

**ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ
A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN NATURAL**

AIDA ESTHER PEÑUELA MARTÍNEZ
Ingeniera de Alimentos
Especialista en Evaluación de Proyectos Agroindustriales

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
II COHORTE
Manizales, Caldas
2010

**ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ
A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN NATURAL**

AIDA ESTHER PEÑUELA MARTÍNEZ
Ingeniera de Alimentos
Especialista en Evaluación de Proyectos Agroindustriales

Tesis de Grado para optar por el título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director
Carlos Oliveros Tascón. PhD.
Investigador principal. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé

Asesor
Juan Rodrigo Sanz U.
Investigador Científico II. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
II COHORTE
Manizales, Caldas
2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma jurado

Firma jurado

Manizales, 24 de mayo de 2010

AGRADECIMIENTOS

La autora del presente trabajo expresa sus agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. “Pedro Uribe Mejía”.

Carlos Eugenio Oliveros T. PhD. Investigador Principal. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé. Director de Tesis.

Juan Rodrigo Sanz U. PhD. Investigador Científico II. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé. Asesor de Tesis.

Paula Jimena Ramos G. Ingeniera Electrónica MSc. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

Esther Cecilia Montoya R. MSc. Investigador científico III. Disciplina de Biometría. Cenicafé.

Nelson Rodríguez Valencia. PhD. Investigador Científico I. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. Cenicafé.

Jenny Pabón Usaquen. Ingeniera Agrícola. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

Compañeros Disciplina de Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

Sin su apoyo y colaboración no se hubieran logrado los resultados de este trabajo.

CONTENIDO

	pag.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>12</u>
1. OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. MARCO DE REFERENCIA	18
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	18
3.1.1. Beneficio del café	18
3.1.2. El mucílago y su composición	19
3.1.3. Proceso de fermentación natural.....	20
3.1.4. Punto de lavado.....	20
3.1.5. La calidad del café	21
3.1.5.1. Análisis físico	21
3.1.5.2. Análisis sensorial.....	22
3.1.5.3. Defectos en calidad de café debidos a la fermentación.....	23
3.1.6. Relación de la etapa de fermentación natural con el desarrollo sostenible....	23
3.1.6.1. Componente social	24
3.1.6.2. Componente ambiental	24
3.1.6.3. Componente económico.....	25
3.2. MARCO TEÓRICO.....	26
3.2.1. La fermentación	26
3.2.2. Fermentación del mucílago de café	27
3.2.3. Cambios de la masa.....	28
3.3. MARCO DE ANTEDECENTES.....	29
3.3.1. Factores que inciden sobre la fermentación.....	29
3.3.2. Identificación del punto de lavado	30
3.3.3. Análisis preliminares	32

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	35
4.1. LOCALIZACIÓN	35
4.2. MATERIALES	35
4.3. METODOLOGÍA.....	37
4.3.1. Diseño experimental	38
4.3.2. Procedimiento	39
4.3.3. Información a registrar - variables.....	40
4.3.3.1. Cantidad y Remoción de mucílago.....	40
4.3.3.2. Temperatura.....	41
4.3.3.3. Medida del pH.....	42
4.3.3.4. Resistencia al punzonamiento.....	43
4.3.3.5. Identificación del punto de lavado.....	43
4.3.3.6. Calidad.....	44
4.3.4. Variables de respuesta	44
4.3.5. Variables complementarias.....	45
4.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	45
4.5. EVALUACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	45
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	47
5.2. TIEMPO DE REMOCIÓN TOTAL	48
5.3. CONTENIDO INICIAL DE MUCÍLAGO	49
5.4. REMOCIÓN DE MUCÍLAGO	49
5.5. VARIABLES COMPLEMENTARIAS	57
5.5.1. Temperatura de la masa.....	57
5.5.2. pH.....	60
5.5.3. Resistencia al punzonamiento.....	61
5.6. EVALUACIÓN DE MÉTODOS TRADICIONALES.....	63
5.7. EFECTO SOBRE LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ.....	64
6. CONCLUSIONES	68
7. RECOMENDACIONES	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Partes constitutivas del fruto del café	18
Figura 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo del café en Colombia	19
Figura 3. Defectos Físicos del café originados en la fermentación. (a) Negro, (b) Cardenillo, (c) Vinagre	22
Figura 4. Uso de prácticas tradicionales para identificar el punto de lavado.....	31
Figura 5. Intervalos de confianza para la fuerza (N) con relación a la velocidad de café recién despulpado (a) y con mucílago completamente fermentado (b).....	32
Figura 6. Relación de la carga con la profundidad de penetración a diferentes tiempo de fermentación.	33
Figura 7. Intervalos de confianza para la fuerza (N) aplicada a la masa de café en proceso de fermentación a velocidad constante de 100 mm/s y 80 mm de profundidad.	34
Figura 8. Montaje del dispositivo experimental.....	36
Figura 9. Disposición de los tanques para la ubicación de los tratamientos.....	37
Figura 10. Sistema autónomo de medición de temperatura.....	42
Figura 11. Medición de temperatura en la masa de café	42
Figura 12. Dinamómetro usado para la medición de la fuerza.....	43
Figura 13. Método tradicionales utilizados por el caficultor. (a) orificio en la masa de café (b) Método del tacto.....	44
Figura 14. Aspecto de la masa de café despulpado (a) sin clasificación (b) con clasificación	48
Figura 15. Remoción de mucílago a través del tiempo, para los tratamientos con 50% de llenado del tanque (a) Café sin clasificación (b) Café con clasificación.....	51

Figura 16. Remoción de mucílago a través del tiempo, para los tratamientos con 25, 75 y 100% de llenado del tanque y con Café sin clasificación y con clasificación.....	55
Figura 17. Tasa de remoción de mucílago vs. tiempo, para los tratamientos (a) sin clasificación (b) con clasificación.....	57
Figura 18. Intervalos de confianza para el promedio de la diferencia de la temperatura de la masa de café en proceso de fermentación con la temperatura del aire, para dos clases de materia prima.....	58
Figura 19. Comportamiento la diferencia de la temperatura de la masa de café en proceso de fermentación con la temperatura del aire, para cuatro capacidades de llenado (a) Sin clasificación (b) Clasificada	59
Figura 20. Comportamiento del promedio de pH (a) e Intervalos de confianza para el promedio en dos clases de materia prima (b)	60
Figura 21. Comportamiento del pH de la masa de café en proceso de fermentación para diferentes alturas de llenado del tanque y dos clases de materia prima, (a) Clasificado y (b) sin clasificar.....	61
Figura 22. Intervalos de confianza para el promedio de resistencia al punzonamiento de la masa de café en proceso de fermentación para dos clases de materia prima.....	62
Figura 23. Intervalos de confianza para el promedio de resistencia al punzonamiento de la masa de café en proceso de fermentación para las cuatro alturas de llenado en (a) café sin clasificación y (b) café clasificado	62
Figura 24. Proporción de tazas en diferentes calificaciones para el atributo Impresión Global.....	65
Figura 25. Proporción de tazas por atributo con calificación mayor a 7.....	66
Figura 26. Proporción de tazas con defecto fermento, alteraciones de la calidad y calificación normal, según panel de catación de café.....	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química del mucílago de café	20
Tabla 2. Descripción de los equipos, por marca, rango y resolución.....	35
Tabla 3. Tratamientos establecidos, con base en el método utilizado para determinar el punto de lavado, porcentaje de altura de llenado y el estado clasificación de la materia prima.....	38
Tabla 4. Cantidad de café despulpado requerido según la altura de llenado	39
Tabla 5. Promedio de estados de madurez de cada clase de materia prima utilizada para los tratamientos	47
Tabla 6. Tiempo de remoción para dos clases de materia prima.....	48
Tabla 7. Promedios de tiempo de remoción para las alturas de llenado con café clasificado	49
Tabla 8. Contenido inicial de mucílago.....	49
Tabla 9. Promedios de remoción de mucílago para las diferentes alturas de llenado, obtenidos en los tratamientos de café cereza sin clasificación previa al despulpado. ..	50
Tabla 10. Valores de las constantes de velocidad de reacción, coeficiente de determinación y tiempo de remoción teórico obtenidos para cada tratamiento.....	52
Tabla 11. Valores de las constantes del modelo regresión y del coeficiente de determinación obtenidos para cada tratamiento.....	55
Tabla 12. Valores mínimos y máximos de temperatura del café cereza antes y después de la clasificación en un SHTS.....	58
Tabla 13. Tiempo de determinación del punto de lavado por los métodos tradicionales ...	63

Tabla 14. Promedios de tiempos de punto de lavado obtenidos con el método enzimático y los métodos tradicionales.....	64
Tabla 15. Calificación de la impresión global con fermentación incompleta.....	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización del mucílago de café utilizado como materia prima para la producción de pectinas.

ANEXO 2. Resolución número 5 de 2002. Junio 6.

ANEXO 3. Tasa de remoción de mucílago vs. tiempo, para los tratamientos sin y con clasificación.

RESUMEN

La fermentación natural y el lavado posterior para la remoción del mucílago se han considerado etapas básicas dentro del beneficio del café para producir cafés “suaves lavados”, los cuales son de gran importancia en el mercado internacional. En Colombia, la fermentación de mucílago es practicada por cerca del 90% de los caficultores, principalmente los que poseen menos de 5 ha en café. Los defectos originados durante la etapa de fermentación son considerados los más críticos en el deterioro de la calidad final, ocasionando pérdidas económicas importantes al caficultor, poniendo en riesgo su sostenibilidad en el tiempo. Parte de estos defectos son originados por el desconocimiento del proceso, que ha sido llevado a cabo de manera tradicional de generación en generación. Por lo anterior, esta investigación se desarrolló con el objetivo de contribuir al conocimiento de los factores que afectan la fermentación natural, en las condiciones ambientales de Cenicafé. Se evaluó el efecto de diferentes porcentajes de llenado del tanque de fermentación, así como el efecto de la clasificación previa al despulpado, sobre el tiempo final de proceso, el cual determina el “punto de lavado”. Se evaluó también la dinámica de variables que ayudan a explicar el proceso de fermentación, tales como el pH y la temperatura de la masa. Adicionalmente, se evaluó la eficacia de los métodos tradicionales empleados por los caficultores para determinar el “punto de lavado”. Se encontró que en café que no fue clasificado previamente al despulpado se logró una remoción de mucílago superior al 97% en un tiempo promedio de 15,0 horas, mientras que el café clasificado alcanzó el mismo punto en un tiempo promedio de 16,3 horas. También se encontró que no hay efecto del porcentaje de llenado del tanque sobre el tiempo de fermentación, a 25%, 50%, 75% y 100% de llenado. El café despulpado que ingresa al tanque presentó valores promedio en el pH inicial de 5,00 y final de 3,30, indicando acidificación de la masa. La diferencia de temperatura entre el centro de la masa y el ambiente alcanzó valores máximos de 14°C y 10°C, para los tratamientos con café sin clasificación previa al despulpado y clasificados, respectivamente. Este aumento de temperatura indica la liberación de energía térmica de las reacciones que ocurren en la degradación del mucílago de café. Se identificó que los métodos tradicionales usados por los caficultores para determinar el punto de lavado presentan falsas respuestas a partir de las 7,3 horas de proceso. Finalmente, se estableció un modelo cuadrático que explica el comportamiento de la remoción de mucílago, con menores errores que el modelo cinético de primer orden y aceptables para este tipo de fenómeno, el cual puede ser aplicado a procesos de fermentación natural de café provenientes de diferentes calidades de materia prima. Con estos resultados se espera contribuir a la disminución de defectos del café, con lo cual los caficultores mejorarían su ingreso a través de un mejor precio de venta, en pro del bienestar propio y el de sus familias.

ABSTRACT

Mucilage removal throughout natural fermentation and washing have been considered basic stages within coffee processing to get “washed coffees”, which are of great importance in the international market. In Colombia, natural fermentation is conducted by nearly 90% of the coffee growers, mainly the ones that grow coffee in farms smaller than 5 hectares. The defects originated during fermentation of mucilage are considered critical in the deterioration of the final quality and are responsible of important economic losses that put in risk the coffee grower’s sustainability in time. Part of these defects are attributed to the fact that the fermentation is part of the coffee grower’s traditional knowledge that has been carried out that way for decades, with no scientific fundament. For these reasons, this research project had as objective to contribute to the knowledge of the factors that affect the natural fermentation in the agro-ecological conditions of Cenicafé. It was evaluated the effect of the amount of coffee in the tank as well as the classification before pulping, on the time taken to carry the mucilage removal out to more than 97%, which is called the “washing point”. It was evaluated also the dynamic of variables that help to explain the fermentation process, such as pH and mass temperature. In addition, it was evaluated the efficacy of the methods that have been used to determine the washing point. It was found that coffee with no classification reached the washing point in a mean time of 15,0 hours, while classified coffee reached the same point in a mean time of 16,3 hours. It was also found no effect on the time reaching the washing point with filling percentages of 25, 50, 75 and 100%. The mass of pulped coffee enters to the fermentation tank at a pH of 5,00 and reached the washing point at 3,30, indicating mass acidification. The difference of temperature between the center of the mass and the environment reached maximum values of 14°C and 10°C, greater for the treatments coming from raw coffee with no classification. This difference of temperature indicates the liberation of caloric energy of the reactions that happen while mucilage is degraded. It was demonstrated the traditional methods showed false answers since 7,3 hours of process. Finally, it was established a quadratic model that explains the behavior of the mucilage removal with less errors than the first order kinetic model. Those errors can be considered acceptable for this phenomenon. The model can be used in fermentation processes of coffee coming from different qualities of raw matter. With these results it is expected to contribute to the reduction of defects of coffee and improve the coffee growers’ income and well-being via increasing the quality of the produce.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café para Colombia sigue siendo de gran importancia dado que contribuye con la generación de 1 millón de empleos, de los cuales 560.000 son directos, que en general representan el 37% del empleo agrícola. La zona cafetera colombiana está conformada por 3'136.000 has ubicadas en 20 departamentos, de las cuales 887.660 has están sembradas en café, por 527.609 caficultores con 664.700 fincas, así cerca de 2'500.000 personas dependen de esta actividad agrícola (47).

Las exportaciones de este producto han representado en promedio el 33,5% de las exportaciones totales del país en el periodo 2003 a 2008 (15). Así mismo, el valor de la cosecha de café para el año 2009 fue de 3,4 billones de pesos, pese a que se presentó una disminución en la producción, que pasó de 11 a 8 millones de sacos de 60 kg. Sin embargo, aunque esta disminución no es positiva para Colombia, se hizo evidente la fidelidad del consumidor al origen a través del programa 100% Café de Colombia, que además de garantizar y proteger el origen del café se basa en un estricto control de calidad del grano de exportación (29). Este programa seguirá conquistando mercados y continuará apoyándose fuertemente en la calidad del café colombiano, todo este esfuerzo se dirige a aumentar el ingreso del caficultor colombiano (*Ibid*).

La Federación Nacional de Cafeteros, consciente de la necesidad de mantener la calidad del café colombiano, estructuró dentro del Plan Estratégico 2008 –2012 (16) una de las estrategias definida hacia “**Mejorar la calidad del café desde la finca**”, que aporta al componente de Competitividad e Innovación, con el cual se pretende, entre otras, suministrar información suficiente para que los caficultores tomen decisiones adecuadas al momento de realizar el beneficio¹ del café para que no se presenten defectos que deterioren la calidad. Esta calidad es el resultado de factores naturales, biológicos, climáticos, humanos, culturales y también consecuencia de los procesos y operaciones que se realizan por personas en toda su cadena productiva desde la finca hasta la exportación y consumo. Cerca del 80% de los defectos en la calidad del café se producen durante el beneficio, en las diferentes etapas poscosecha (36).

¹ **Beneficio:** Proceso poscosecha del café, en el que se realizan diferentes operaciones para transformar el fruto hasta obtener café pergamino seco.

La fermentación de mucílago es una de estas etapas, en la que se produce gran cantidad de defectos, que son motivo de rechazo en la compra, por tanto generan pérdidas económicas para el caficultor con consecuencias desfavorables para el mercado.

Este proceso es necesario llevarlo a cabo para eliminar la capa de mucílago, que es retirada del pergamino del grano a través del lavado. Para realizar esta etapa se requiere de los microorganismos que se encuentran naturalmente en el fruto y de tanques para depositar la masa. La fermentación, tal como es manejada actualmente no tiene ningún tipo de control y solo se espera que pase el tiempo necesario para desprender la mayor parte del mucílago. Lo anterior hace que el uso de este método sea de bajo costo y se requiera poca infraestructura. Sin que esto signifique que al ser un proceso sencillo llevado a cabo por la naturaleza, se esté realizando de la mejor manera y se obtengan los mejores beneficios de la actividad.

