sólidos, circulando de una manera más o menos libre en torno a las partículas individuales. Esto ocurre cuando los sólidos están en condiciones estáticas, móviles, fluidificadas o diluidas.

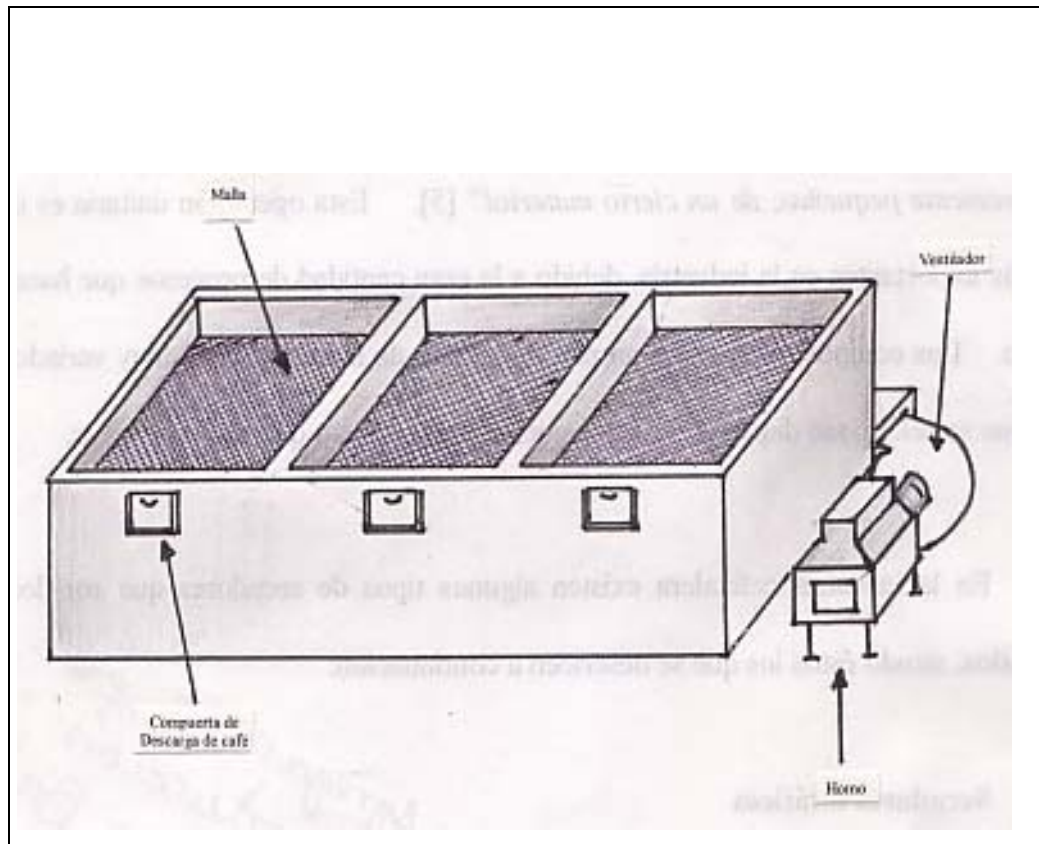
3.3. Tipos de secadores más utilizados en la industria guatemalteca del café

En la industria cafetera se ha recurrido a la utilización de cierto tipo de secadores debido a varios factores: economía en su diseño e instalación y su fácil mantenimiento, entre otros. Los tipos de secadores más comunes en esta industria son los que a continuación se describen.

3.3.1. Secador estático de cuartos inclinados

Este tipo de secador (Fig. No.2), es uno de los más utilizados en la producción del café. Consiste básicamente en unas pilas inclinadas en donde se coloca el lecho de café húmedo; el fondo de estas pilas es de malla metálica y debajo de ella hay una cámara por donde viene impulsado el aire para que haga contacto con el grano. Este caudal de aire es previamente calentado por la combustión de algún material en su respectivo horno y es impulsado luego por un ventilador hacia la cámara de secado. El gas de calentamiento traspasa el lecho de café a una temperatura determinada removiéndose, así, la humedad del grano.

Figura No.2: Secador estático de cuartos inclinados



Fuente: Beneficio “El Jocote”.

Este tipo de secador trabaja con un régimen de producción tipo *batch*, por lo cual el secado del café se lleva a cabo por tandas o partidas, como suelen llamarse en este ámbito.

3.3.2. Secadoras verticales

El secado se realiza al hacer pasar una cascada de café entre una corriente de aire caliente, para luego sufrir un descanso parcial, mientras es conducido de nuevo por medio de transportadores a la parte superior de la secadora y volverlo a dejar caer una y otra vez hasta que el café esté seco.

3.3.3. Guardiolas

Consiste en un tambor o cilindro que está puesto horizontalmente, montado sobre un eje hueco por donde circula el aire caliente. Este tambor o cilindro gira a unas 4 rpm, según el diseño del fabricante, y las paredes del tambor están perforadas para que por éstas pueda salir el aire húmedo.

En los tres tipos de secadoras se hace pasar una corriente de aire a través del café, para remover parcialmente la humedad del grano. El agua contenida se evapora y se mezcla con la humedad del aire que atraviesa por el café.

3.4. Curvas de secado

Las curvas de secado, en general, son las representaciones gráficas de la velocidad a la que cierto material pierde su humedad, debido a un método natural o inducido de remoción de la misma.

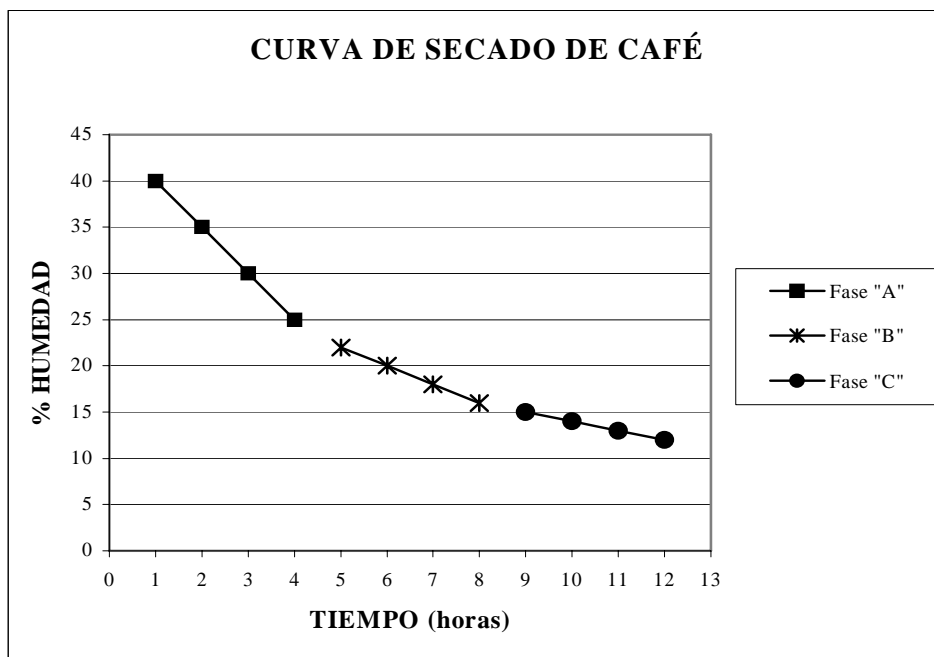
En una curva típica para el secado de café (figura No.3) se pueden distinguir las tres etapas más importantes que se llevan a cabo en este proceso:

- **Evaporación constante (A):** Esta fase de evaporación coincide con el presecado mecánico y necesita altos volúmenes de aire; la evaporación del agua es fácil y rápida. Esta fase se puede empezar a dar desde los patios de secamiento.

- **Fase crítica (B):** Ésta empieza cuando el grano traslada su humedad desde su interior hasta su superficie. En esta fase se produce la contracción del grano y el endurecimiento del pergamino, lo que provoca la formación de una cámara de aire que contribuye a la resistencia del flujo de humedad hacia la superficie.

• **Estabilización (C):** Este es el período final del secamiento, en donde el grano alcanza su punto final de secado; en el caso del café el punto final de la gráfica se encuentra en el contenido de humedad de 10 a 12%.

Figura No.3: Curva típica de secado de café



Fuente: Asociación Nacional del Café. **Manual de Caficultura**, p. 246.

Las curvas de secado demuestran que éste no es un proceso suave y continuo en el cual un solo mecanismo ejerce el control a lo largo de su duración, sino que está sujeto a la variación en función del tiempo y al contenido de humedad que posea el lecho, dado que al disminuir el gradiente de humedad, también lo hace el gradiente de la velocidad de secado.

4. TIPOS DE COMBUSTIBLES

Entre los diferentes tipos de combustibles están: sólidos, líquidos y gaseosos. Cada uno de estos tipos posee características distintas, por lo que se deben analizar sus propiedades, beneficios y desventajas para poder hacer una buena elección al momento de seleccionarlos para su utilización en alguna Industria.

4.1. Combustibles sólidos

Entre los combustibles sólidos más utilizados está el carbón, el cual se origina a partir de los restos en descomposición interrumpida de árboles, arbustos, helechos, musgos, lianas y otras formas de vida vegetal, que florecieron en lodazales y pantanos enormes, hace muchos millones de años, durante períodos prolongados de clima húmedo y tropical y precipitaciones pluviales abundantes. El precursor del carbón fue la turba, que se formó mediante la actividad bacteriana y química sobre los desechos de plantas. Las acciones subsiguientes del calor, la presión y otros fenómenos físicos transformaron la turba para convertirla en las diversas clases de carbón que se conocen en la actualidad. Debido a los diversos grados de cambios metamórficos ocurridos durante este proceso, el carbón no es una sustancia uniforme, no hay dos carbones que sean iguales en ningún aspecto.

4.1.1. Carbón mineral tipo coque

Es el material infusible, sólido y celular que queda después de la carbonización del carbón, alquitrán, residuos de petróleo y varios otros materiales carbonáceos. Su poder calorífico está alrededor de 29,288 kJ/kg y su contenido de materiales volátiles es de 2.5%, aproximadamente.

Las variedades del coque, aparte del carbón, se identifican, en general, agregándole una palabra para indicar su origen, por ejemplo, coque de petróleo.

Para indicar el proceso mediante el cual se fabrica un coque, se utiliza también un adjetivo, por ejemplo, coque de horno.

4.1.1.1. Mecanismo de transformación del carbón en coque

El mecanismo de formación de coque cuando se carboniza el carbón es un fenómeno físico-químico complejo que todavía no se entiende de manera perfecta. Algunos cambios físicos, relacionados entre sí cuando se calientan mezclas o categorías de carbón, son el ablandamiento, la desvolatilización, el hinchamiento y la resolidificación. Algunos de los cambios químicos que acompañan a ese proceso son la descomposición térmica, la despolimerización, la polimerización y la condensación.

4.1.2 Leña

Otro combustible muy importante en Guatemala es la leña, la cual presenta una gran diversidad de propiedades fisicoquímicas que es preciso conocer, según la aplicación que se desee darle. El contenido de humedad, la composición química y el poder calorífico de este combustible son aspectos muy importantes que hay que tomar en cuenta para la construcción y el funcionamiento de los hornos.

El contenido de humedad de la leña recién cortada varía entre el 40 y el 50%; luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la leña baja aproximadamente al 25%.

Otra característica importante de la leña es su poder calorífico, el cual varía en función de la clase de leña utilizada y de su contenido de humedad. A continuación, algunos datos los tipos de leña más utilizados.

Tabla No. I. Poderes caloríficos de la leña

Especie	Poder calorífico (kJ/kg)
Eucalipto	19228
Pino	20482
Cedro	18066
Ciprés	21443
Encino	19500
Media	19744

Fuente: <http://www.fao.org/inpho/vlibrary>. **Calentamiento del aire**, p. 4.