Adicionalmente, la fermentación de mucílago ha sido utilizada tradicionalmente por los caficultores desde hace más de 150 años y se considera de importancia para la producción de los denominados cafés lavados. Alrededor de esta etapa se han generado una serie de creencias que se han transmitido por generaciones, las cuales pueden estar alterando el proceso de remoción y por tanto la calidad del café. En esta investigación se evaluó el efecto de algunas de ellas, tales como; la variación de la cantidad de masa de café dentro del tanque y su efecto sobre el tiempo de proceso y la influencia que él tiene en la calidad de café que se está procesando. Además, se obtuvo información acerca de los métodos tradicionales utilizados por los caficultores para identificar el momento oportuno de lavar el café, considerado como un factor de riesgo sobre la calidad final.

La información generada sirve para tomar decisiones al momento de realizar la fermentación con el fin evitar el deterioro de la calidad y generar mejores ingresos al caficultor que se traduzcan en su bienestar y el de sus familias.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar tecnologías para el beneficio de café que reduzcan el impacto ambiental, optimicen los recursos y mantengan la calidad del café.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tiempo de fermentación cuando la remoción de mucílago sea superior al 97%.
- Obtener un modelo matemático que permita predecir la remoción del mucílago con el tiempo.
- Estudiar el efecto de las variables temperatura, pH y fuerza, con el proceso de fermentación de mucílago de café.
- Evaluar la influencia de la altura de la masa de café en el tanque de fermentación sobre el proceso de remoción de mucílago.
- Evaluar los métodos tradicionalmente utilizados por el caficultor para determinar el punto de lavado del café en fermentación.
- Identificar el efecto de la clasificación de la materia prima sobre el proceso de fermentación del mucílago y sobre la calidad sensorial de la bebida de café.

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

- La tasa de degradación del mucílago no depende de la clase de materia prima.
- La tasa de degradación del mucílago no depende de la altura de llenado del tanque de fermentación.
- El café en el punto de lavado identificado por los agricultores, con los métodos que ellos aplican, presenta un promedio de cantidad de mucílago $> 2\%$ o remoción inferior al 97%

2. JUSTIFICACIÓN

El café colombiano se ha posesionado en el mercado internacional como un producto de alta calidad que se comercializa actualmente como “100% colombiano” esto ha significado no solamente que dejó de ser demandado para ser utilizado en mezclas sino que ha incrementado los volúmenes exportados. En América del Norte, por ejemplo, el mercado que ha crecido en 251% durante los últimos 20 años (22). Colombia es el único país productor que ha logrado una reputación internacional por la promoción de la calidad del café. Esto le ha permitido recibir el reconocimiento mundial a través de un sobreprecio sobre la cotización de los denominados “otros suaves” en los mercados internacionales del grano.

Esta calidad se da en primer lugar por la variedad cultivada, ya que las variedades Arábigas producen un café más suave y de mejor calidad que las Robustas. El proceso de beneficio es valorado también por los compradores, dado que se denominan “Arábigas Lavados” a los cafés que se han obtenido mediante un proceso de beneficio húmedo, es decir contemplan dentro de sus etapas a la fermentación y lavado, como etapas importantes para la obtención del producto transable. Este tipo de método es preferido por algunos compradores de café, dado que sostienen que la calidad es superior a la de otro tipo de métodos empleados, como la remoción mecánica.

La fermentación ha sido citada como una de las etapas del proceso del café de mayor cuidado, ya que fermentaciones prolongadas o incompletas, producen defectos como grano negro, cardenillo y vinagre, considerados defectos del Primer Grupo, que ocasionan el rechazo de los lotes que contengan este tipo de granos, lo cual implica pérdidas económicas, tanto para el caficultor como para el gremio cafetero. Con la presencia de este tipo de granos se originan defectos de la calidad en la bebida, tales como; sabores a fermento, a sobrefermento, vinagre, sabores a cebolla, rancio y *stinker* (nauseabundo) (1). Es constante la aparición de este tipo de defectos en lotes de café. En más de 4600 muestras tomadas por la FNC en 14 departamentos (13), se encontró que el 28,5% de éstas presentaron defectos relacionados originados por malas fermentaciones, 48,5% de las cuales se identificaron como *stinker*.

El origen de estos defectos puede ser explicado por la carencia de conocimiento científico acerca del proceso, ya que se generan incertidumbres alrededor de la fermentación, a las que el conocimiento tradicional ha tratado de darle respuesta a través de la experiencia. En un sondeo realizado a caficultores del eje central cafetero sobre la etapa de fermentación (34), se encontró que aún se realizan prácticas que van en contra de las recomendaciones técnicas mínimas (38), tales como fermentar sin agua, no mezclar cafés de diferentes días de recolección, no adicionar otras sustancias para acelerar el proceso, dado que el 39,8% de ellos realiza este proceso bajo agua, creando condiciones anaeróbicas en tiempos que varían entre 12 y 72 horas y sin agua dejando el café entre 10 y 36 horas, tiempo que permite fermentaciones incompletas o sobrefermentación. Adicionalmente, se utilizan controles inadecuados tales como mezclar mucílago fermentado de tandas anteriores, cambiar o adicionar agua y adicionar otros productos tales como urea y sal con el fin de acelerar el proceso, con las consecuencias sobre la alteración de la calidad de la bebida (8).

En estudios realizados por la Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental de Cenicafé en 2006 y 2007 (14), reportan otra evidencia de esta problemática. Se realizaron análisis sensoriales a muestras de café provenientes de diferentes zonas productoras del país, con variaciones en el proceso de beneficio. Se encontró que el 60% del total de las muestras analizadas presentaron algún defecto en taza, predominando fermento y vinagre en el 32,6% de ellas. También las muestras provenientes de la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas presentaron fermento en el 16,6% de los casos, asociados estos a la falta de control durante la fermentación. Así mismo, se identificó a los granos vinagre como el segundo defecto del café almendra, originado por mezclas de café durante varios días en los tanques de fermentación, por sobrefermentación y por no retirar completamente el mucílago.

Para determinar el momento en el que debe lavar el café² el caficultor debe recurrir a métodos tradicionales. Antes de realizar esta investigación se desconocía la eficacia de estos métodos.

La importancia y novedad que los resultados de este trabajo aportan hacia el conocimiento general del proceso de fermentación, el efecto que sobre él tienen algunas variables y la determinación de la precisión de estos métodos para determinar el punto de lavado que forman parte de los resultados obtenidos en la presente investigación.

² Retirar el mucílago degradado y los subproductos de la fermentación, que de permanecer junto con el café ocasionan defectos por sobrefermentación,

Adicionalmente, se obtuvo información sobre el proceso de fermentación del mucílago de café. De esta forma se pueden establecer controles objetivos y métodos prácticos para que los caficultores realicen este proceso de manera adecuada sin arriesgar la calidad del café. Lo anterior permite disminución en la cantidad de defectos producidos por fermentaciones insuficientes o sobrefermentación, contribuyendo a mantener la imagen del café colombiano como café de calidad, garantizando mercados para proteger los ingresos de los caficultores que realizan este proceso.

El valor teórico de esta investigación sirve como base para ampliar el conocimiento sobre el proceso de eliminación de mucílago y la elaboración de nuevas propuestas de investigación en el campo de los cafés especiales, obtenidos vía fermentación natural, con el propósito de satisfacer diferentes nichos de mercado. Así mismo, la utilidad metodológica radica en que es posible que la fermentación, que tradicionalmente ha sido manejado de una manera artesanal, se convierta en una alternativa tecnológica de mejoramiento del proceso de beneficio, de forma que se tenga mayor control sobre él, se eviten pérdidas económicas al caficultor y se logre menor consumo de agua, por tanto menor impacto ambiental.

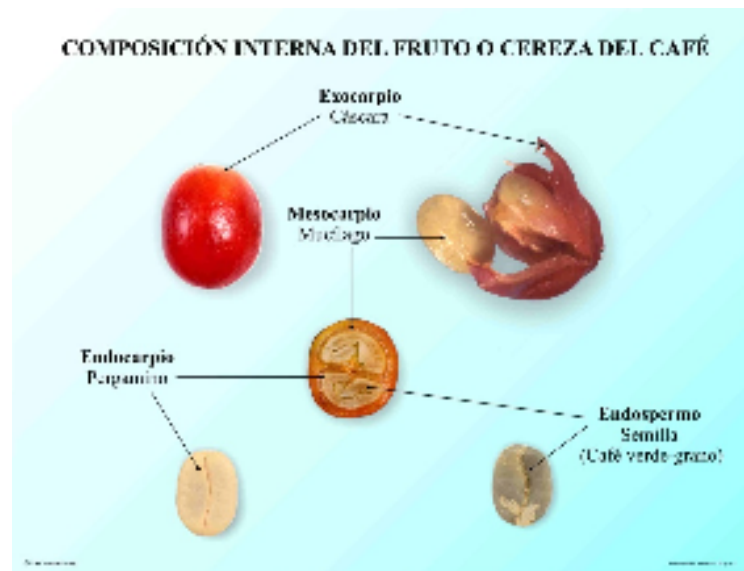
3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Beneficio del café

El beneficio de café es el proceso mediante el cual se logra la transformación de café cereza a café pergamino seco mediante la separación de las partes del fruto (Figura 1) con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria. En Colombia, se utiliza el beneficio húmedo, gracias al cual se obtienen características de acidez y aromas pronunciados, amargo moderado y al café resultado de este proceso se les denomina “café suaves lavados” (41).

Figura 1. Partes constitutivas del fruto del café

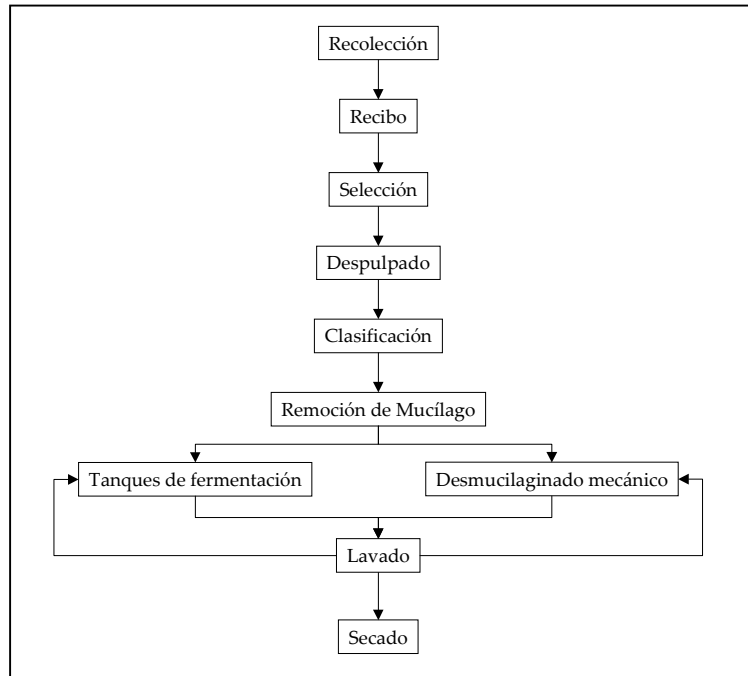


Fotografía: archivo de Cenicafé

Este método de procesamiento ha dado valor agregado al café colombiano durante años, que realizado adecuadamente genera un margen de ganancia al productor. Según Graaff, 1986, los caficultores colombianos en su mayoría poseen la infraestructura mínima para realizar el proceso de beneficio (20), con lo cual se obtiene la estabilización del producto para la venta.

En la Figura 2, se ilustran las diferentes etapas que hacen parte del beneficio húmedo de café realizado en Colombia.

Figura 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo del café en Colombia



3.1.2. El mucílago y su composición

El mucílago o mesocarpio es una parte constitutiva del café, que queda expuesto cuando éste es despulpado, cuando se separa el epicarpio o cáscara del resto. El mesocarpio o mucílago queda expuesto adherido al endocarpio. Este compuesto es un coloide³ con fuerte capacidad de retención de agua (30), por esto su contenido de humedad es muy variable de acuerdo con la condiciones climáticas que prevalezcan durante la recolección (2). El mucílago está compuesto por sustancias pécticas, azúcares, celulosa y cenizas entre otros (6) y representa cerca del 14,85%⁴ del peso fresco del fruto (43). En la Tabla 1, se presenta la composición del mucílago. La información detallada, tomada de Rodríguez, 1999 (42) se presenta en el Anexo 1.

³ **Coloide:** Es un sistema físico compuesto por dos fases, una continua normalmente fluida y otra dispersa en forma de partículas por lo general sólidas de tamaño muy pequeño (28).

⁴ Expresado como base húmeda

Tabla 1. Composición química del mucílago de café.

	Min	Promedio	Max
Humedad (%)	89,4	92,2	95,8
Azúcares Reductores*	49,14	63,74	84,47
Azúcares Totales*	60,24	79,74	99,81
Contenido de Pectina*	4,6	10,975	19,08
Totales (ppm)	37.708	79.984	104.460

%b.s.: % en base seca

De acuerdo con Oliveros *et al.*, (30) la caracterización reológica del mucílago lo clasifica como un fluido no newtoniano con comportamiento altamente pseudoplástico ya que contiene sustancias de alto peso molecular y su viscosidad aparente depende de la velocidad de deformación por cizalladura pero no del tiempo al que están sometidos a la tensión cizallante, es decir es menos viscoso a medida que aumenta la velocidad de deformación.

3.1.3. Proceso de fermentación natural

En el proceso de beneficio tradicional del café, por vía húmeda, se remueve el mucílago por medio de la fermentación. En este proceso las enzimas naturales desintegran la estructura del mucílago que queda adherido al grano después del despulpado y antes del lavado (10), permitiendo que los compuestos insolubles en agua se solubilizan a través de las reacciones naturales que se presentan y puedan ser retirados del grano por medio del lavado. Zambrano *et al.*, 1994, (52) menciona que estos componentes se forman a partir de la hidrólisis y acidogénesis que se produce de la ruptura de las células que conforman el mucílago.

3.1.4. Punto de lavado

Es el momento del proceso de fermentación de mucílago en el que éste se encuentra totalmente degradado y se pueden retirar sus residuos por medio del lavado, para que no se alteren las características sensoriales del café y el grano pueda continuar con la etapa de secado (17).

3.1.5. La calidad del café

Hay muchas opiniones diferentes sobre los factores que inciden en la calidad del café, pero puede decirse que ésta proviene de una combinación de factores: la variedad, la ubicación geográfica, el clima y el cuidado con que se realizan las diferentes prácticas de cultivo, recolección, beneficio, etc. La variedad y las condiciones topográficas son constantes y por ello dominan el carácter básico o inherente de un café. Las condiciones climáticas son variables y no puede influirse en ellas, con lo que la calidad fluctúa de una temporada a otra. Las demás operaciones son factores variables y se puede influir en ellas de acuerdo a la forma como se realicen (*Ibid*).

Las iniciativas encaminadas a promover la calidad dependen de los precios de los mercados mundiales y de la voluntad de los compradores por recompensar con primas adecuadas el cuidado puesto en conservar y mantener la calidad a fin de conseguir una calidad superior a la mediana.

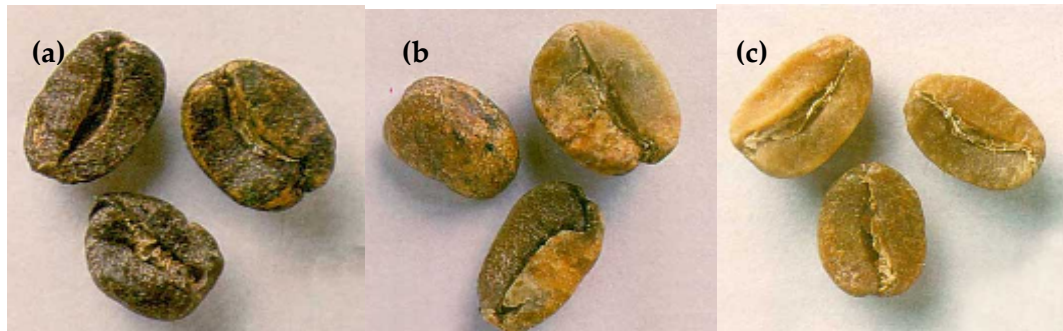
Para determinar la calidad del café se utilizan técnicas como el análisis físico y sensorial que permiten describir sus principales características.

3.1.5.1. Análisis físico

El análisis de calidad física se realiza a través de un examen visual de los granos de café, con una valoración de los defectos a los granos de café después del proceso de trilla así como la evaluación de su aspecto general. La calidad física se altera por la presencia granos defectuosos, tales como negros, vinagres y cardenillos que se originan por una inadecuada fermentación (1) los dos primeros pertenecientes al primer grupo⁵. En la Figura 3, se aprecian los defectos físicos que pueden ser originados durante la fermentación.

⁵ **Defectos del primer grupo:** Representan mayor riesgo para la calidad del café en taza, pertenecen a este grupo: granos negro, vinagre, decolorado reposado y decolorado ambar o mantequillo, tienen rangos de tolerancia (Ver Anexo 2).

Figura 3. Defectos Físicos del café originados en la fermentación. (a) Negro, (b) Cardenillo, (c) Vinagre



3.1.5.2. Análisis sensorial

Con el análisis de las características sensoriales⁶ se indica la calidad del producto y las bases para la clasificación comercial, además este análisis sirve como indicador de prácticas realizadas en el beneficio del café (47). El análisis de calidad sensorial es el estudio de las propiedades del café que afectan los órganos de los sentidos, especialmente olfato y gusto, produciendo sensaciones que se traducen en un juicio por medio del cual se determina si el café es aceptado o rechazado.

En la catación de café se evalúan la intensidad y calidad de los atributos que conforman la bebida; aroma, cuerpo, acidez, sabor y persistencia o gusto final. Estos atributos son calificados en escalas numéricas y a la vez descritos a través de adjetivos que ilustran sus cualidades o deficiencias, obteniendo así, el perfil de taza.

Las cualidades organolépticas o sensoriales que se evalúan en la bebida de café son:
Aroma/Fragancia, Acidez, Sabor, Cuerpo, Impresión global

- El Aroma es la primera cualidad que se percibe en el café al oler la muestra y puede calificarse como dulce, terroso, químico, pronunciado, alto y propio del café.
- La acidez natural es indeseable cuando se califica como agria, vinosa, picante, acre, astringente o ausente, derivada de malas prácticas de cosecha y del beneficio del café.
- El Cuerpo de la bebida, se percibe en la lengua como una mayor o menor concentración. Una buena bebida de café presenta cuerpo completo, moderado y balanceado.

⁶ **Catación:** Es un método para evaluar el aroma y las características de sabor de un café.

- El amargo es una característica normal del café debida a su composición química. Es deseable en grado moderado en el café colombiano.

La impresión global se refiere a la calificación general de la bebida de café. Por medio de ésta, se acepta o rechaza la calidad del grano. Está relacionada con los aromas percibidos por el sentido del olfato; y el cuerpo, el amargo y la acidez, percibidos por el sentido del gusto (17).

3.1.5.3. Defectos en calidad de café debidos a la fermentación

Los defectos son sabores negativos que generan el rechazo del café. La fermentación natural es una de las etapas más críticas dentro del proceso de beneficio húmedo del café, debido a que por una mala fermentación del mucílago se pueden producir gran cantidad de defectos detectados tanto en la calidad física como en la sensorial (1). La mayoría de defectos de la calidad de la bebida del café son atribuidos al mal control durante la fermentación, el control del tiempo del proceso es factor determinante en la calidad final del grano, ya que por sobrefermentación, se producen defectos en taza que dan sabor y aroma a vinagre, fermento, piña o vino, cebolla, rancio o *stinker*, dependiendo del tiempo en que los granos de café permanezcan sin lavar (36). Los residuos de mucílago degradado deben ser retirados de la masa por medio del lavado, ya que el pergamino no se considera una barrera para evitar que estos entren al grano (39).

En el caso de fermentaciones incompletas también se pueden presentar problemas en la calidad, dado que el mucílago que queda adherido al grano continúa con la fermentación y los productos de esta no son eliminados mediante el lavado (*Ibid*).

El defecto *sobrefermentado* tiene su origen en la etapa de fermentación por realizar prácticas inadecuadas como fermentaciones prolongadas y mezclar en el mismo tanque cafés de diferentes días o tiempos de proceso (despulpado), entre otras (*Ibid*).

3.1.6. Relación de la etapa de fermentación natural con el desarrollo sostenible

El concepto de Desarrollo Sostenible aplicado a la caficultura es un tema que exige cada vez más interacción, dadas las perspectivas presentes y futuras del sector, de los caficultores y del medio ambiente en el cual se desarrolla. El Desarrollo Sostenible se basa en los tres pilares de la sostenibilidad: social, ambiental y económico, que son analizados para explicar el impacto de la fermentación como etapa de proceso en la obtención del café en Colombia.

3.1.6.1. Componente social

El componente social de la sostenibilidad hace referencia a la capacidad de los actores sociales (caficultores) para actuar de manera sostenible entre sí y con su entorno, es por esto que el fortalecimiento de la sociedad civil (caficultores) es considerada como un elemento que debería estar presente en un entorno sostenible (45).

La producción de café en Colombia, es de pequeños agricultores, datos del SICA⁷ 2008 (47), reportan que el 94,8% de los caficultores poseen menos de 5 has en café, el 3,7% entre 5 y 10 ha, lo que deja a sólo el 1,5% con más de 10 has. De acuerdo con Pizano, citado por Perdomo, 2006, los pequeños productores proveen el 15% de la producción total, los medianos el 40% y los grandes el 45% (35).

Según García y Ramírez 2002, aproximadamente el 50% de los caficultores con extensiones de menos de 5 ha tienen la capacidad de conservar sus características de productor y sostenerse con base en esta actividad agrícola como mayor fuente de ingresos, sólo si incrementan la productividad y reducen sus costos de producción (19). La situación se hace más crítica si parte de esa producción presenta defectos que deterioran la calidad y disminuyen el ingreso del productor.

El uso de la fermentación como método principal de remoción de mucílago del café, está estrechamente relacionado con los caficultores que poseen menor área en café. En un estudio de caracterización del proceso de beneficio, realizado por Aristizábal y Duque, 2005 (4), en 25 municipios de cinco departamentos⁸ se identificó que el 89% de los caficultores utilizan la fermentación como método principal para el desmucilaginado de café, cifras que fueron corroboradas en sondeo realizado en seis departamentos⁹ por Oliveros *et al.*, 2009 (32), en el cual el 87,8% utilizan este método. La principal característica de estos caficultores es que poseen menos de 10 ha en café, que son responsables de más de la mitad de la producción de café del país.

3.1.6.2. Componente ambiental

El componente ambiental hace referencia a la capacidad del proceso para aprovechar, sin destruir, los recursos del entorno. Para obtener la sostenibilidad ambiental se encuentran entre otras, las tecnologías para descontaminación de aguas (45).

⁷ SICA: Sistema de Información Cafetera. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

⁸ Antioquia, Santander, Cauca, Huila y Tolima. Muestra de 344 caficultores.

⁹ Caldas, Risaralda, Quindío, Valle del Cauca, Tolima y Huila. Muestra de 147 caficultores.

El proceso de fermentación de mucílago está estrechamente ligado a la etapa de lavado, dado que es necesario retirar del grano de café el mucílago que ha sido degradado a sustancias solubles en el agua. Para retirar el mucílago proveniente de la fermentación cuando se utiliza la técnica de los cuatro (4) enjuagues (52), se requiere 4,2 L de agua por cada kilogramo de café pergamino seco obtenido al final del proceso, esta agua residual genera una carga orgánica de alrededor de 27000 ppm expresada en términos de Demanda Química de Oxígeno. El agua consumida en esta etapa se ha considerado un punto débil en la industria cafetera, sin embargo, Zambrano *et al.* 2006 (53) han desarrollado un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio de aguas residuales, que remueven aproximadamente el 90% de la carga orgánica inicial (43). Esta tecnología se utiliza para los beneficiaderos que siguen con las recomendaciones de: despulpado sin agua, transporte de pulpa en seco y lavado en tanque tina de fermentación con la técnica de cuatro enjuagues (*Ibid*).

3.1.6.3. Componente económico

El componente económico más allá de expresar la actividad cafetera en términos de ingresos a través de la generación de divisas para aumentar el crecimiento económico del país, hace referencia a maximizar el bienestar que proporcionan las actividades económicas manteniendo el patrimonio económico, ecológico y sociocultural a lo largo del tiempo (45). La actividad cafetera tiene más un papel social y ambiental para una región, que un papel puramente económico pues el café por sí mismo, desarrolla sectores secundarios y terciarios, incluyendo servicios de tostación, ventas, turismo y servicios ambientales (7).

De acuerdo con la estrategia FESLM¹⁰, con la cual se realizó un análisis de problemas y soluciones de los recursos de las regiones cafeteras, desde diferentes dimensiones del manejo de la tierra¹¹, se plantea entre otras, *dirigir esfuerzos hacia la calidad del café*, con el fin de aumentar la viabilidad económica de la actividad cafetera (*Ibid*). Lo que se traduce entre otras, en mejores prácticas de beneficio que disminuyan los riesgos de deterioro de la calidad, dentro de las que se incluye una fermentación de mucílago adecuada.

Para definir el precio del café en el punto de compra es determinante la calidad de éste. Actualmente en Colombia se utiliza el método del porcentaje de almendra sana, que

¹⁰ FESLM. Esquema de Evaluación Sostenible de Terrenos, por sus siglas en Inglés. Desarrollada por la FAO, 1991 (7).

¹¹ Dimensiones del manejo de la tierra según FAO: Productividad, Seguridad, Protección, Viabilidad, Aceptabilidad

consiste en tomar una muestra de 250 gramos de café pergamino seco, trillarla¹² (eliminación del pergamino) y separar y clasificar las almendras sanas y pasillas¹³ de la muestra. Además se realizan todos los análisis del pergamino en cuanto a color, olor, porcentaje de humedad, infestación, aspecto y prueba de taza (18). Se ha estimado que el promedio del país está en 75%, el porcentaje restante está compuesto por cisco y subproductos o granos defectuosos (46). Cuando el porcentaje de almendra sana es mayor a 75%, se requieren menos kilos de café pergamino seco para obtener un saco de 70 kg de café excelso, entonces el café tendrá un mayor precio y cuando el porcentaje de almendra sana es menor, hay más defectos y el precio pagado al caficultor será menor. Un menor precio implica menos ingresos, que reducen la utilidad de la actividad, dado que los costos de producción son los mismos, pues la calidad en esta etapa se deteriora sin adicionar costos a la actividad, lo cual conlleva a una amenaza de la sostenibilidad en el tiempo.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. La fermentación

La fermentación es un proceso metabólico en que los carbohidratos son oxidados (oxidación incompleta) con liberación de energía (50).

De acuerdo con la interpretación bioquímica hecha por Pasteur, la fermentación se conoce como la desasimilación anaeróbica de compuestos orgánicos por la acción de microorganismos u otras células o de extractos celulares (enzimas); además, es un conjunto de reacciones bioquímicas a través de las cuales una sustancia orgánica se transforma en otras por acción de ciertos microorganismos (bacterias, hongos), que en general van acompañadas de un desprendimiento gaseoso y de un efecto calorífico (50).

El término fermentador no sólo hace referencia a los recipientes en los cuales se realiza la fermentación con exclusión de aire, sino también a los tanques en los cuales se producen oxidaciones microbianas aeróbicas y a los tanques de propagación de levaduras y otros microorganismos en presencia del aire (50).

¹² **Trilla:** eliminación de pergamino o cascarilla del café por medios mecánicos.

¹³ **Pasilla:** Granos con defectos. Ver Anexo 2.

La fermentación es natural cuando las condiciones ambientales permiten la interacción de microorganismo con los sustratos orgánicos susceptibles (*Ibid*).

3.2.2. Fermentación del mucílago de café

Durante la fermentación del mucílago actúan bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pécticos y azúcares en alcoholes y ácidos orgánicos (49). Las bacterias pectolíticas más frecuentemente encontradas son *Erwinia herbicola* y *Klebsiella pneumoniae*, (6) estas bacterias producen la enzima que desdobla los compuestos pécticos insolubles en compuestos solubles.

La descomposición del mucílago parece estar más relacionada a la acidificación que a la pectólisis enzimática, el crecimiento microbial es necesario pero la microflora no participa directamente en la degradación del mucílago por producción de enzimas (*Ibid*). El papel de los metabolitos de los ácidos orgánicos como el láctico y el acético es inducir una disminución del pH, para favorecer la fermentación del mucílago.

Según Fritz, citado por Roa *et al.* (41), el papel de los microorganismos es elevar la temperatura durante el proceso de fermentación y ayudar a la acción de la pectinasa, pero si ésta no es suficiente en los granos, los microorganismos pueden suplir la deficiencia, adaptándose a los cambios de pH que suceden en la masa de café.

Los ácidos pécticos están compuestos de polímeros de ácido galacturónico y son clasificados como protopectinas, ácido pectínico, pectinas y ácido péctico que dan lugar a la formación de enzimas como la protopectinasa, pectinasa, pectinesterasa y pectasa, que actúan específicamente sobre su componente del mismo nombre (50).

Hay divergencias entre los investigadores cuando explican los tipos de fermentaciones encontradas, ya que éstas varían de una zona a otra y de un continente a otro; para unos autores se presenta la fermentación alcohólica seguida de la acética, otros la clasifican como exclusivamente láctica, otros la ven como una fermentación láctica seguida de una butírica. Para Fritz, citado por Wilbaux (49), las cuatro fermentaciones interfieren unas con otras, pero cumplen un orden así: alcohólica, láctica, acética y butírica.

En la fermentación alcohólica se produce etanol y dióxido de carbono a partir de glucosa, este alcohol es tomado durante la fermentación acética para producir ácido acético y agua.

En la fermentación láctica se produce ácido láctico a partir de glucosa y en la butírica, producida en condiciones anaerobias, se produce ácido butírico y propiónico a partir de los azúcares restantes (48). Estos últimos son poco deseados pues otorgan sabores que alteran la calidad de la bebida del café.

3.2.3. Cambios de la masa

Las características físicas de la masa de café cambian durante el proceso de fermentación, ya que al inicio de este proceso la masa está compuesta de café despulpado e impurezas (pulpa, frutos sin despulpar y material extraño, entre otros), horas después, si no se evacuan las mieles continuamente, parte de la masa (cerca al piso del tanque) será una suspensión compuesta de mucílago degradado, café pergamino con restos de mucílago e impurezas que aumentan al finalizar el proceso. Cuando se evacuan permanentemente las mieles se tiene una masa de granos cubierta de mucílago que se degrada con el tiempo (44). Los cambios se pueden medir mediante variables físicas, como temperatura, densidad, viscosidad, textura y pH entre otras.

Rolz (*Ibid*), afirma que existen dos variables que permiten cuantificar los cambios que en pocas horas experimenta la masa de café en la fermentación: La temperatura y la acidez, esta última medida a través del pH; la temperatura aumenta y el pH disminuye desde cuando inicia la fermentación, cuando el pH alcanza el valor de 4.0, según datos del autor, se considera que el café está listo para ser lavado.

Fritz citado por Roa *et al.* (41) en trabajos sobre medición de temperaturas en fermentación, reportó que el proceso se inicia entre los 21 a 23 °C y que el café da punto para ser lavado cuando la temperatura asciende a 27-28 °C.

3.3. MARCO DE ANTEDECENTES

3.3.1. Factores que inciden sobre la fermentación

La fermentación del mucílago de café, al ser un proceso natural, tiene como principal respuesta el tiempo que se requiere para finalizar el proceso. Wilboux (49), cita que la fermentación en café arábica, dura frecuentemente de 48 a 60 horas y a veces más en regiones frías y altas y la de robusta dura entre 12 y 24 horas en regiones cálidas y bajas. Cleves, (11) dice que la eliminación del mucílago requiere para casi todos los cafés entre 24 y 36 horas, de acuerdo a la temperatura. Rolz (44), cita que el tiempo para completar la fermentación puede variar de 12 a 90 horas, dependiendo del tipo de café y de las condiciones ambientales. Menchú y Rolz (26), citan que los periodos de fermentación pueden variar entre 12 y 100 horas.

Así mismo, existen factores que pueden incidir en la duración de este proceso, aunque se desconoce concretamente el efecto de estas variables sobre el proceso. Entre éstos factores se encuentran:

- La temperatura del lugar. El mayor tiempo de fermentación corresponde a las zonas más frías, por tanto más altas.
- La altura de la masa de café en el tanque. a mayor altura de la capa de café, es menor el tiempo de fermentación.
- El uso de agua. Se recomienda la fermentación en seco ya que acelera la fermentación y se debe permitir que las aguas mieles salgan al exterior del tanque. En la fermentación bajo agua, la fluidificación del mesocarpio se hace más lenta y se retrasa el inicio de la acidificación. La masa de café se calienta poco o nada durante el proceso, sobre todo cuando se hace en presencia de agua.
- La cantidad de mucílago en el grano. El café tipo robusta tiene un mesocarpio más delgado pero más resistente y necesita de 24 a 36 horas más. Estudios llevados a cabo por Menchú y Rolz, citan que no existe correlación entre la altitud de los cultivos de café variedad Bourbon con el contenido de mucílago (*Ibid*).
- El grado de madurez del café. Estudios realizados por Puerta, 1995 (36) dicen que la fermentación requiere menos tiempo cuando el café está maduro.

- El tiempo entre la recolección de los frutos y el inicio del beneficio. Una vez cosechado el grano de café se presenta un proceso natural de fermentación en la pulpa y el mucílago, la demora en el inicio del proceso de beneficio por más de 6 horas, puede alterar el tiempo del proceso (40).