Por otra parte, como resultado del análisis químico de la leña, en base seca (Tabla No.II), se tiene que el contenido de materiales volátiles de la leña es aproximadamente de 80% y produce, además, un 0.5% de ceniza.

Tabla No. II. Análisis aproximado de la leña, en base seca

Componente	Porcentaje
Materiales volátiles	80.0
Carbono fino	19.5
Cenizas	0.5

Fuente: <http://www.fao.org/inpho/vlibrary>. **Calentamiento del aire**, p. 4.

4.2. Combustibles líquidos

El petróleo es una sustancia oleaginosa constituida por una mezcla de compuestos orgánicos. El petróleo crudo no tiene utilización práctica, pero luego de su destilación se obtienen subproductos tales como la gasolina, el querosén, el diésel y el petróleo combustible, los cuales, pese a ser combustibles excelentes, en algunos países no son de uso general en el secado de granos.

El primer proceso al que se somete el petróleo es la destilación; en este proceso, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo al peso molecular y a la temperatura de ebullición.

En las torres de destilación, las fracciones más ligeras, incluyendo gasolinas y gas LP, se vaporizan y suben hasta la parte superior de la torre, donde se condensan. Los líquidos medianamente pesados, como la querosina y la fracción diésel, se quedan en la parte media.

Los líquidos más pesados y los gasóleos ligeros primarios, se separan más abajo, mientras que los más pesados en el fondo. Las gasolinas contienen fracciones que ebulen por debajo de los 200°C, mientras que en el caso del diésel sus fracciones tienen un límite de 350°C. Esta última contiene moléculas de entre 10 y 20 carbonos, mientras que los componentes de la gasolina se ubican en el orden de 12 carbonos o menos.

4.2.1 Diésel

El combustible diésel también se manufactura, en muchos casos, a partir de mezclas de gasóleos con querosinas y aceite cíclico ligero, el cual es un producto del proceso de desintegración catalítica fluida.

En un tiempo la manufactura de diésel involucró utilizar lo que quedaba después de remover productos valiosos del petróleo. Hoy en día el proceso de fabricación del diésel es muy complejo, ya que comprende escoger y mezclar diferentes fracciones de petróleo para cumplir con especificaciones precisas.

El diésel posee un poder calorífico de 44,498 kJ/kg, aproximadamente, puesto que este valor varía ligeramente dependiendo de sus condiciones de fabricación.

A pesar de tener un poder calorífico considerablemente alto, comparado con la leña, tiene el inconveniente de que contiene azufre, por ser un derivado del petróleo; el contenido de azufre en el diésel contribuye significativamente a las emisiones de partículas al ambiente.

4.3 Combustibles gaseosos

Los combustibles gaseosos se obtienen de la mezcla de gases. Los más conocidos son el gas licuado de petróleo (GLP) y el gas natural. Sin embargo, en Guatemala todavía está en desarrollo el uso de estos combustibles.

El biogás derivado de la fermentación de residuos orgánicos no está indicado para el secado de granos porque el biodigestor tendría que ser demasiado grande para atender la demanda energética en el proceso de secado.

5. CONTROL DE CALIDAD

En todas las industrias, la determinación de la calidad del producto final es tan importante como el proceso mismo. Por esto es, que en la industria cafetera, el grano debe ser evaluado tanto física como organolépticamente para poder asegurar que la calidad se mantiene a lo largo del proceso de tal manera que se produzca un café con un buen aroma, libre de defectos físicos y de muy buen sabor para poder ser competitivo en el mercado nacional e internacional.

5.1. La calidad del café y el combustible utilizado

Una de las etapas que puede afectar la calidad del grano es el secado mecánico dado que en éste se debe recurrir al uso de combustibles para el calentamiento del aire de secado, el cual, en algunos casos, entra en contacto directo con el producto.

En el secado con diésel, el combustible calienta el aire, el cual entra en contacto directo con el lecho de café; este contacto directo, según estudios de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), no altera el olor ni el sabor del grano.

Cuando se utiliza leña, el aire es calentado y éste, a su vez, calienta indirectamente otra corriente de aire, siendo esta última la que entra en contacto con el lecho de café. Esto se debe a que la leña posee un gran porcentaje de compuestos volátiles (80% aprox.) e impregna el aire de olores desagradables, los cuales pueden ser transmitidos al lecho de café, alterando la calidad organoléptica de la taza.

Por otra parte, el carbón mineral tipo coque es un combustible novedoso que no se ha utilizado en la industria del café en Guatemala, por lo cual es muy importante investigar sobre su uso y asegurar que no altera las propiedades del grano.

5.2. Análisis de la verificación de la calidad del café

En la Asociación Nacional del Café se han elaborado procedimientos estándares para el análisis y el aseguramiento de la calidad del café que se produce en las distintas áreas de Guatemala, con base en métodos internacionales y según las necesidades del mercado nacional e internacional del café.

Las muestras debidamente identificadas se llevan al laboratorio de ANACAFÉ para ser analizadas por personas apropiadamente capacitadas y entrenadas para este fin. Entre las características más importantes que se evalúan en el laboratorio están las siguientes:

5.2.1. Apariencia del grano verde o pergamino

En este análisis se evalúan todos los aspectos físicos del grano, entre ellos el color y la apariencia, así como el tamaño, los granos sobresecados o sobrefermentados; se evalúa también si el secado fue parejo, ya que de no ser así, algunos de los granos presentan color verde y disparejo.

5.2.2. Tamaño

Para analizar el tamaño del grano se toma una muestra de 100 gramos y se pasa por diferentes tamaños de tamices o zarandas; luego se pesan los granos que han pasado a través de cada tamiz para registrar el porcentaje de cada uno de los tamaños.

5.2.3. Rendimiento

Para evaluar el rendimiento del café se toma una muestra de café pergamino y luego es transformada en café oro; después la cantidad obtenida de café oro es pesada y relacionada con el peso inicial en pergamino para determinar el rendimiento.

5.2.4. Defectos físicos

Los defectos físicos que puede tener el café pueden deberse tanto a la plantación como al proceso de beneficiado del mismo. Si bien es cierto que este tipo de defectos no influye en la calidad organoléptica del café, puede llegar a ser un motivo de rechazo en el mercado objetivo del producto.