3.3.2. Identificación del punto de lavado

Tradicionalmente se han utilizado diferentes prácticas para determinar, de forma fácil pero subjetiva, el momento final de la fermentación o punto de lavado del café, a continuación se explican algunos de ellos (12):

Tiempo: Por ser el tiempo de fermentación factor definitivo sobre la calidad del café, es necesario realizar muestreos periódicos de la masa de café en el tanque, para determinar el punto óptimo de lavado de cada “cochada”. Al intervenir tantas variables sobre el tiempo de la fermentación, como se explicó anteriormente se hace ambiguo el uso de este método para determinar el punto de final del proceso.

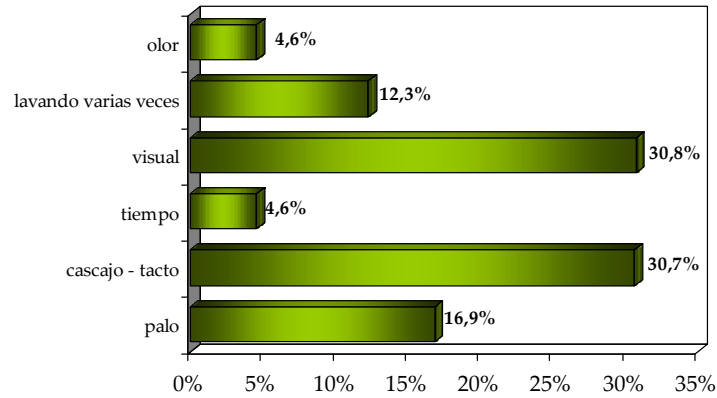
Sonido de cascajo: Se toma una muestra de café del tanque y se lava en una vasija con agua. Luego se frota entre las manos y si se siente áspero y da un sonido de “cascajeo”, que indica que se debe iniciar el lavado de la masa de café.

Método del palo: Otra manera de determinar el punto de lavado es introduciendo un palo en la masa de café, si al sacarlo el hueco se conserva, es señal de que el café está listo para lavar.

La FAO (33) recomienda la evaluación de la fermentación mediante el tacto, dado que el pergamino que rodea a los granos pierde su textura lamosa y deja una sensación más áspera.

Mediante un sondeo (34) realizado a caficultores de cinco departamentos, Caldas, Risaralda, Quindío, Antioquia y Valle del Cauca y en el cual se preguntó sobre el método que emplean para determinar el punto final de la fermentación, se encontró que los métodos tradicionales se utilizan en el 35% de los casos. El 65% restante está representado por otros métodos como el olor y se resalta el método visual (cambio de color) con 30,8% como el más utilizado. En la Figura 4 se observan las proporciones de uso encontradas.

Figura 4. Uso de prácticas tradicionales para identificar el punto de lavado



Fuente: Peñuela M., A.E. , 2006

Como se observa, el 12% de los caficultores encuestados realizan la práctica de lavar varias veces el café, es decir, lavan y si aún hay mucílago adherido al grano, dejan fermentando más tiempo y vuelven a lavar. Esta práctica hace que se consuma en el lavado el doble o más del agua necesaria para realizar la operación, con la consecuente liberación de aguas residuales a las fuentes de agua y el aumento de la contaminación ambiental.

Se observa además que los métodos carrasposo al tacto y el sonido a cascajo representan el 30,7% de la frecuencia de uso de los caficultores, similar al método visual, y seguido del método del palo que es utilizado por el 17% de los caficultores.

La principal conclusión de este sondeo es que se evidencia la falta de objetividad en la determinación del punto final de fermentación y la necesidad de establecer controles objetivos de este proceso de gran importancia sobre la calidad del café.

En investigaciones realizadas por Jackels *et al.*, 2006 (21) con café de Nicaragua, se realizó el seguimiento de la fermentación de mucílago a nivel de laboratorio. Se interrumpió la fermentación de muestras pequeñas a través del lavado cuando el pH de la masa en fermentación decrecía aproximadamente a 4,6, 4,3, o 3,9. Después que estas muestras fueron secadas y tostadas, se evaluó su calidad en paneles de catación. Los resultados indican una débil correlación positiva entre el pH del café en el lavado y la calidad. También se realizó el trabajo con caficultores, quienes interrumpieron la fermentación después de un proceso de optimización del tiempo a través de los valores de pH para lo cual utilizaron papel de pH estándar. Generalmente, esto requirió de un tiempo corto de

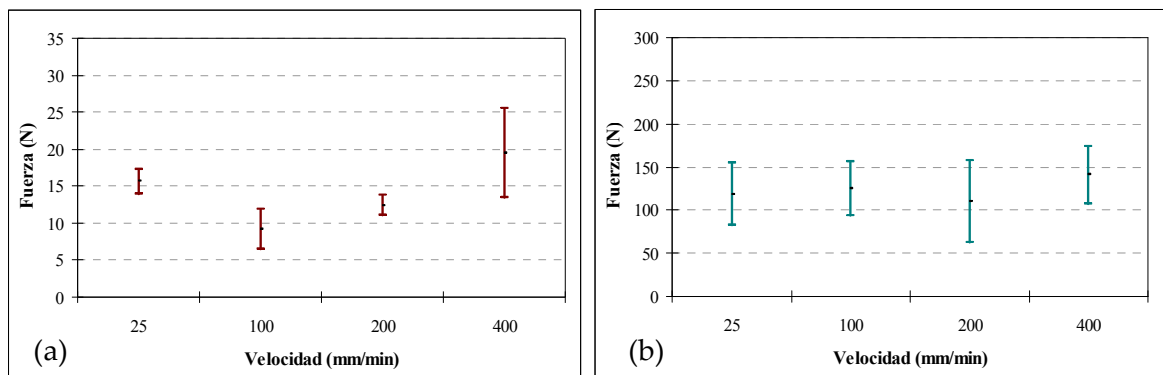
fermentación para finalizar con un alto valor del pH. Los resultados indicaron que los productores fueron muy exitosos en la optimización del proceso de fermentación, pero la calidad del café no reflejó cambio, posiblemente debido a un decrecimiento en la calidad del café al final de la cosecha.

Puerta, 1999 realizó un estudio sobre la influencia del proceso de beneficio en la calidad del café (37), en el cual encontró que la fermentación natural, realizada en Cenicafé, con un tiempo de 14 horas, lavado con agua limpia y secado inmediato influye favorablemente sobre la calidad del café, presentando las mejores características en los atributos, acidez, amargos, cuerpo e impresión global, al ser comparado con otros métodos de beneficio húmedo, semihúmedo y seco.

3.3.3. Análisis preliminares

En ensayos realizados en Cenicafé (34) con el fin de observar el comportamiento de la masa de café en fermentación, teniendo en cuenta las sus características reológicas¹⁴, al aplicar cargas externas, mediante una máquina universal de ensayos, se observó que la fuerza de penetración con café despulpado tiende a aumentar a velocidades mayores a 100 mm/min, mientras que en café con fermentación completa los valores de fuerza son los mismos independiente de la velocidad a la cual se aplique dicha fuerza (Figura 5), determinando de este modo que se presenta una fricción seca, que puede ser aprovechada para obtener los valores de fuerza a aplicados.

Figura 5. Intervalos de confianza para la fuerza (N) con relación a la velocidad de café recién despulpado (a) y con mucílago completamente fermentado (b).

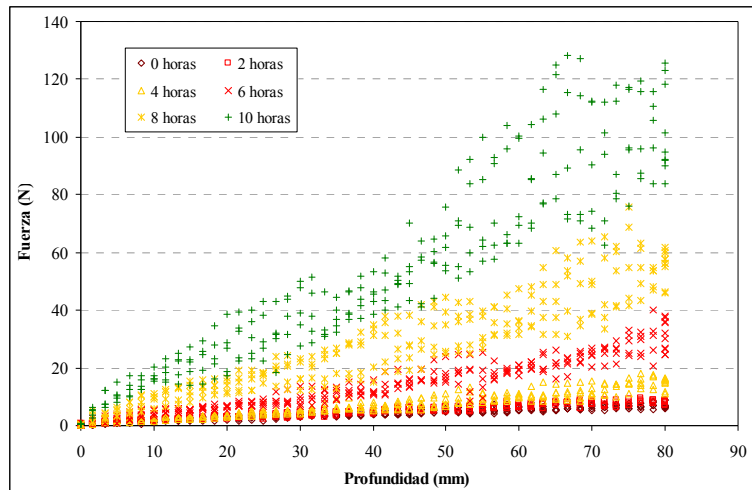


Adicionalmente, se reportaron valores fuerza (carga) con relación a la profundidad de penetración del punzón en la masa de café, en diferentes tiempos de fermentación, (Figura

¹⁴ Suspensión de granos de café en el mucílago. Oliveros *et al*, 1994.

6), los cuales aumentaron hasta 128 N a las 10 horas de fermentación, tiempo en el cual se degradó completamente el mucílago.

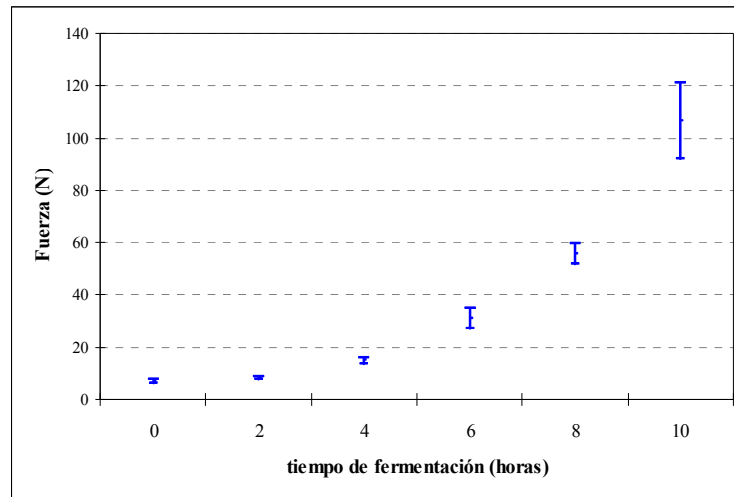
Figura 6. Relación de la carga con la profundidad de penetración a diferentes tiempo de fermentación.



En este estudio se concluyó que el efecto lubricante de la capa de mucílago, fluido con comportamiento no-Newtoniano (30), podría incidir en la fuerza para penetrar la capa de café en las primeras horas del proceso de fermentación. Conforme avanza el proceso de fermentación se presenta la degradación del mucílago y su desprendimiento parcial de la superficie del grano por lo cual al introducir el punzón en la masa la fricción entre éste y los granos y entre los granos se incrementa, requiriéndose mayor fuerza para introducirlo hasta una determinada profundidad.

En la Figura 7, se observan los intervalos para el promedio de la fuerza de penetración a 80 mm de profundidad en cada uno de los tiempos de fermentación. Se obtuvo una separación de dichos intervalos en cada uno de los tiempos. Los valores obtenidos para ocho horas de proceso están entre 51,8 y 59,6 N y para 10 horas o fermentación completa en este caso, la fuerza registrada estuvo entre 92,2 y 121,3 N.

Figura 7. Intervalos de confianza para la fuerza (N) aplicada a la masa de café en proceso de fermentación a velocidad constante de 100 mm/s y 80 mm de profundidad.



Los valores obtenidos de estos intervalos podrían ser la base para el desarrollo de un método objetivo para la determinación del punto de lavado del café en proceso de fermentación, independiente de las condiciones en las cuales este proceso se realice.

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.1. LOCALIZACIÓN

Las pruebas se realizaron en el beneficiadero experimental de Cenicafé, ubicado en Chinchiná Caldas, Colombia, a una altitud de 1.310 m, con una temperatura media anual de 21,2 °C y humedad relativa del 78%. Se utilizó café variedad Colombia procedente de la Estación Central Naranjal.

4.2. MATERIALES

La descripción general de los principales materiales y equipos empleados en esta investigación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de los equipos, por marca, rango y resolución

Equipo/material	Marca/descripción	Capacidad/ resolución	Cantidad
Separador Hidráulico de Tornillo Sinfín	Construido en acero inoxidable	600 kg cc/h	1
Despulpadora	De cilindro horizontal marca JM Estrada, referencia Super vencedora Nro. 4 ½, con tres salidas de café despulpado	900 kg cc/h	1
Zaranda circular de varillas	De acero, con 7 mm de separación entre varillas		1
Tanque de fermentación	Construidos en plástico (polietileno de alta densidad marca Rotoplas)	350 l	8
Sensor de inmersión para temperatura	Genérica PT100. 5 mm x 100 mm, 3 hilos AISL	± 0,1 °C	18
Potenciómetro digital	Equipo portátil marca WTW	0 – 14 rango 0,1	1
Dinamómetro	Equipo portátil marca DILLON Compact Gause	200 N ± 0,1 N	1
Balanza digital	Equipo portátil marca Mettler Toledo	1200 g ± 0,1 g	1
Enzima pectinolítica	Proenzimas	litro	1

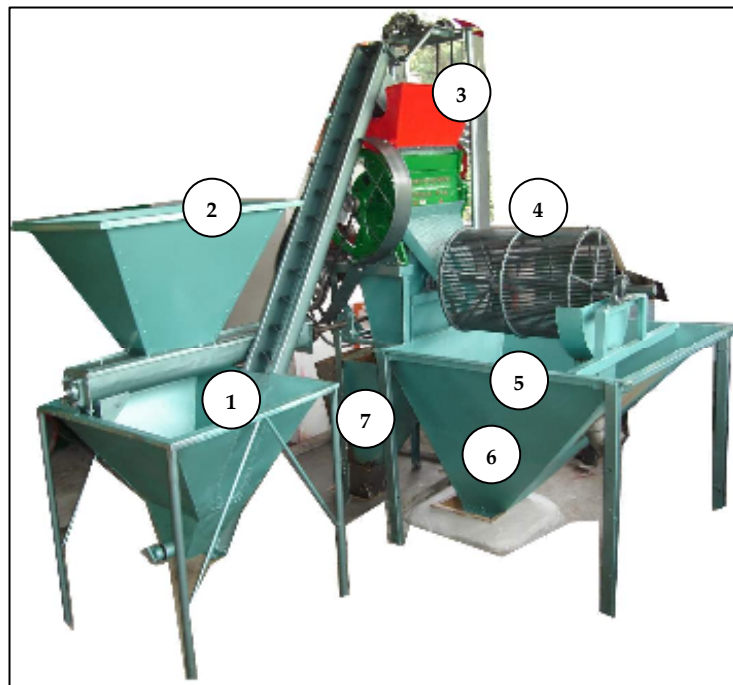
Para la realización de este trabajo se diseñó y construyó un módulo para el procesamiento húmedo de los frutos de café, con clasificación de las cerezas por diferencias en densidad, despulpado sin agua, zaranda para separar los frutos sin despulpar y gran parte de la

pulpa, con transporte del café despulpado hasta los tanques de fermentación sin utilizar agua. El diseño se hizo con base en una capacidad máxima de 1.000 kg de c.c./h, que permitió procesar el café, para iniciar el registro de información en un tiempo de 2,5 h.

El módulo para procesar café, ubicado en el beneficiadero experimental de Cenicafé, consta de los siguientes equipos, como se observa en la Figura 8.

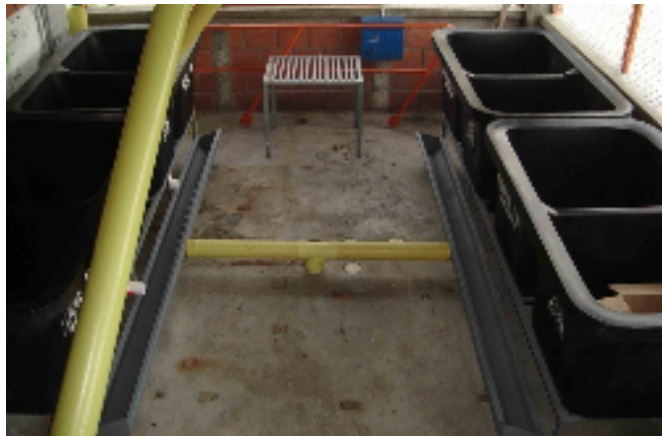
1. Separador Hidráulico de Tornillo Sinfín.
2. Tolva de dosificación.
3. Despulpadora, con capacidad para 1.000 kg/h.
4. Zaranda de varillas.
5. Tolva de recibo de café despulpado.
6. Salida de café despulpado a los tanques.
7. Salida de pulpa.

Figura 8. Montaje del dispositivo experimental



El café procesado en el módulo se transportó por gravedad hasta los 8 tanques, localizados en un nivel ubicado a 2,5 m más bajo, utilizando tubos de PVC y un dispositivo diseñado para descargar el producto en cada tanque (Figura 9).