5.2.5. Tueste

En este análisis se observa la apariencia del grano después de haber sido tostado, y se determina si su tueste fue parejo y no presenta ninguna otra característica que esté fuera de lo normal.

5.2.6. Pruebas organolépticas

Se realiza una infusión con el café analizado, luego de haber sido tostado y molido. En ANACAFÉ se evalúan tres características organolépticas que son: aroma, acidez y cuerpo, para lo cual existe una escala de ponderación para cada una de ellas, siendo 1 la calificación para un resultado malo; 2, para una característica moderada; 3, para un resultado bueno, y 4 es la calificación para un resultado excelente.

5.2.7. Porcentaje de humedad

Otra característica muy importante que debe ser analizada en cada cosecha es la humedad del café, ésta debe estar entre 10 y 12%, según las especificaciones internacionales.

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron tres corridas de secado con cada uno de los combustibles, para lo cual se solicitó la colaboración de tres beneficios de café del departamento de Santa Rosa: “El Jocote”, propiedad del señor Salvador Monterroso, donde se opera con carbón mineral tipo coque; “La Libertad”, propiedad de los Hermanos Samayoa, cuya operación es a base de leña comprada; y “Las Brisas”, propiedad del señor Daniel Franco, donde se utiliza diésel. Estos tres beneficios fueron escogidos para el análisis puesto que poseen el mismo tipo de secador: estático de cuartos inclinados, que poseen el mismo diseño y dimensiones.

Como su nombre lo indica, estos secadores son de disposición estática, tipo batch y de circulación directa, es decir, que el aire penetra directamente el lecho de café, permitiendo así la circulación más o menos libre del aire en torno a las partículas individuales de café.

6.1. Consumo energético

Un secador convencional de granos, correctamente construido, utilizado y mantenido, tiene un consumo energético teórico aproximado de 1000 kcal por kg de agua evaporada. Esta cantidad se compone de los aspectos incluidos en la siguiente tabla :

Tabla No.III: Consumo energético normal de un secador de granos

Calor necesario para la evaporación de 1 kg de agua	600 kcal
Pérdida por el calor sensible que se va en el aire usado	300-320 kcal
Pérdidas de calor por conducción, radiación y convección	30 kcal
Pérdidas por el calor transportado por el grano	80 kcal
Total	1010-1030 kcal

Fuente: Aguilar & Boyce. *Temperature ratios for measuring efficiency of driers*, p.12.

En la tabla anterior, el valor de 600 kcal es el valor mínimo de energía que se requiere para evaporar 1 kg de agua⁷, por lo tanto, es el único valor que permanece constante. Los demás valores pueden ser disminuidos en cierta medida para mejorar la eficiencia del secador.

Para el cálculo del consumo de energía en cada una de las corridas se utilizó la siguiente ecuación:

$$CE [kJ] = \text{Poder calórico combustible [kJ/kg]} * \text{Combustible total [kg]} \quad [\text{Ec. No.1}]$$

Donde CE es el consumo energético total del sistema, en kilojoules.

Utilizando la ecuación anterior y tomando como base las cantidades de combustibles utilizados en cada uno de los beneficios, dadas en la tabla No.VIII, se calcularon los consumos de energía con cada uno de los combustibles, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla No.IV: Consumo energético total con cada tipo de combustible

Beneficio	Tipo de combustible	Consumo energético total [kJ]
El Jocote	Carbón mineral	4.25 x 10 ⁶
La Libertad	Leña	4.82 x 10 ⁶
Las Brisas	Diésel	7.05 x 10 ⁶

Fuente: Cálculos de datos de la tabla No.VIII y los respectivos poderes calóricos de cada combustible.

6.2. Rendimiento térmico

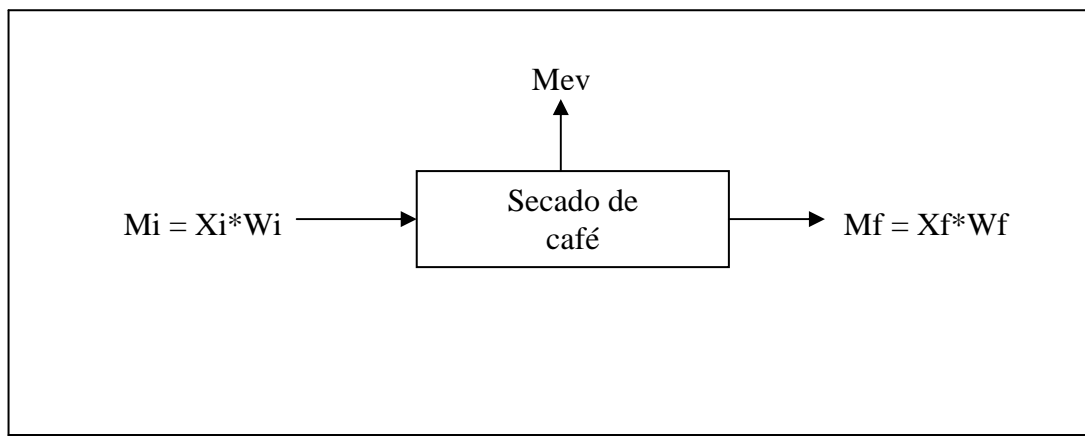
El rendimiento térmico, en este caso, de un secador de granos, es la mejor manera de medir la eficiencia de un sistema, ya que permite evaluarlo con base en el consumo de energía utilizada por cada kilogramo de agua evaporada o eliminada del lecho de sólidos⁷. Así, se tiene la ecuación siguiente para definir el rendimiento térmico de un sistema de secado de granos:

$$RT = \text{Energía utilizada [kcal]} / \text{total de agua evaporada [kg]} \quad [\text{Ec. No.2}]$$

La cantidad de energía utilizada en cada sistema, se ha calculado en el inciso 6.1, quedando únicamente por calcular el total de agua evaporada.