Figura 9. Disposición de los tanques para la ubicación de los tratamientos



4.3. METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo propuesto, se evaluaron los siguientes métodos utilizados comúnmente por los caficultores en el proceso de fermentación, para determinar el punto de lavado (12), contando con el apoyo de un auxiliar con experiencia en beneficio de café (patiero):

1. **Método 1. Orificio en la masa:** Consiste en introducir en la masa de café en fermentación, un trozo de madera, que puede ser el mango¹⁵ de la paleta utilizada para el lavado y observar el orificio que deja en la masa una vez retirado de ella. Si el agujero se conserva, se considera que el café está listo para lavar (punto lavado).

2. **Método 2. Tacto:** Se saca una muestra de café con mucílago fermentado, se lava en una vasija y se frota en las manos. Si se siente rugoso y da sonido de “cascajo” se puede proceder con el lavado.

Estos dos métodos fueron evaluados considerando cuatro alturas de llenado del tanque, 100%, 75%, 50% y 25% y dos clases de materia prima, café sin clasificar y clasificado, antes del proceso de despulpado.

¹⁵ Parte alargada o estrecha con un extremo libre, por el cual se puede agarrar un instrumento o utensilio

Descripción de los tratamientos: Para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación se consideraron los tratamientos presentados en la Tabla 3:

Tabla 3. Tratamientos establecidos, con base en el método utilizado para determinar el punto de lavado, porcentaje de altura de llenado y el estado de clasificación de la materia prima.

Tratamiento	Método	Altura de llenado	Materia prima
1	1	25	Clasificada
2	1	50	Clasificada
3	1	75	Clasificada
4	1	100	Clasificada
5	1	25	Sin clasificar
6	1	50	Sin clasificar
7	1	75	Sin clasificar
8	1	100	Sin clasificar
9	2	25	Clasificada
10	2	50	Clasificada
11	2	75	Clasificada
12	2	100	Clasificada
13	2	25	Sin clasificar
14	2	50	Sin clasificar
15	2	75	Sin clasificar
16	2	100	Sin clasificar

Método 1: Orificio en la masa

Método 2: Tacto

4.3.1. Diseño experimental

La unidad de trabajo, utilizada en cada tratamiento, estuvo conformada por 2200 kg de café cereza. Cada tratamiento constó de 10 unidades de trabajo, las cuales fueron asignadas aleatoriamente a cada uno de ellos, de acuerdo con el diseño experimental bloques completos al azar, en arreglo factorial $2 \times 4 \times 2$ (dos métodos, cuatro alturas de llenado y dos clases de materia prima), donde el factor de bloqueo fueron las condiciones de temperatura y humedad relativa, del día en que se realizaron las pruebas, es decir en cada prueba se hizo una repetición de todos y cada uno de los tratamientos, bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa. Se obtuvieron 10 bloques.

4.3.2. Procedimiento

Para la conformación de las unidades de trabajo, en cada una de las pruebas (bloques), se tuvo la precaución de que el tiempo entre la recolección y el inicio del beneficio, fuera menor o igual a 8 horas, para evitar la fermentación del mucílago en la cereza del café.

Una vez se conformaron las unidades de trabajo, aquellas que correspondieron a los tratamientos con materia prima clasificada, fueron sometidas a un proceso de clasificación, con un Separador Hidráulico de Tornillo Sinfín (SHTS) (31). El café cereza procesado en el SHTS cumplió con las siguientes características de calidad: menos de 2,5% de verdes, menos de 2% de frutos secos y menos de 5% de frutos brocados.

Aquellas unidades de trabajo que correspondieron a los tratamientos de materia prima sin clasificar, se les hizo una caracterización del café cereza por estados de madurez y defectos. Para ello se tomó una muestra de un kilogramo de café y se separaron y pesaron los frutos por estado de madurez y los defectos presentes.

Todas las unidades de trabajo de todos los tratamientos fueron sometidas al proceso de despulpado, utilizando una máquina de cilindro horizontal marca JM Estrada, referencia Super vencedora Nro. 4 ½, con tres salidas de café despulpado. Previo a la aplicación de los tratamientos, la máquina fue calibrada y ajustada, para que el café despulpado presentara menos de 0,5% de café trillado, máximo 0,5% de mordido, máximo 1% de grano sin despulpar y menos del 2% de pulpa en grano, de acuerdo con los requisitos de la Norma Técnica Colombiana, NTC 2090.

Una vez finalizado el proceso de despulpado, las unidades de trabajo se pasaron por una zaranda para retirar los frutos sin despulpar (principalmente inmaduros) y pulpa y luego se depositaron en los tanques de fermentación.

Las cantidades de café despulpado necesarias de acuerdo a las diferentes alturas de los tanques se describen en la siguiente tabla.

Tabla 4. Cantidad de café despulpado requerido según la altura de llenado

Llenado del tanque	25 %	50%	75%	100%
Café despulpado (kg)	60	120	150	180

4.3.3. Información a registrar - variables

Durante el proceso de fermentación, se registro la siguiente información, en los tiempos cero (0, recién despulpado), cuatro (4) horas, siete (7) horas, nueve (9) horas y de allí en adelante cada dos (2) horas, hasta que cada unidad de trabajo presentó menos de 2% de mucílago:

- Cantidad de mucílago inicial
- Remoción de mucílago
- Temperatura de la masa de café
- pH
- Resistencia al punzonamiento de la masa de café
- Identificación del punto de lavado

Una vez identificado el punto de lavado, cuando la unidad de trabajo presentó una remoción superior al 97% de mucílago, se registró el porcentaje de tazas calificadas con Impresión global mayor a 6, de muestras de café obtenidas en cada tratamiento.

Esta información se obtuvo de la siguiente manera:

4.3.3.1. Cantidad y Remoción de mucílago

Se tomaron tres (3) submuestras de 200 g, cada una de café recién despulpado a la salida de la zaranda a las cuales se les adicionó 1 ml de enzima pectinolítica, cuyo fin es la degradación del mucílago en corto tiempo; una vez impregnada la muestra de café con la enzima se dejó en contacto durante una hora hasta lograr la degradación total del mucílago, según procedimiento utilizado por Mejía, 2006 (25).

Una vez transcurrido este tiempo, se lavaron las muestras con agua limpia y se secaron hasta eliminar la película de agua de la superficie mediante la aplicación de aire forzado a temperatura ambiente durante 15 minutos, luego se pesaron en una balanza.

Se utilizó la diferencia de peso para estimar la cantidad de mucílago en cada una de las determinaciones, mediante la siguiente expresión:

$$CM = \left(\frac{M_{mc} - M_{csm}}{M_{mc}} \right) \quad [1]$$

Donde, CM = Cantidad de mucílago
 M_{mc} = Masa de la muestra de café
 M_{csm} = Masa de café sin mucílago

Para obtener el valor de Remoción de Mucílago, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$r_0 = \frac{m_m - m_0}{m_0} \quad [2]$$

Donde, r_0 : Remoción inicial de mucílago
 m_m : masa de la muestra de café despulpado
 m_0 : masa de la muestra de café sin mucílago en el tiempo 0

$$r_t = r_0 \cdot m_t \quad [3]$$

Donde, r_t : remoción en el tiempo t
 m_t : masa de la muestra de café sin mucílago en el tiempo t

Y la remoción final de mucílago mediante la expresión:

$$R_m = \frac{(r_t - (m_m - m_t))}{r_t} \quad [4]$$

4.3.3.2. Temperatura

Se midió la temperatura ambiente y la temperatura interna de la masa a través de sensores ubicados en diferentes sitios dentro de los tanques de fermentación, así:

- en el centro del tanque, 5 cm al interior de la masa, debajo de la superficie
- en los planos horizontal y vertical en el centro de la masa tanque, para todas las alturas de llenado.

Los valores de temperatura fueron registrados cada hora, durante 1 minuto.

Para la medición de la temperatura de la masa dentro de los tanques de fermentación se construyó un sistema autónomo para el registro de temperatura a través de los sensores PT100. En la Figura 10 se observa el dispositivo, que permite el registro de temperatura simultáneamente en los 18 sensores (Figura 11) y en periodos de tiempo preestablecidos, almacenar en la memoria y descargar los datos directamente al computador para ser analizados.

Figura 10. Sistema autónomo de medición de temperatura



Figura 11. Medición de temperatura en la masa de café



4.3.3.3. Medida del pH.

Se utilizó un potenciómetro digital marca WTW 330. Para realizar las medidas se tomaron muestras de masa de café en fermentación de diferentes sitios del tanque y se esperó a que

la lectura del equipo fuera estable para registrar el valor. En cada tiempo indicado para el registro de esta variable se tomaron tres (3) valores para cada uno de los tratamientos.

4.3.3.4. Resistencia al punzonamiento.

Se utilizó un dinamómetro digital portátil para registrar la fuerza de penetración a la masa. Se diseñó un punzón de 25,4 mm de diámetro, el valor de fuerza fue registrado a una profundidad de 80 mm y en un rango de velocidad entre 80 y 100 mm/minuto (Figura 12).

Figura 12. Dinamómetro usado para la medición de la fuerza



4.3.3.5. Identificación del punto de lavado.

Paralelamente al registro de información de las variables que intervienen en el proceso se determinó el “punto de lavado” del café en proceso de fermentación utilizando los métodos tradicionales (Figura 13), como se describe a continuación:

Para el método 1, se introdujo trozo de madera a la masa de café del tanque a una profundidad de penetración de 30 cm y se observó si no hubo caída de los granos dentro del agujero dejado, con esta observación se registró respuesta afirmativa según el método (punto lavado).

Para el método 2, se tomaron muestras de 25 a 30 g de la superficie de la masa de café en proceso de fermentación, se lavaron con agua limpia y se frotaron en las manos. Cuando la muestra se sentía carrasposa, se registró respuesta afirmativa según el método (punto de lavado).

Figura 13. Métodos tradicionales utilizados por el caficultor. (a) orificio en la masa de café (b) Método del tacto



4.3.3.6. Calidad

Se realizaron análisis de calidad a muestras de café previamente lavadas, secadas mediante secado solar, hasta obtener una humedad del grano entre el 10% y 12% en base húmeda. Para ello, se tomó una muestra de dos kilogramos de café extraída de los tanques de fermentación, una vez fue identificado el “punto de lavado” según métodos tradicionales y cuando la remoción de mucílago fue superior al 97%.

Cada muestra de café pergamino seco fue enviada al Panel de Catación, para evaluar los atributos de la bebida.

En total se enviaron a evaluación sensorial 102 muestras de los diferentes tratamientos.

4.3.4. Variables de respuesta

- Tasa de Remoción del mucílago. Esta variable se obtuvo, para cada unidad de trabajo, estimando el coeficiente de regresión lineal entre la cantidad acumulada de mucílago degradado y el tiempo. Esta variable fue tomada como variable de respuesta según la condición de que dicho coeficiente, en al menos 7 de las unidades de trabajo, fue diferente de cero, según prueba t al 5% y con un coeficiente de determinación mayor del 70%.
- Tiempo en el cual la cantidad de mucílago es menor a 2% o remoción superior al 97%.
- Tiempo en el cual se determinó el punto de lavado, mediante métodos tradicionales.

4.3.5. Variables complementarias

- Temperatura de la masa de café
- pH
- Resistencia al punzonamiento
- Porcentaje de tazas calificadas con Impresión global > 6

4.4. Análisis de la información

Con la información obtenida tanto para las variables de respuesta y para las complementarias en todos los tratamientos, se realizó el análisis que se describe a continuación:

- Promedios y variación por tratamiento, tanto con las variables de respuesta como con las complementarias.
- Análisis de varianza, bajo el modelo para el diseño bloques completos al azar en arreglo factorial 2x4x2, al 5%, con las variables de respuesta.
- Evaluación del efecto de la doble o simple interacción según análisis de varianza para identificar la combinación método, altura y tipo de materia prima que presente la mayor tasa de degradación del mucílago y el menor tiempo para obtener menos de 2% mucílago, a través de una prueba de contraste, al 5%.
- Para cada tratamiento, se compararon los promedios de los tiempos para remoción superior al 97% y para el punto de lavado con métodos tradicionales, con una prueba de contraste al 5%, para identificar aquellos en los cuales, se mantenga la hipótesis nula de este estadístico de prueba, es decir: $H_0: U_1 = U_2$.

4.5. Evaluación de la hipótesis de investigación

- En la investigación la tercera hipótesis de trabajo sería corroborada siempre y cuando en el punto de lavado, el promedio de todos y cada uno de los tratamientos, fuera mayor del 2%, según prueba de t, al 5%.

- La primera y segunda hipótesis de trabajo sería corroborada, siempre y cuando el análisis de varianza, con la variable tasa de degradación del mucílago, no mostrara efecto de la interacción doble ni de las simples.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La clasificación del café cereza que ingresa al proceso de beneficio por medio de un Separador Hidráulico de Tornillo Sinfín (SHTS), permite la separación de frutos de inferior calidad, lo mismo que de impurezas pesadas y livianas, con eficiencias del orden de 99,8% como reportan Oliveros *et al.*, 2007 (31).

En la Tabla 5, se presentan los valores promedio para la calidad del café cereza. Se observa que la principal diferencia está en el porcentaje de frutos secos¹⁶, dado que para el café sin clasificación previa, es de 7,6% y clasificado es de 1,8%. Las proporciones para los demás estados de madurez no se ven afectados por la selección, presentando porcentajes similares para frutos verdes, pintones, maduros y sobremaduros en las dos clases de materia prima, esto permite establecer el efecto de frutos secos principalmente sobre el proceso de fermentación.

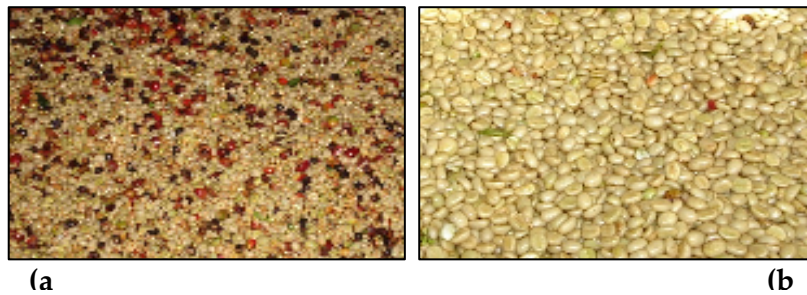
Tabla 5. Promedio de estados de madurez de cada clase de materia prima utilizada para los tratamientos

Clase Materia prima	Verde	Pintón	Maduro	Sobremaduro	Seco
Clasificado	1,3%	13,3%	54,3%	28,3%	1,8%
Sin Clasificar	1,4%	14,0%	51,9%	25,2%	7,6%

Los frutos secos, en los cuales se ha secado en su totalidad el mucílago, ofrecen gran resistencia al despulpado, dado que superan cargas superiores a 200 N (24), y presentan menores dimensiones ortogonales en el plano ecuatorial, al secarse la pulpa y el mucílago, por tanto pasan directamente a la masa de café, que ingresa a los tanques de fermentación (Figura 14), alterando su calidad.

¹⁶ **Frutos secos:** Frutos de color café oscuro, la cereza se encuentra arrugada, hasta pulpa completamente seca, adherida a la almendra, que corresponde a 231 DDF (Días Después de Floración). Marín L., S.M. 2003 (24).

Figura 14. Aspecto de la masa de café despulpado (a) sin clasificación (b) con clasificación



5.2. TIEMPO DE REMOCIÓN TOTAL

De acuerdo con la metodología de este trabajo, se considera que el proceso de fermentación natural finaliza cuando hay una cantidad de mucílago inferior al 2%, a este valor le corresponde en promedio un porcentaje de remoción total de 97%. Por tanto se considera al tiempo total de remoción cuando ésta es al menos del 97%.

El análisis de esta variable se hizo para todos los tratamientos realizados, identificando la remoción mediante el método enzimático. En la Tabla 6, se observa que hay efecto de la calidad de la materia prima sobre el tiempo de fermentación, siendo menor cuando no hay clasificación previa al despulpado.

Tabla 6. Tiempo de remoción para dos clases de materia prima

Materia Prima	Promedio Remoción total (h)
Clasificada	16,31 A
Sin Clasificar	15,00 B

Letras no comunes implican diferencia estadística al 5% según prueba de t.

En la Tabla 7, se observan los resultados del análisis de comparación de promedios mediante prueba *t* al 5%, para las diferentes alturas de llenado y dos clases de materia prima, contempladas en esta investigación. Se observa que no hay efecto de la altura de llenado sobre el tiempo total de fermentación, es decir se obtienen procesos de fermentación completos en diferentes cantidades de café en el tanque en tiempos similares de proceso, para las dos clases de materia prima evaluadas.

Tabla 7. Promedios de tiempo de remoción para las alturas de llenado con café clasificado y sin clasificar

Materia prima	Altura de llenado (%)			
	25	50	75	100
Clasificada (h)	16,4 A	16,4 A	16,2 A	16,25 A
Sin clasificar (h)	15,0 B	15,0 B	14,6 B	15,4 B

Letras no comunes implican diferencia estadística al 5% según prueba de t

5.3. CONTENIDO INICIAL DE MUCÍLAGO

En la Tabla 8, se presentan los valores promedio de contenido inicial de mucílago del café despulpado (tiempo 0), es decir con remoción de 0%, para cada uno de los bloques. En promedio el contenido de mucílago del café recién despulpado es de 27,8%, con un coeficiente de variación de 3,64%.