Para calcular la cantidad de agua evaporada, se utilizó el siguiente diagrama de balance de masa:

Figura No.4: Diagrama de balance de masa: sistema de secado de café



Fuente: Felder. **Balance de masa**, p.63.

En donde:

M_i, M_f (Moisture): Humedades inicial y final del café, respectivamente [kg]

M_{ev} : Total de humedad evaporada [kg]

X_i, X_f : Porcentajes de humedad inicial y final de la masa de café, respectivamente

W_i, W_f : Pesos inicial y final de la masa de café, respectivamente [kg]

Con base en el diagrama anterior, se obtiene la siguiente ecuación de balance de masa para este sistema:

$$M_i = M_f + M_{ev} \quad [\text{Ec. No.3}]$$

de donde se despeja:

$$M_{ev} = M_i - M_f$$

[Ec. No.4]

Utilizando la ecuación anterior y tomando como base los datos de la tabla No.VIII, se calcularon las cantidades de agua evaporada en cada uno de los sistemas, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla No.V: Total de agua evaporada en cada sistema

Beneficio	Total de agua evaporada [kg]
El Jocote	1531.4
La Libertad	1637.0
Las Brisas	1687.9

Fuente: Tabla No.VIII.

Así, teniendo las cantidades de energía consumida en cada sistema y sus respectivos totales de agua evaporada, se utilizó la ecuación No.2 para calcular los rendimientos térmicos, siendo estos los que se presentan a continuación:

Tabla No.VI: Rendimiento térmico de cada combustible

Beneficio	Combustible	Rendimiento Térmico [kJ / kg agua evaporada]
El Jocote	Carbón coque	2,775.24
La Libertad	Leña	2,944.41
Las Brisas	Diésel	4,177.48

Fuente: Cálculos con base en datos de Tablas No.VI y No.V.

6.3. Rendimiento económico

El rendimiento económico está definido como el costo del combustible utilizado para evaporar 1 kilogramo de agua ⁷.

Con base en el enunciado anterior y tomando como referencia la tabla NoVIII, se calcularon los siguientes rendimientos económicos:

Tabla No.VII: Rendimiento económico de cada combustible

Beneficio	Tipo de combustible	Rendimiento económico [Q. / kg agua evaporada]
El Jocote	Carbón coque	0.22
La Libertad	Leña	0.16
Las Brisas	Diésel	0.36

Fuente: Cálculos en base a datos de tablas No.VIII y No.V.

TABLA No.VIII: Comparativo de promedios obtenidos

Descripción	Beneficio "El Jocote"	Beneficio "La Libertad"	Beneficio "Las Brisas"
Tipo de combustible utilizado	Carbón mineral	Leña	Diésel
Poder calorífico (kJ/kg)	29,288	21,443	44,498
Café húmedo (kg)	6,450.1	10,863.5	9,110.2
Humedad inicial (kg)	2038.8	2868.0	2533.3
Humedad final (kg)	507.4	1,231.0	845.4
Humedad removida (kg)	1,531.4	1,637.0	1,687.9
Café pergamino obtenido (kg)	4,159.0	9,325.5	6,927.7
Cantidad de combustible consumido	145.23 kg	225 kg (3 tareas de leña)	158.46 kg (50 gal)
Precio de combustible (Q.)	2.31 / kg	90.00 / tarea	12.17 / gal
Costo de combustible por corrida (Q.)	335.48	270.00	608.50

Fuente: Datos originales.

Tabla No.IX: Datos originales promedio - Beneficio "El Jocote"

HORA	Combusti- ble (kg)	Temperatura del café (°C)	Humedad del café (%)	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura aire desecante (°C)	Humedad relativa(%)	Caudal aire desecante (pie3/min)
6:22	20	23.8	31.6	18	75	53	
7:11		24.4	30.8	19	75		
8:22	19	45.0	30.2	22	72	49	17,930
8:57		44.6	29.2	24	70		
9:30		38.0	28.8	24	65	42	
10:05	12	40.0	27.6	26	65		
10:38		46.2	27.2	29	65	37	18,648
11:10		40.4	26.8	30	68		
12:18		45.8	26.4	31	70	32	
12:55		49.0	26.0	32	70		
13:27		49.0	24.0	33	68	25	23,076
14:02	18	50.0	22.2	33	64		
14:40		46.4	21.8	32	60	18	
15:06		44.2	20.6	31	58		
15:50		40.0	20.2	31	58	30	21,301
16:25	22	34.4	19.4	30	56		
17:00		30.2	19.0	28	60	44	
17:40		27.0	18.6	27	60		
18:10		24.4	18.2	24	58	51	
18:44		24.0	17.8	24	58		
6:37	17	23.8	17.4	18	80	50	22,722
7:15		24.0	17.0	18	75		
7:50		24.0	16.8	19	70	48	
8:37	22	28.0	16.4	24	70		
9:10		28.0	16.2	24	66	43	19,390
10:00		28.6	15.6	26	62		
10:30	15	28.8	15.2	26	50	37	
10:58		34.2	14.8	28	52		
11:38		37.0	14.0	29	58	29	21,219
12:05		43.0	13.4	29	60		
12:38		43.0	13.0	31	60	24	
13:03		46.0	12.2	31	54		

Fuente: Datos originales.

Tabla No.X: Datos originales promedio - Beneficio "La Libertad"

HORA	Temperatura de masa de café (°C)	Temperatura de aire desec. (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad de café (%)	Humedad relativa (%)	Caudal aire desecante (pie3/min)
10:00	30.7	57.7	26.7	26.4	38	17,795
10:35	37.8	58.7	26.3	25.7	36	17,529
10:55	38.6	59.0	26.3	24.8	36	17,670
11:30	38.5	58.7	26.7	23.9	35	17,949
11:55	40.3	61.0	27.3	22.9	35	17,912
12:28	40.5	60.3	27.9	19.9	35	18,412
12:50	40.4	65.3	27.7	19.1	30	17,574
13:25	40.1	66.7	28.3	15.7	28	17,722
14:00	39.8	67.7	27.3	14.5	26	18,290
14:40	40.8	75.0	29.0	13.6	21	19,666
15:15	40.6	59.0	28.0	13.5	34	20,634
15:55	40.4	57.0	28.0	13.2	39	18,317

Fuente: Datos originales.

Tabla No.XI: Datos originales promedios - Beneficio "Las Brisas"

HORA	Temperatura del café (°C)	Humedad del café (%)	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura aire desecante (°C)	Humedad relativa(%)	Caudal aire desecante (pie3/min)
14:35	39.2	27.8	30.7	68.5	18	15,267
15:10	39.4	25.7	29.4			
15:50	40.6	24.8	29.4	69.0	25	17,118
16:05	39.6	24.0	28.0			
16:45	41.7	23.3	24.3	64.5	39	17,452
17:05	40.4	21.2	27.6			
17:40	40.0	19.8	24.0	71.0	47	21,195
06:45	38.0	22.6	20.0	64.0	51	18,158
07:15	40.2	21.6	21.0			
08:00	42.6	21.1	21.5	65.5	45	18,226
08:35	42.6	20.6	22.0			
09:10	45.4	19.9	25.8	65.0	40	17,373
09:55	45.0	19.2	26.0			
10:40	42.8	18.6	28.0	67.0	38	17,114
11:20	43.2	17.7	29.1			
12:05	41.9	16.8	32.2	67.5	29	15,472
12:50	42.0	16.1	30.7			
13:30	42.7	14.1	30.2	63.5	31	16,016
14:10	44.0	12.7	30.1			
14:50	44.2	12.2	31.8	66.5	19	17,568

Fuente: Datos originales.

6.4. Temperaturas de secado

6.4.1. De la masa de café

Este es un factor muy importante que se debe medir constantemente en el proceso de secado del café, puesto que la calidad del grano depende en gran parte de la temperatura. Se dice que si se calienta el lecho de café arriba de 50°C durante más de 10 horas, es muy probable que sus componentes aromáticos se volatilicen y se pierda la calidad de la taza ¹; por otra parte, el uso de altas temperaturas en este proceso endurece el pergamino y le da una apariencia grisácea desagradable.

Debido a lo anterior, en el presente estudio se controló este factor, para evitar problemas de calidad en la producción. Los valores de temperatura de las masas de café en los diferentes beneficios se encuentran en las tablas IV, V y VI.

Se puede observar en dichas tablas que el valor máximo de temperatura fue de 50°C en el beneficio “El Jocote”; esta temperatura se alcanzó debido a un ligero exceso en la alimentación de combustible que, sin embargo, duró 40 minutos aproximadamente.

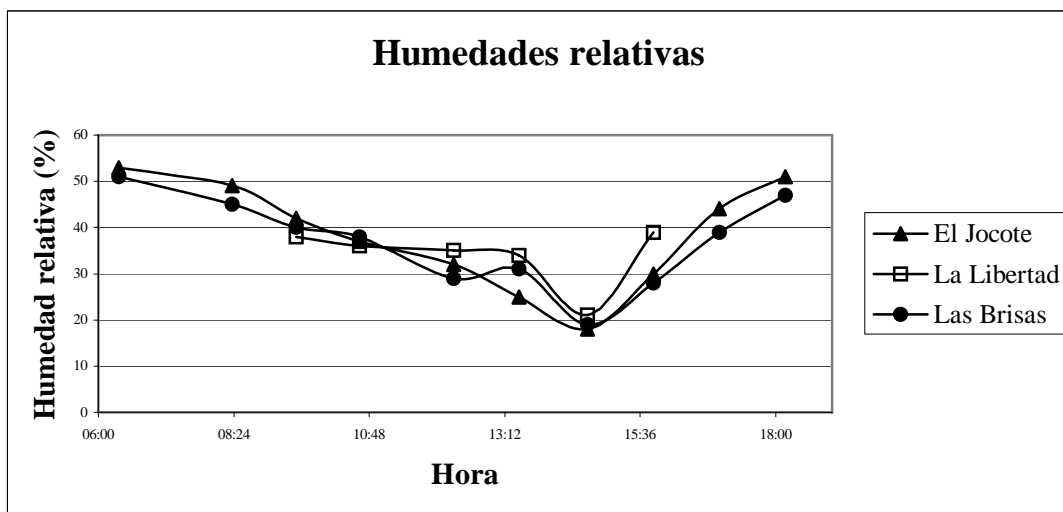
6.4.2. Del aire desecante

El aire desecante se mantuvo en un rango entre 55 y 75°C en cada uno de los beneficios; los valores máximos de esta temperatura se presentaron en los arranques del proceso y, en algunas ocasiones, después de la alimentación del combustible. Se debe iniciar el proceso de secado con una temperatura mayor, debido al gran contenido de humedad que posee el grano en ese momento (50 a 60%). Luego de calentar el lecho, se trató de mantener la temperatura del aire desecante en este rango para evitar, por una parte, el sobrecalentamiento del grano con temperaturas muy altas, y por otra, la condensación del vapor de agua, debido a temperaturas inferiores a lo requerido.

6.5. Variables no controlables

En la figura No.5 se presentan los valores de humedad relativa que se detectaron en los diferentes beneficios; se puede notar que existe la misma tendencia en los tres beneficios, lo cual sin lugar a dudas se debe a que éstos están ubicados en regiones muy cercanas en el departamento de Santa Rosa.

Figura No.5: Gráfica comparativa de humedades relativas



Fuente: Tablas No.IX, X y XI.

Es de conocimiento general que en cualquier proceso de secado, suponiendo un suministro adecuado de calor, la temperatura y la velocidad a las cuales se produce la vaporización del líquido dependen de la concentración de vapor en la atmósfera circundante³.

Dada la importancia de las condiciones ambientales que se tengan en el secado, se recurrió a la teoría para verificar las condiciones máximas en las que se puede trabajar; así, según McCloy⁵, existe un axioma en la tecnología del café que indica que no se recomienda trabajar especialmente este grano en atmósferas mayores a 65% de humedad relativa. Como se puede observar en la gráfica anterior, el valor máximo que se obtuvo en todo el estudio fue de 53% en el arranque del beneficio el Jocote.