Tabla 8. Contenido inicial de mucílago

	Bloque									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% inicial de mucílago	28,5	30,6	27,9	27,3	27,7	29,0	27,2	27,3	26,1	27,9

5.4. REMOCIÓN DE MUCÍLAGO

Para todos los tratamientos se parte del supuesto que al iniciar el proceso de fermentación con el café recién despulpado (0 horas) no se presenta remoción de mucílago aún.

En la Tabla 9, se observan los promedios y variación de la variable remoción de mucílago, estimada como se indica en las ecuaciones 2, 3 y 4, para cada uno de los tratamientos evaluados. Se observan valores entre 39,8% y 43,2% y entre 27,4 y 32,6% de remoción en las primeras 4 horas de proceso, para los tratamientos de café sin clasificación y clasificado, respectivamente. El porcentaje de remoción aumenta con el avance del tiempo de proceso. A su vez se observa que los coeficientes de variación son altos en este tiempo debido a que se trata de un proceso que involucra muchas variables químicas y biológicas y en menor medida al error del método de medición, sin embargo, van disminuyendo con el avance del proceso de fermentación. Al final, 15 o 17 horas, el coeficiente de variación

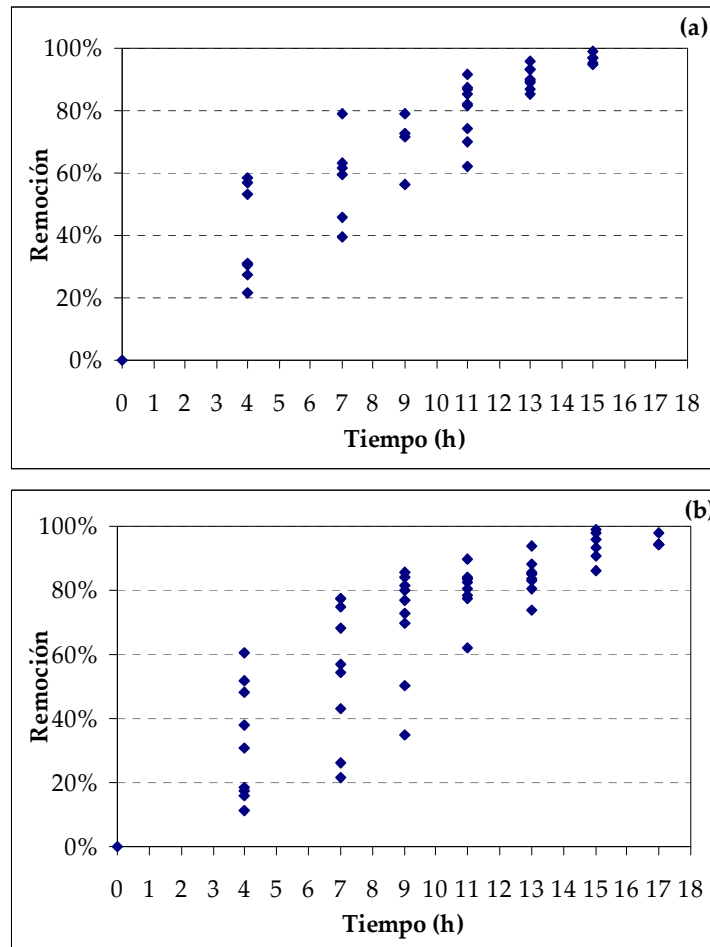
presenta valores entre 0,5% y 6,2%. Estos valores indican un comportamiento más estable en el proceso de remoción de mucílago hacia el final del proceso de fermentación natural.

Tabla 9. Promedios de remoción de mucílago para las diferentes alturas de llenado, obtenidos en los tratamientos de café cereza sin clasificación y clasificación previa al despulpado.

Tiempo (h)	Tratamiento (Altura de llenado)	Sin Clasificación		Clasificado	
		Promedio (%)	C.V. (%)	Promedio (%)	C.V. (%)
4	25%	39,9	39,7	28,4	51,3
	50%	39,8	38,9	32,6	55,3
	75%	37,5	50,4	27,4	53,8
	100%	43,2	49,4	27,5	39,6
7	25%	62,7	26,9	58,3	31,5
	50%	58,1	23,8	55,6	38,6
	75%	56,5	31,8	55,3	45,9
	100%	58,8	28,1	58,0	35,3
9	25%	72,0	9,5	65,7	26,4
	50%	69,9	13,9	70,7	24,3
	75%	70,0	11,3	68,8	29,9
	100%	72,1	12,9	64,4	26,3
11	25%	81,9	13,1	74,2	17,3
	50%	80,1	11,9	80,3	9,5
	75%	77,5	11,1	79,6	12,8
	100%	80,8	10,3	76,1	22,5
13	25%	91,3	4,0	85,5	7,7
	50%	90,3	4,0	84,4	6,4
	75%	85,9	5,8	83,1	12,5
	100%	90,7	4,3	84,2	11,4
15	25%	96,5	1,4	92,3	4,0
	50%	96,4	1,7	93,7	5,0
	75%	95,0	2,9	94,6	4,2
	100%	94,5	6,2	90,1	5,7
17	25%	---	---	94,0	1,5
	50%	---	---	95,1	1,7
	75%	---	---	96,1	0,5
	100%	---	---	94,7	1,0

La Figura 15, muestra el comportamiento de la remoción de mucílago a través del proceso de fermentación, para los tratamientos de 50% de llenado de los tanques.

Figura 15. Remoción de mucílago a través del tiempo, para los tratamientos con 50% de llenado del tanque (a) Café sin clasificación (b) Café con clasificación.



Los datos de remoción obtenidos indican un comportamiento típico de las reacciones bioquímicas, en las que se produce un compuesto a partir de un sustrato y se observa que la velocidad de reacción decrece a medida que la remoción de mucílago avanza. Este comportamiento puede ser explicado a partir de un modelo cinético, en el cual se estudia la velocidad a la que se producen las reacciones, es decir el modo en el que varían las concentraciones a través del tiempo (50). Dado que el proceso de fermentación, en el que se presenta una remoción de mucílago del grano de café, se presenta el desdoblamiento de moléculas insolubles (pectinas) a moléculas más pequeñas solubles, es decir puede tomarse como una reacción de disociación que puede ser explicada mediante un modelo cinético de primer orden, que se describe en la siguiente ecuación:

$$R_m = 1 - e^{-kt} \quad [5]$$

Donde

- R_m : Remoción de mucílago (%)
 k : Constante de la velocidad de reacción (h^{-1})
 t : tiempo del proceso en el que se mide la remoción (h)

En la Tabla 10, se presentan los resultados obtenidos para la constante de velocidad de reacción para el modelo cinético, el coeficiente de determinación y el tiempo calculado con los modelos obtenidos para cada tratamiento, que según éstos se obtenga una remoción de mucílago superior al 97%. Los valores de las constantes k se encuentran entre 0,124 y 0,153 y los coeficientes de determinación del modelo presentan valores entre 84,82% y 90,65%.

Tabla 10. Valores de las constantes de velocidad de reacción, coeficiente de determinación y tiempo de remoción teórico obtenidos para cada tratamiento.

Materia Prima	% llenado del tanque	k	R^2	t (h)	
				$R_m > 97\%$ teórico	$R_m > 97\%$ observado
Sin Clasificación	25	0,153	0,9065	24	15,0
	50	0,146	0,8905	25	15,0
	75	0,133	0,8658	27	14,6
	100	0,131	0,8602	27	15,4
Clasificada	25	0,119	0,8734	30	16,4
	50	0,134	0,8600	27	16,4
	75	0,129	0,8482	28	16,2
	100	0,124	0,8581	29	16,2

Como se observa en la tabla anterior, el tiempo teórico para obtener una remoción de mucílago superior al 97%, estimado bajo este modelo, es superior al valor de tiempo observado, con diferencias entre 9,0 y 13,6 horas, que darían tiempos de fermentación entre 24 y 30 horas para los cuales ya hay deterioro en la calidad por la presencia de defectos, por tanto este modelo no tiene capacidad predictiva para explicar el comportamiento de la fermentación, pese a que los coeficientes de determinación son superiores al 84%.

El comportamiento observado puede ser explicado mediante un modelo cinético cuadrático, que fue el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales, según se describe en la siguiente ecuación.

$$R_m = -At^2 + Bt \quad [5]$$

donde,

- R_m : Remoción de mucílago
- t : tiempo del proceso en el que se mide la remoción (h)
- A: Intercepto, indica el valor promedio de la R_m , cuando $t = 0$
- B: Pendiente, indica el cambio promedio de R_m , cuando t incrementa en una (1) unidad (h).

Este modelo describe el comportamiento de la remoción de mucílago a través del proceso de fermentación, cuyo mínimo valor es cero (0), al inicio del proceso y no debe sobrepasar una remoción superior al 100%, es decir:

$$R_{\max} = R(t_1) = 1$$

A partir de la primera derivada de la ecuación [5], se obtiene la ecuación que describe el comportamiento de la tasa de remoción:

$$\frac{dR_m}{dt} = -2At + B \quad [6]$$

Con el fin de estimar el tiempo para obtener la máxima remoción de mucílago, cuando la tasa de remoción es igual a cero, se utilizó la ecuación [6], despejando el valor de tiempo (t) correspondiente:

$$0 = -2At + B$$

$$t_1 = \frac{B}{2A} \quad [7]$$

Reemplazando t_1 y $R(t_1)$ en la ecuación original [5], donde la remoción es máxima (igual a 1), se tiene entonces:

$$1 = -At^2 + Bt \quad [8]$$

$$1 = -A\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + B\left(\frac{B}{2A}\right)$$

$$1 = -\frac{AB^2}{4A^2} + \frac{B^2}{2A}, \quad 1 = -\frac{B^2}{4A} + \frac{B^2}{2A}$$

$$1 = \frac{B^2}{4A}, \quad 4A = B^2, \quad \Rightarrow B = 2\sqrt{A}$$

Reemplazando B en la ecuación [8], se tiene: $1 = At^2 - 2\sqrt{A}t$

Haciendo $a = \sqrt{A}$, se tiene:

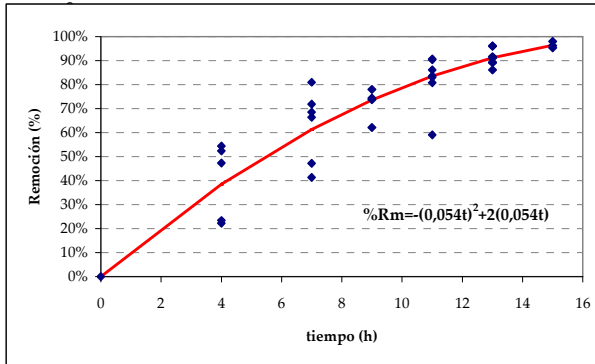
$$R_m(t) = -(at)^2 + 2at \quad [9]$$

En la Tabla 11, se observan los valores del coeficiente de regresión cuadrática y el coeficiente de determinación obtenidos para cada tratamiento. Se observan coeficientes de determinación superiores a 85%. Así mismo, el coeficiente a presenta valores entre 0,0455 y 0,0540. Este coeficiente indica la velocidad de remoción de mucílago de cada tratamiento, siendo mayor la velocidad de remoción a mayor valor de a .

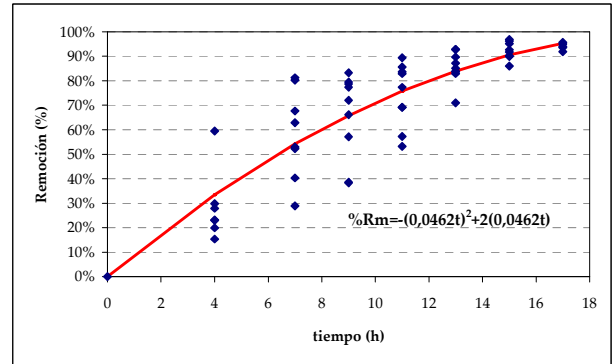
Se observa que el tiempo teórico obtenido con la aplicación de este modelo presenta diferencias entre 1,0 y 2,8 horas con relación al tiempo promedio obtenido para cada tratamiento, siendo menores que las encontradas para el modelo cinético de primer orden. Con este modelo se predicen los puntos de menor dispersión que se encuentran al final de la curva.

En la Figura 16, se observan el comportamiento de la remoción para los tratamientos con altura de masa de 25%, 75% y 100% y las curvas que explican el modelo de remoción.

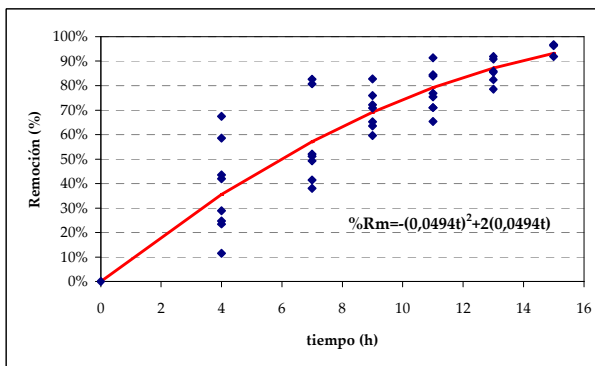
Figura 16. Remoción de mucílago a través del tiempo, para los tratamientos con 25, 75 y 100% de llenado del tanque y con Café sin clasificación y con clasificación.



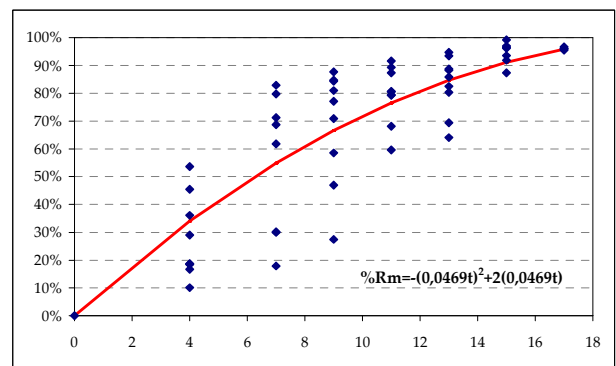
Altura llenado: 25%. Café sin Clasificación



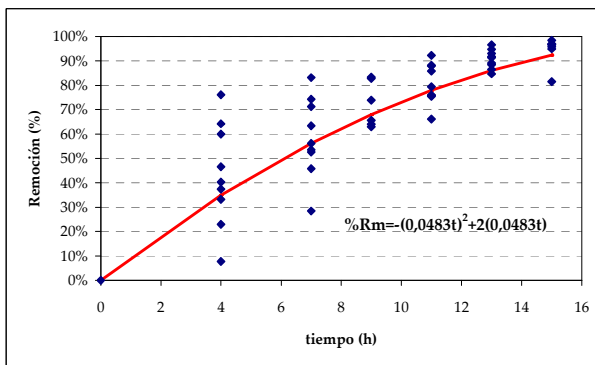
Altura llenado: 25%. Café Clasificado



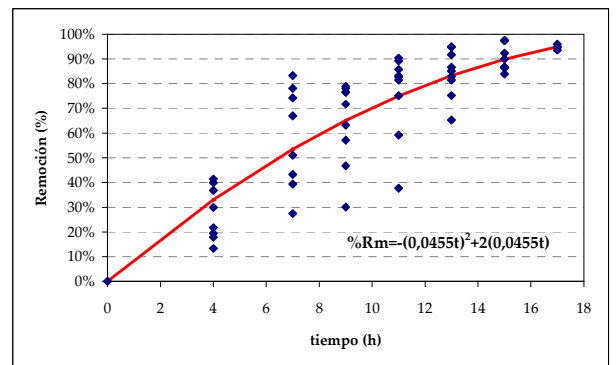
Altura llenado: 75%. Café sin Clasificación



Altura llenado: 75%. Café Clasificado



Altura llenado: 100%. Café sin Clasificación



Altura llenado: 100%. Café Clasificado

Tabla 11. Valores de las constantes del modelo regresión y del coeficiente de determinación obtenidos para cada tratamiento.