En cuanto a la temperatura ambiental que se registró durante el estudio, en cada uno de los beneficios, se puede decir que no hubo mayores diferencias entre uno y otro. Se obtuvo una temperatura máxima de 33°C en el beneficio “El Jocote”, siendo este valor muy cercano al observado en los otros beneficios alrededor de las 14:00 horas.

6.6. Control de calidad

Se realizaron análisis organolépticos en cada una de las muestras, en el laboratorio de catación de ANACAFÉ (Anexos), y se puede observar en ellos que, a pesar de que la apariencia del café del beneficio “El Jocote” es regular, el sabor de la taza está caracterizado como “sucio”, al igual que el de “La Libertad”; el sabor del café del beneficio “Las Brisas” está catalogado como “áspero”.

El tueste en los tres beneficios se califica como regular, disparejo y con algunos Quaker, lo cual tampoco establece alguna diferencia entre ellos.

La humedad determinada en el laboratorio de Anacafé en la muestra de “El Jocote” es de 11.20%, 1% menos de lo definido al final del estudio. El valor de la humedad del beneficio “La Libertad” es de 12.0%, lo cual es un 1% menos que el establecido al final del estudio de campo. Sin embargo, en el beneficio “Las Brisas” se obtuvo un valor de 10% de humedad, lo cual es un 2% menos de lo encontrado en el campo. Esta variación se puede asumir a un secamiento disparejo entre la capa inferior y la superior de las pilas de secado. Además, se observó en cada corrida que en “Las Brisas” no se movió el café de las pilas durante toda la corrida, sino que se esperó a que estuviera “de punto” la capa intermedia para detener el secado. Esto no se observó en los otros dos beneficios, en los cuales se movió el café cada 2 ó 4 horas, a manera de que la capa que estaba debajo, fuera colocada en la parte superior. Al no hacer este movimiento en el beneficio “Las Brisas” se pudo haber provocado un resecamiento en el grano que permaneció en la parte inferior.

En los tres beneficios se detectó un área de oportunidad de mejora, y es que no se cuenta con equipos de medición de humedad, lo cual es decisivo, teniendo que recurrir a la experiencia de los operadores para determinar cuándo el café ya está seco. Un buen control de las condiciones de operación ayudaría a mejorar el café en cuanto a homogeneidad de secado y, por lo tanto, se produciría una mejor taza al momento de la catación.

CONCLUSIONES

1. El mejor rendimiento térmico se obtuvo con el carbón tipo coque, necesitándose de este combustible un 5.7 y 33.6% menos de kilojoules por cada kg de agua evaporada, comparada con la cantidad de energía necesaria al utilizar leña y diésel, respectivamente.
2. El mejor rendimiento económico se obtuvo al utilizar leña, obteniéndose un costo de Q0.06 y Q0.20 menos, por cada kilogramo de agua evaporada, comparado con el costo obtenido al utilizar carbón y diésel, respectivamente.
3. La utilización del carbón mineral tipo coque no afecta las características fisicoquímicas ni organolépticas del café.

RECOMENDACIONES

1. A pesar de que la leña posee un mejor rendimiento económico, el uso de la misma deberá ser racional para evitar así su pronta escasez y el daño severo al medio ambiente y al ecosistema en general.
2. Se debe promover el uso del carbón mineral tipo coque en los beneficios que utilizan diésel dadas las ventajas en su rendimiento térmico y económico.
3. Debe implementarse en cada beneficio el equipo necesario para controlar las condiciones de operación del secado y obtener así una producción más homogénea y de mejor calidad, independientemente del combustible que se utilice.
4. Se ha de capacitar al personal para que pueda utilizar el equipo de control del proceso y pueda realizar las mediciones necesarias para la operación del mismo.

REFERENCIAS

- 1 J. Francisco Menchú. **Manual de beneficiado del café.**
(1ª. Edición; Guatemala: Asociación Nacional del Café, 1985) p.239.
- 2 César García. **Elaboración de las curvas de equilibrio de humedad del café pergamino.** (se; Guatemala 1975) p.47.
- 3 Perry Robert y Don Green. **Manual del Ingeniero Químico.**
(6ª. Edición; México: Editorial McGraw Hill, 1996) pp. 20-5 a 20-11.
- 4 Geankoplis, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias.**
(2ª. Edición; México: Prentice Hall, 1995) pp.451-456.
- 5 McCloy, J.F. **Progress in Coffee Drying Research.**
(s.e.; Kenya, 1962) pp.65-68.
- 6 <http://www.fao.org/inpho>. **Secado de granos a altas temperaturas.** pp. 1-6.
7. Aguilar & Boyce. “Temperature ratios for measuring efficiency of driers”
(s.e.; **Journal of Agricultural Engineering Research**, Vol II, 1983) pp.5-23.


BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFÉ. **Seminario de catación y mercadeo de cafés especiales de guatemala vrs. otros países.** Guatemala:s.e. 1996.
2. Menchú, J.F. **La determinación de la calidad del café.** Guatemala:s.e. 1989. p. 49.
3. McCloy, J.F. **Progress in Coffee Drying Research.** s.e.; Kenya, 1962 p.65.
4. Perry, Robert y Don Green. **Manual del Ingeniero Químico.** 6ª. Edición; México: Editorial McGraw Hill, 1996. pp. 20-5 a 20-11.
5. <http://www.fao.org/inpho/library>. **Secado de granos a altas temperaturas.** pp. 1-6.