Materia Prima	% llenado del tanque	<i>a</i>	R ²	t (h) R _m >97% teórico	t prom (h) R _m >97% observado
Sin Clasificación	25	0,0540	91,43%	16,0	15,0
	50	0,0520	91,95%	16,0	15,0
	75	0,0494	87,12%	17,0	14,6
	100	0,0483	86,35%	18,0	15,4
Clasificada	25	0,0462	87,66%	18,0	16,4
	50	0,0483	86,46%	18,0	16,4
	75	0,0469	85,35%	18,0	16,2
	100	0,0455	86,18%	19,0	16,2

A partir de la derivada de la ecuación [9], que describe el modelo matemático obtenido para describir el proceso de fermentación de café, se obtiene la tasa de remoción, como se observa a continuación:

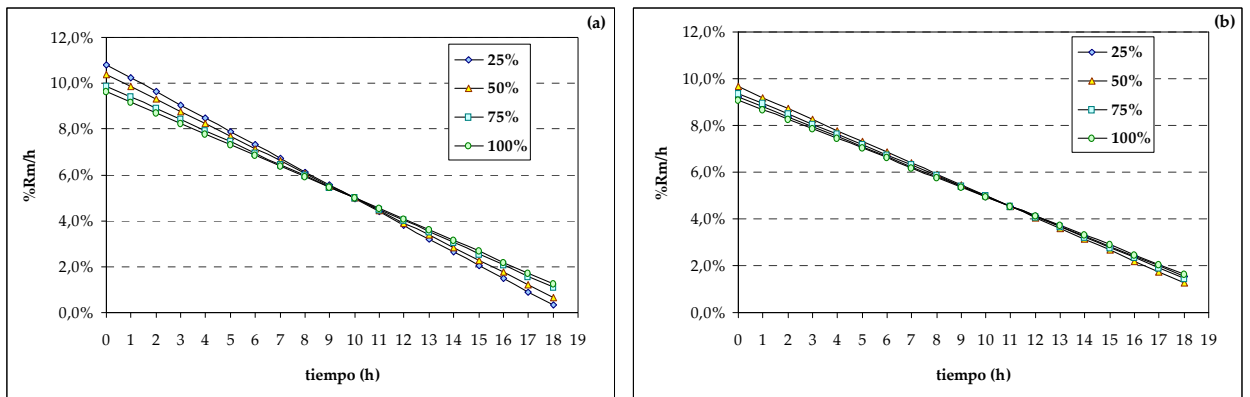
$$\frac{dR}{dt} = -2a^2t + 2a$$

$$\frac{dR}{dt} = 2a(1 - at) \quad [10]$$

Con la ecuación 10 se obtuvo el valor de la tasa de remoción (%R_m/h) para cada tratamiento, que tiene un comportamiento decreciente a medida que avanza el proceso de fermentación (Figura 17), indicando que al inicio del proceso hay mayor remoción, con valores cercanos al 10%/h.

Después de 12 horas de fermentación, cuando se ha removido en promedio el 92% del mucílago para los tratamientos sin clasificación y el 87% para los tratamientos con clasificación, la tasa de remoción de mucílago es inferior a 3,7%/h, haciendo lento el proceso de degradación de mucílago en las últimas horas del proceso. Los valores obtenidos para cada tratamiento se encuentran en el Anexo 3.

Figura 17. Tasa de remoción de mucílago vs. tiempo, para los tratamientos (a) sin clasificación (b) con clasificación.



5.5. VARIABLES COMPLEMENTARIAS

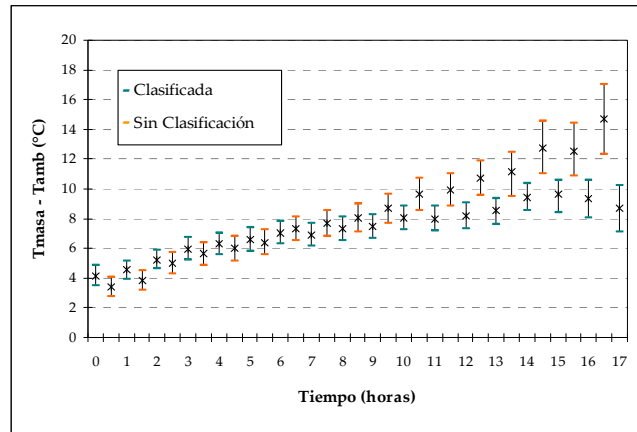
Paralelo a la información de las variables de respuesta se registró información sobre las variables complementarias, que ayudan a explicar el comportamiento del proceso de fermentación. Los resultados de promedios y variación se presentan a continuación.

5.5.1. Temperatura de la masa.

El proceso de fermentación del mucílago se comporta como un proceso exotérmico en el que se libera energía desde las primeras horas, dadas las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo, para la producción de alcoholes y ácidos.

En la Figura 18, se observa el comportamiento de la diferencia de la temperatura de la masa con la temperatura del aire (ΔT) para las dos calidades de café evaluadas, durante la fermentación del mucílago. Las curvas muestran una tendencia ascendente a medida que avanza el proceso, iniciando con valores cercanos a 4°C , sin presentar diferencia entre los tratamientos por calidad del café que ingresa al tanque, como lo muestran los intervalos de confianza. A partir de 13 horas los intervalos para el promedio se hacen diferentes, presentando mayores valores de temperatura la masa de café proveniente de materia prima sin clasificación, al final del proceso de fermentación se alcanzan diferencias de temperatura en promedio de $14,7^{\circ}\text{C}$ para estos tratamientos y de $8,7^{\circ}\text{C}$ para el café con clasificación previa al despulpado.

Figura 18. Intervalos de confianza para el promedio de la diferencia de la temperatura de la masa de café en proceso de fermentación con la temperatura del aire, para dos clases de materia prima.



Estas diferencias podrían ser explicadas por dos razones o la combinación de ellas. La primera es por el efecto que produce el sumergir los frutos de café en el agua del Separador Hidráulico, datos de temperatura registrados en el Beneficiadero de Cenicafé indican que el paso de los frutos por el SHTS puede reducir la temperatura de los frutos entre 1 y 2 °C, haciendo que los frutos clasificados entren al proceso de fermentación con una temperatura menor que los frutos que no han tenido clasificación previa. En la Tabla 12, se observan los valores de temperatura obtenidos.

Tabla 12. Valores mínimos y máximos de temperatura del café cereza antes y después de la clasificación en un SHTS.

	Aire (°C)	Frutos de café en saco (°C)	Agua de la tolva de separación (°C)	Café clasificado (°C)
mínimo	27,0	28,0	23,0	26,0
máximo	28,0	28,5	24,0	26,0

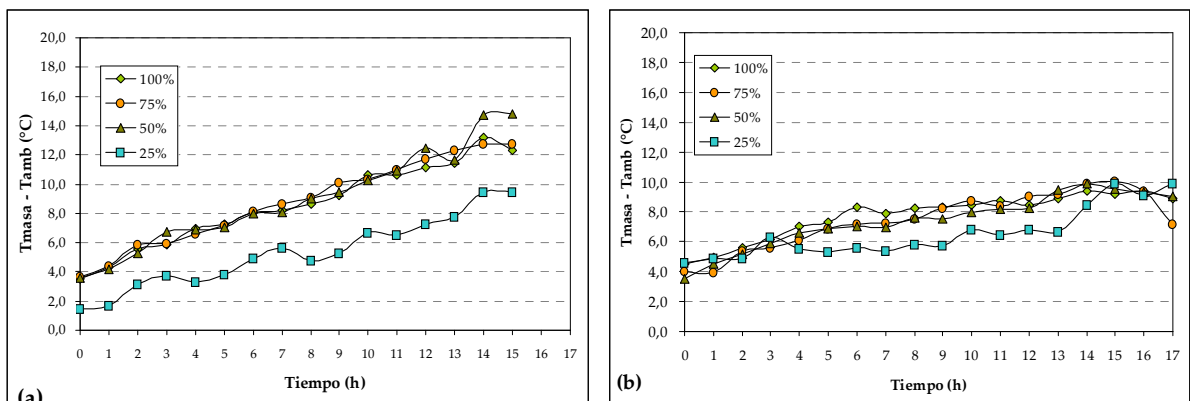
La otra razón tiene que ver con el mayor contenido, en el café sin clasificación, de frutos secos, frutos con problemas fitosanitarios o afectados por la broca, los cuales traen adelantado un proceso exotérmico dentro de ellos o a la inclusión en el tanque de fermentación de impurezas como trozos de pulpa que pueden aumentar la temperatura de la masa total o simplemente aportan mayor actividad de microorganismos que elevan la temperatura.

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 6, se observa que el café sin clasificación presenta aproximadamente 6% adicional de frutos secos, en relación con el café con clasificación. Esta cantidad podría ser suficiente para alterar las condiciones del proceso, y elevar la temperatura. Estudios llevados a cabo por Marín en 2003 (24), en el cual se analiza el comportamiento de la respiración de los frutos de café en los estados de maduración verde amarillo, pintón, maduro y sobremaduro, a través del tiempo, se presentaron las mayores tasas de respiración en los frutos sobremaduros, seguidos en su orden de frutos maduros, pintones y verde amarillos. Pese a que el estudio no fue realizado para frutos secos, estos resultados permiten suponer que la tasa de respiración de frutos secos una vez se encuentran dentro de la masa de café con su pulpa nuevamente hidratada promueve su actividad respiratoria liberando energía, lo cual se traduce en aumento de la temperatura.

El aumento de temperatura se puede explicar también por la acción de microorganismos presentes en este tipo de masa, al existir mayor proporción de frutos secos. En almacenamiento de granos se presenta el calentamiento cuando éstos tienen una humedad superior al 15% que puede producir temperaturas de hasta 62°C, dada por la actividad de microorganismos (3).

En cuanto al comportamiento de la cantidad de café en el tanque, en la Figura 19 se presentan las curvas de diferencia de temperatura de la masa con el ambiente, obtenidas para las diferentes alturas de llenado evaluadas y las dos clases de materia prima. Las tendencias indican que no existe una diferencia entre los tratamientos de 50%, 75% y 100% de llenado, sin embargo, para la menor cantidad de café en el tanque (25%), los valores de temperatura son más bajos, comportamiento que podría ser ocasionado por la influencia del ambiente sobre la capa superficial de la masa, en la cual los procesos fermentativos que generan reacciones exotérmicas no alcanzan valores altos de temperatura.

Figura 19. Comportamiento la diferencia de la temperatura de la masa de café en proceso de fermentación con la temperatura del aire, para cuatro capacidades de llenado (a) Sin clasificación (b) Clasificada

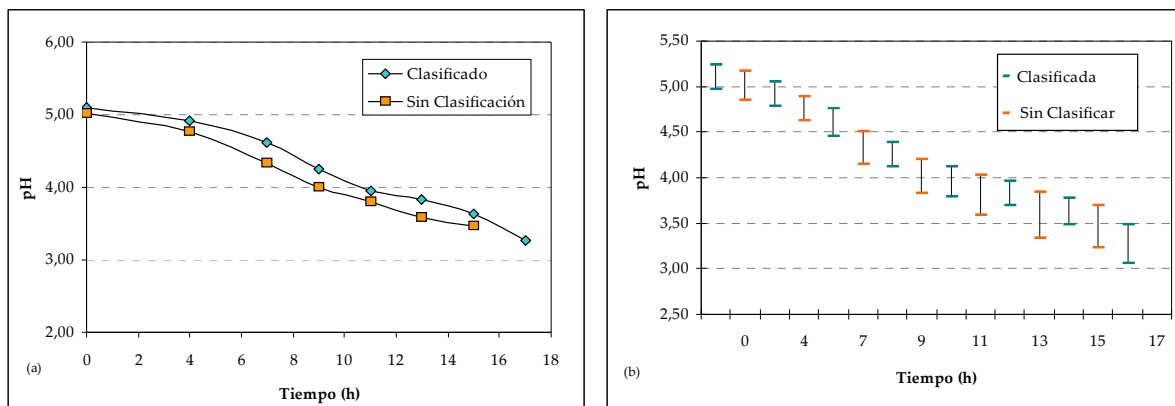


5.5.2. pH.

El comportamiento del pH durante el proceso de fermentación, muestra una tendencia descendente, indicando un aumento de la acidez de la masa, que coincide con la producción de ácidos a partir de los azúcares y los provenientes del rompimiento de las pectinas. Este proceso comienza con valores cercanos a 5,00. Desde el inicio de la fermentación se observan valores diferentes para las dos clases de materia prima, presentando valores más bajos el café sin selección previa, lo que indica que hay una mayor acidez para este tipo de café (Figura 20a). En la Figura 20b, se observa que los intervalos de confianza para el promedio del pH se traslapan entre sí, indicando que no existen diferencias estadísticas entre las dos clases de café, clasificado y sin clasificar. También se observa que la variación es mayor para café sin clasificación, dado que los intervalos son más amplios, lo que permite concluir que el café con clasificación hidráulica antes del despulpado hace que la masa tenga un comportamiento más estable.

Estudios realizados por Marín (2003) (24), en el cual se analiza el pH de diferentes estados de madurez, mostraron que para los frutos secos esta variable es diferente de los valores obtenidos en los demás estados, por tener menores valores. Esta respuesta permite explicar el comportamiento de la masa de café sin clasificación, que al tener mayor proporción de frutos secos, presenta menores valores de pH, durante todo el tiempo que dura la fermentación del mucílago.

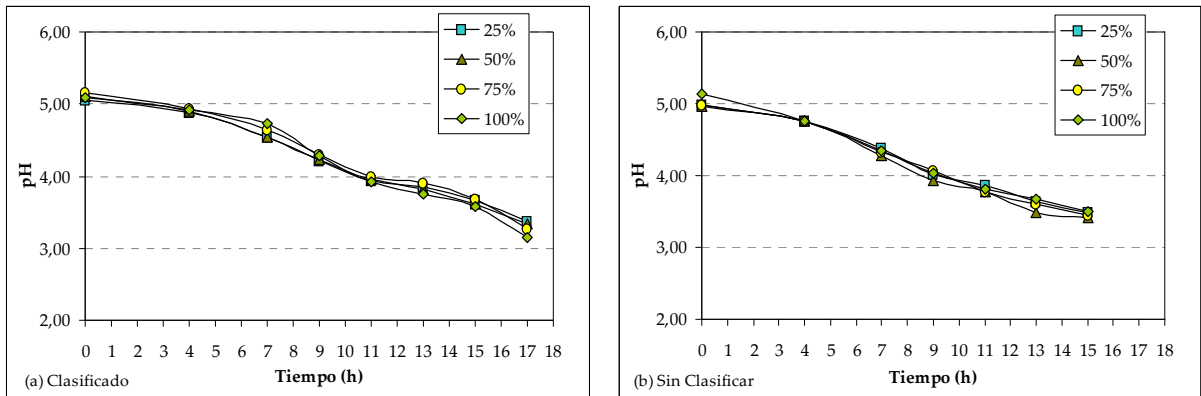
Figura 20. Comportamiento del promedio de pH (a) e Intervalos de confianza para el promedio en dos clases de materia prima (b)



Así mismo, se realizó el análisis para el comportamiento del pH para las masas de café en diferentes cantidades contenidas en los tanques de fermentación. La Figura 21, muestra que los valores promedio obtenidos para todos los tratamientos, en la cual se observa no

solo el mismo comportamiento, sino que son similares entre ellos, es decir no hay efecto de la altura de llenado sobre el pH de la masa. Lo anterior indica que una masa de café en fermentación presenta el mismo comportamiento en la disminución del pH, por tanto aumento de la acidez, independiente de la cantidad de café que se encuentre dentro del tanque.

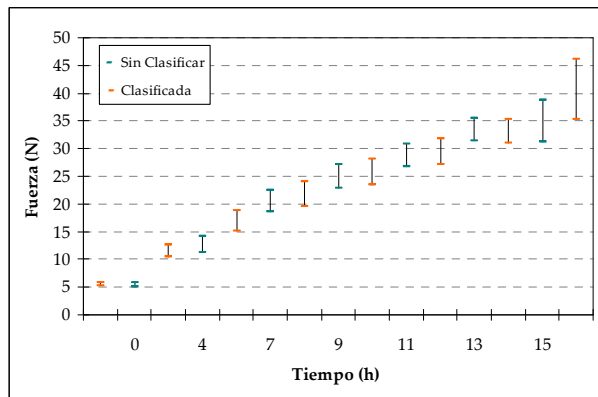
Figura 21. Comportamiento del pH de la masa de café en proceso de fermentación para diferentes alturas de llenado del tanque y dos clases de materia prima, a) Clasificado y b) sin clasificar.