ANEXOS


Figura No.6. Resultados del análisis de catación. Beneficio “El Jocote”

ANACAFE <i>Departamento de Catación</i>		ANÁLISIS DE CATACIÓN		NUMERO DEL ANALISIS K-207/01-02	
FECHA	Abril 14, 2002	FINCA			
PROPIETARIO	Arlette Acevedo	CLASE	PERGAMINO		
MUNICIPIO		DEPARTAMENTO			
ALTURA	psnm	VARIEDAD	Muestra A, El Jocote, Corrida 01		
VERDE:	Regular apariencia y color, secamiento disperejo, tamaño mediano, olor sucio, color poco palido, con algunos granos verdes, lastimados y sobrefermentados				
TAMAÑO:	(Sobre 100 gramos)				
ZARANDA 19:	13.00 gramos	ZARANDA 18:	31.62 gramos		
ZARANDA 17:	20.79 gramos	ZARANDA 16:	6.56 gramos		
ZARANDA 15:	18.67 gramos	ZARANDA 00:	9.37 gramos		
FORMA:					
RENDIMIENTO:	1.230	(Pergamino/oro).			
DEFECTOS FISICOS EN 100 GRAMOS:					
CARACOLES:	10.19 gramos				
ELEFANTES:	0.50 gramos				
TRIANGULOS:	0.43 gramos				
TUESTE:	Regular. Disperejo, con algunos Quakers.				
TAZA:	Sucia.				
AROMA:	2. Moderado				
ACIDEZ:	2. Moderada				
CUERPO:	2. Moderado				
TIPO:	HARD BEAN		HUMEDAD:	11.20 %	
PESO ORO:	100.00 gramos	VOLUMEN ORO:	1- 2.00 ml.		
PESO TOSTADO:	87.17 gramos	VOLUMEN TOSTADO:	2: 6.00 ml.		
DENSIDAD APARENTE ORO:	704.23 Grms./l.	RENDIMIENTO TUESTE (Peso):	87.17 %		
DENSIDAD APARENTE TOSTADO:	403.56 Grms./l.	HINCHAMIENTO APARENTE:	52.11 %		
OBSERVACIONES:	Tesis				




Fuente: Departamento de catación. ANACAFÉ.

Figura No.7. Resultados del análisis de catación. Beneficio “La Libertad”

ANACAFE Departamento de Catación		ANALISIS DE CATAACION		NUMERO DEL ANALISIS K-208/01-02	
FECHA	Abril 14, 2002	FINCA			
PROPIETARIO	Arlette Acevedo	CLASE	PERGAMINO		
MUNICIPIO		DEPARTAMENTO			
ALTURA	psnm	VARIEDAD	Muestra B, La Libertad, Corrida 01		
VERDE:	Buena apariencia, secamiento bueno, tamaño mediano, olor normal, color normal, con algunos gracs verdes, lastimados y cerezos.				
TAMAÑO:	(Sobre 100 gramos)				
ZARANDA 19:	11.78 gramos	ZARANDA 18:	27.95 gramos		
ZARANDA 17:	20.54 gramos	ZARANDA 16:	8.37 gramos		
ZARANDA 16:	22.87 gramos	ZARANDA 00:	8.49 gramos		
FORMA:					
RENDIMIENTO:	1.240	(Pergamino/oro).			
DEFECTOS FISICOS EN 100 GRAMOS:					
CARACOLE:	9.94 gramos				
ELEFANTES:	0.91 gramos				
TRIANGULOS:	0.77 gramos				
TUESTE:	Regular. Disparejo, con algunos Quakers.				
TAZA:	Sucia.				
AROMA:	3. Bueno				
ACIDEZ:	2. Moderada				
CUERPO:	3. Bueno				
TIPO:	STRICTLY HARD BEAN.		HUMEDAD:	12.00 %	
PESO ORO:	100.00 gramos	VOLUMEN ORO:	142.00 ml.		
PESO TOSTADO:	85.36 gramos	VOLUMEN TOSTADO:	212.00 ml.		
DENSIDAD APARENTE ORO:	704.23 Grms./l.	RENDIMIENTO TUESTE (Peso):	85.36 %		
DENSIDAD APARENTE TOSTADO:	402.64 Grms./l.	HINCHAMIENTO APARENTE:	49.30 %		
OBSERVACIONES:	Tesis				
 EXPERTO CATADOR					

Fuente: Departamento de catación. ANACAFÉ.

Figura No.8. Resultados del análisis de catación. Beneficio “Las Brisas”

ANACAFE Departamento de Catación		ANÁLISIS DE CATACIÓN		NUMERO DEL ANALISIS K-211/01-02	
FECHA	Abril 14, 2002	FINCA			
PROPIETARIO	Arllette Acevedo	CLASE	PERGAMINO		
MUNICIPIO		DEPARTAMENTO			
ALTURA	psnm	VARIEDAD	Muestra E		
VERDE:	Buena apariencia y color, secamiento bueno, tamaño mediano, olor sucio, color normal, con algunos granos verdes y lastimados.				
TAMAÑO:	(Sobre 100 gramos)				
ZARANDA 19:	14.88 gramos	ZARANDA 18:	35.26 gramos		
ZARANDA 17:	15.90 gramos	ZARANDA 16:	6.98 gramos		
ZARANDA 15:	18.76 gramos	ZARANDA 00:	8.10 gramos		
FORMA:					
RENDIMIENTO:	1.220	(Pergamino/oro).			
DEFECTOS FISICOS EN 100 GRAMOS:					
CARACOLES:	6.40 gramos				
ELEFANTES:	2.75 gramos				
TRIANGULOS:	0.18 gramos				
TUESTE:	Regular. Disparejo, con algunos Quakers.				
TAZA:	Aspera.				
AROMA:	3. Bueno				
ACIDEZ:	2. Moderada				
CUERPO:	2. Moderada				
TIPO:	STRICTLY HARD BEAN.		HUMEDAD:	10.00 %	
PESO ORO:	100.00 gramos	VOLUMEN ORO:	142.00 ml.		
PESO TOSTADO:	86.26 gramos	VOLUMEN TOSTADO:	228.00 ml.		
DENSIDAD APARENTE ORO:	704.23 Gms/l.	RENDIMIENTO TUESTE (Peso):	86.26 %		
DENSIDAD APARENTE TOSTADO:	378.33 Gms/l.	HINCHAMIENTO APARENTE:	60.58 %		
OBSERVACIONES:	Tesis				
 EXPERTO CATADOR					

Fuente: Departamento de catación. ANACAFÉ.