5.5.3. Resistencia al punzonamiento.

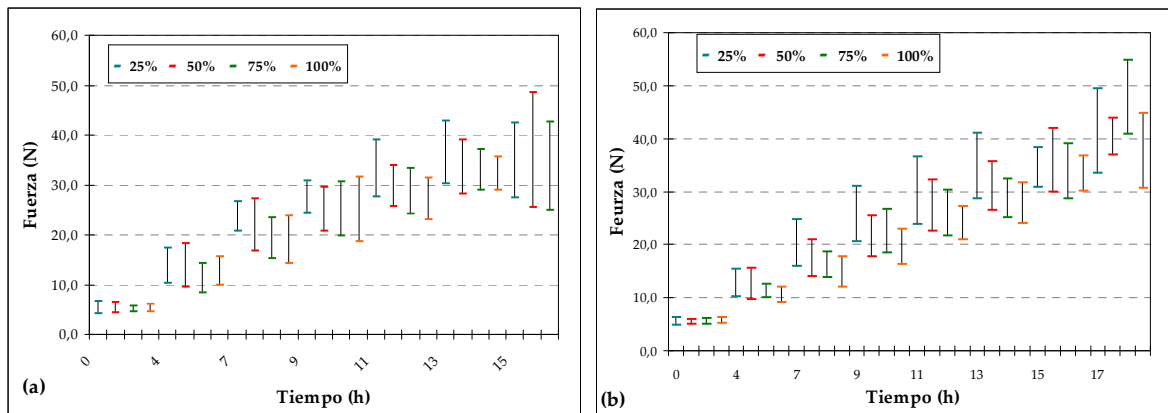
La Figura 22, muestra los intervalos de confianza obtenidos para el promedio de la fuerza (N) para las dos clases de materia prima con relación al tiempo de fermentación. La tendencia de los valores es monótonica creciente y no presenta diferencia con relación a la selección previa al despulpado. Los valores inician alrededor de 5N con estrechos intervalos de confianza y finalizan con medias entre 35,1 y 40,7 N, con mayor amplitud en los intervalos. Lo anterior indica que aumenta la resistencia al punzonamiento a medida que se desprende el mucílago y que no hay efecto de la calidad de la materia prima sobre la respuesta en fuerza.

Figura 22. Intervalos de confianza para el promedio de resistencia al punzonamiento de la masa de café en proceso de fermentación para dos clases de materia prima.



Así mismo, en la Figura 23, se observan los intervalos de confianza de la fuerza para los tratamientos en las cuatro alturas de llenado. Los intervalos muestran que no hay diferencias entre los valores de fuerza de punzonamiento, es decir la respuesta en esta variable no depende de la cantidad de café dentro del tanque. La variación en los valores de fuerza se hace mayor entre mayor degradación de mucílago haya en el proceso.

Figura 23. Intervalos de confianza para el promedio de resistencia al punzonamiento de la masa de café en proceso de fermentación para las cuatro alturas de llenado en (a) café sin clasificación y (b) café clasificado



El comportamiento observado podría atribuirse al efecto de lubricación del mucílago adherido a los granos en las primeras etapas del proceso de fermentación, permitiendo que la masa se comporte como un pseudofluido, comportamiento que cambia a medida que avanza el proceso, por la degradación del mucílago y la mayor fricción entre granos, alcanzado los valores más altos al final de la fermentación. Lo anterior podría ser tomado como una variable de diseño al momento de establecer un método de determinación

objetiva del punto de lavado, sin embargo se debe tener en cuenta que al final del proceso la variación se hace mayor y puede dificultar su determinación.

5.6. EVALUACIÓN DE MÉTODOS TRADICIONALES

Se presentan diferencias entre los métodos tradicionales para evaluar el punto de lavado, como se observa en la Tabla 13, según el análisis estadístico aplicado. El tiempo promedio obtenido con el método 1 (orificio en la masa) identifica el punto de lavado cuando el proceso de fermentación está en 7,29 h y con el método 2 (tacto) el tiempo promedio de punto de lavado ocurre a las 10,23 h de iniciado el proceso. Con ambos métodos el tiempo determinado de punto de lavado está distante del punto determinado con el método de referencia, que es de $15,5 \pm 0,9$ horas, es decir cuando la remoción de mucílago es superior al 97%.

Tabla 13. Tiempo de determinación del punto de lavado por los métodos tradicionales

Método Tradicional	Tiempo de punto de lavado (h)
1	7,29 A
2	10,23 B

Letras no comunes implican diferencia estadística al 5% según prueba de t.

Así mismo, en la Tabla 14, se observan los resultados del análisis de la prueba *t* al 5% aplicado a las respuestas de los métodos utilizados para identificar el punto de lavado de cada uno de los tratamientos contemplados en la investigación, los cuales fueron comparados con la respuesta obtenida en el tiempo de remoción de mucílago determinado mediante reacción con enzima pectinolítica.

El análisis de varianza realizado a esta variable mostró efecto de los tratamientos en los métodos evaluados presentando mayor tiempo de remoción en todos los tratamientos la determinación del punto de lavado mediante el método enzimático, con tiempos entre 14,6h y 16,4h.

Tabla 14. Promedios de tiempos de punto de lavado obtenidos con el método enzimático y los métodos tradicionales

Tratamiento	Método	Altura	Materia Prima	Enzimático (horas)	Punto lavado (horas)
1	1	25	Clasificada	16,4 A	7,78 B
2	1	25	Sin clasificar	15,0 A	6,64 B
3	1	50	Clasificada	16,4 A	7,86 B
4	1	50	Sin clasificar	15,0 A	6,52 B
5	1	75	Clasificada	16,2 A	7,25 B
6	1	75	Sin clasificar	14,6 A	6,85 B
7	1	100	Clasificada	16,25 A	8,5 B
8	1	100	Sin clasificar	15,4 A	6,94 B
9	2	25	Clasificada	16,4 A	10,61 B
10	2	25	Sin clasificar	15,0 A	9,22 B
11	2	50	Clasificada	16,4 A	10,63 B
12	2	50	Sin clasificar	15,0 A	9,58 B
13	2	75	Clasificada	16,2 A	10,67 B
14	2	75	Sin clasificar	14,6 A	9,83 B
15	2	100	Clasificada	16,25 A	11,23 B
16	2	100	Sin clasificar	15,4 A	9,97 B

Letras no comunes entre tratamientos implican diferencia estadística al 5% según prueba de t.

Lo anterior indica que los métodos utilizados para identificar el punto de lavado no son confiables y que no existe relación entre ellos independiente de la calidad de la materia prima y de la cantidad de café dentro del tanque.

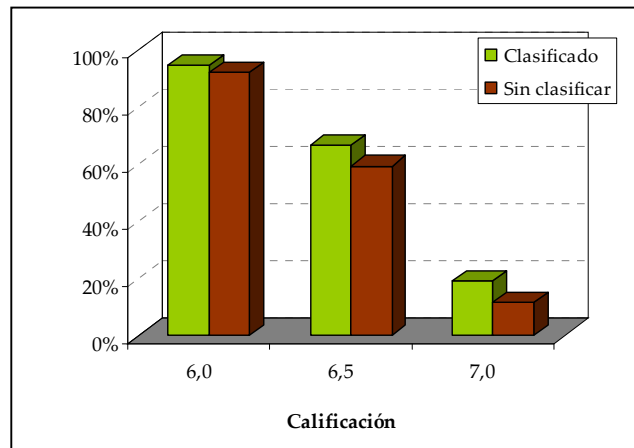
5.7. EFECTO SOBRE LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ

En el análisis sensorial del café se evalúan la intensidad y calidad de los atributos que conforman la calidad de la bebida, estos atributos fueron calificados por el panel de catación con una escala numérica entre 1 y 9, dónde se dan valores enteros como calificación siendo uno (1) bajo, cinco (5) es medio y nueve (9) es alto.

En el atributo Impresión Global se califica la calidad de la bebida en forma general (39), por tanto constituye uno de los más importantes para la evaluación de la taza. La Figura 24, muestra las proporciones de tazas con calificaciones por encima del nivel medio en este

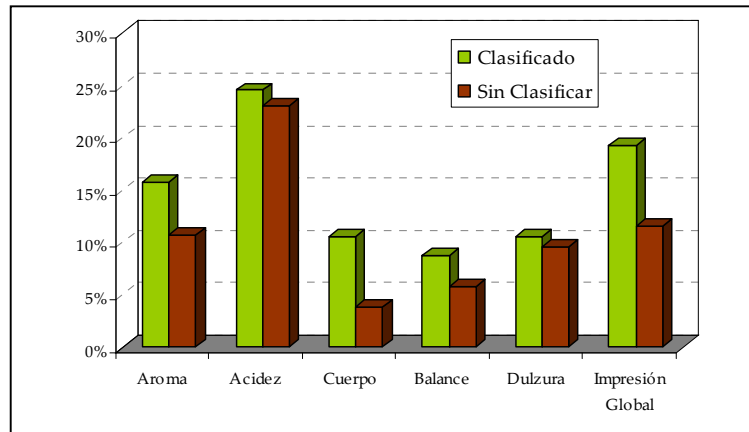
atributo, es decir de 6,0, 6,5 y 7,0. En general se observa que las tazas procedentes de tratamientos de café con clasificación previa al despulpado tienen mayor proporción que las que no fueron clasificadas. En efecto, el 94,8% y el 92,3% de las muestras de café clasificado y sin clasificación, respectivamente, presentaron calificación superior a 6,0, lo cual indica una calidad media normal. Sin embargo, la mayor la diferencia aritmética se presenta para tazas con calificación de impresión global superior a 7,0, dado que para café clasificado fue del 19,3% mientras que para el café sin clasificación fue solamente el 11,5%. Esto quiere decir el café que tiene clasificación previa tiene mayor posibilidad de presentar mejor calidad en taza.

Figura 24. Proporción de tazas en diferentes calificaciones para el atributo Impresión Global



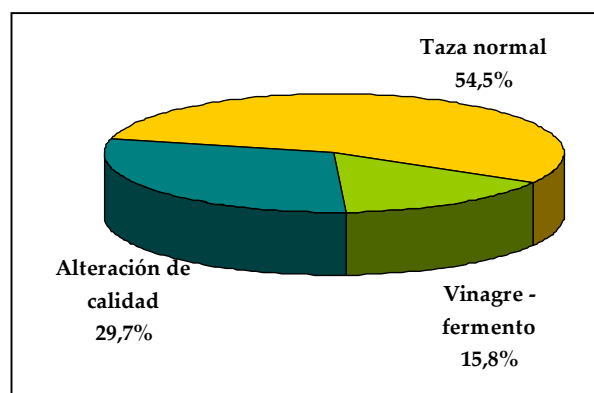
Al realizar el análisis por atributos, se observa que las muestras provenientes de café clasificado tienen, descriptivamente, mayor proporción de tazas calificadas por encima de 7,0, para todos los atributos. La acidez es el atributo con mayor proporción de tazas con esta calificación, 24,6 y 23,1% para café clasificado y sin clasificar respectivamente (Figura 25). Estos valores confirman que la clasificación del café previa al despulpado mejora las características sensoriales del café.

Figura 25. Proporción de tazas por atributo con calificación mayor a 7



Realizando el análisis de todas las muestras (Figura 26), se obtuvo que el 54,5% de las tazas presentaron una calificación entre regular y buena, este porcentaje corresponde a muestras de café con clasificación previa al despulpado y tiempo de fermentación con remoción del 97%. Se presenta un 29,7% de muestras que en su evaluación sensorial presentan alguna alteración de la calidad, en la cual no se rechaza la taza pero se presentan notas ásperas, astringentes y leñosas no agradables. La totalidad de estas tazas provienen de tratamientos de café sin previa clasificación y fermentación completa.

Figura 26. Proporción de tazas con defecto fermento, alteraciones de la calidad y calificación normal, según panel de catación de café.



Se observa también que el 15,8% de las tazas fueron rechazadas por presentar defectos como sabor vinoso desagradable, vinagre y fermento. Estas tazas corresponden a tratamientos que no tuvieron clasificación antes del despulpado y que presentaron tiempos de fermentación entre 18 y 21 horas, es decir de tres (3) a seis (6) horas más después de finalizar el proceso de fermentación que en promedio es de 15 horas para este tipo de café. Lo anterior indica que la falta de clasificación no solamente afecta la calidad de la bebida sino que además aumenta el riesgo de que se presenten defectos relacionados con una mala fermentación o retrasos en el lavado del café.

En la Tabla 15, se observan los valores mínimos y máximos de tiempo de fermentación, remoción de mucílago e impresión global de las tazas provenientes de 15 muestras de café con fermentación incompleta. Ninguna de las muestras presentó defecto fermento pese a que el café tenía una remoción entre 69 y 86%, con tiempos de fermentación entre 9 y 11 horas. La calificación fue de 6,5 en el 80% y mayor a 7,0 en el 13,3% de las tazas, en general las tazas presentaron una clasificación entre regular y buena.

Tabla 15. Calificación de la impresión global con fermentación incompleta

	Tiempo de fermentación (h)	Remoción de mucílago Promedio (%)	Calificación Impresión global
Mínimo	9,0	69,2	6,0
Moda	9,0	76,6	6,5
Máximo	11,0	85,8	7,0

La fermentación incompleta ha sido mencionada como una de las causas de defectos de la calidad del café (38), sin embargo, este resultado indica que el mucílago que queda por remover al final del proceso por fermentación incompleta se podría eliminar mediante un lavado vigoroso, evitando así riesgos para la calidad del producto. Se debe explorar las tolerancias en la cantidad de mucílago presente, que permite la remoción completa mediante un lavado vigoroso, sin que se ocasionen defectos.

6. CONCLUSIONES

El proceso de fermentación natural, llevado a cabo en tanques de polietileno bajo las condiciones ambientales de Cenicafé y con las variaciones en cantidad de café despulpado y calidad de los frutos de café, permitió concluir lo siguiente:

- En la clasificación hidráulica de los frutos de café antes del despulpado se retira un alto porcentaje de frutos secos e impurezas además de compuestos solubles del exocarpio y microorganismos que intervienen en el proceso de fermentación, comparado con el café sin clasificación, lo cual se refleja en el tiempo de fermentación requerido para obtener una remoción superior al 97%, siendo mayor para el café clasificado. Con lo anterior se rechaza la primera hipótesis de trabajo, dadas las diferencias de los tratamientos como se presentan en la Tabla 6.
- No se observó efecto de la altura de llenado del tanque con el tiempo de fermentación para obtener remoción de mucílago mayor a 97%. Es decir la cantidad de café dentro del tanque no influye sobre el proceso de fermentación, con lo cual se acepta la segunda hipótesis de trabajo.
- El proceso de remoción de mucílago a través de la fermentación natural tiene un comportamiento asintótico con relación al tiempo del proceso, que describe desde 0 hasta 100% de remoción. Sin embargo el modelo cuadrático $R = -(at)^2 + 2(at)$ explicó el mejor comportamiento con coeficientes de determinación entre 84,82% y 87,34% para el café clasificado y entre 86,02% y 90,65% para el café sin clasificación, superiores a 70%, condición que explica el buen ajuste del modelo.
- Adicionalmente, el tiempo con el que se obtiene una remoción de mucílago superior al 97%, presenta menos diferencia entre el modelo cinético cuadrático y el valor observado que entre el modelo cinético de primer orden y el valor observado, con lo cual se concluye que el modelo cuadrático tiene una buena predicción del punto final de la fermentación.
- Los métodos tradicionales utilizados por los caficultores para identificar el punto de lavado, determinaron erróneamente este punto, dando respuesta afirmativa antes de

remover completamente mucílago. Adicionalmente, los métodos evaluados presentaron diferencias entre ellos en el tiempo de respuesta, siendo mayor para el método del tacto. Con éstos tiempos, se tenían porcentajes de remoción en promedio de 58% y 74% para el método 1 y 2 respectivamente, con lo cual se acepta la tercera hipótesis de trabajo.

- Por lo anterior se concluye también, que el gran margen de error en la identificación del punto de lavado con los métodos tradicionales, puede estar ocasionando defectos en la calidad por realizar el lavado de la masa de café con fermentaciones incompletas.

Las respuestas obtenidas en las variables complementarias, indican que:

- La temperatura de la masa de café aumenta conforme avanza el proceso de fermentación, debido a que las reacciones bioquímicas que producen los microorganismos son exotérmicas en condiciones aeróbicas. La principal diferencia por tratamientos se observa en la clasificación de la materia prima, dado que, el diferencial de temperatura de la masa con el ambiente alcanza valores de 14,7°C al finalizar el proceso para los tratamientos sin clasificación previa al despulpado, mientras que en los tratamientos con clasificación las máximas diferencias obtenidas fueron de 8,7°C.
- La clasificación hidráulica disminuye la temperatura de la masa lo cual incide en el tiempo de fermentación. Cuando no se separan las impurezas y los frutos de inferior calidad, se generan condiciones de temperatura que favorecen la acción de los microorganismos sobre el sustrato, logrando una degradación del mucílago en menor tiempo.
- Los valores de pH obtenidos no mostraron diferencias por efecto de la clasificación del café o de la cantidad de café dentro del tanque. Los promedios que esta variable presenta en la fermentación están entre 5,00 y 3,27 desde el inicio hasta el final del proceso.
- El comportamiento de la fuerza de punzonamiento aplicada a la masa de café, presenta tendencia lineal ascendente con relación al tiempo de proceso, sin que se presente efecto de la clasificación previa al despulpado, ni de la altura de llenado de los

tanques. Por lo anterior, la respuesta en esta variable puede ser tomada como un indicador para desarrollar un método objetivo para determinar el punto de lavado.

- La clasificación hidráulica de los frutos de café mostró efecto positivo sobre la calidad del producto final. En la evaluación de la calidad, la bebida obtenida mediante el análisis sensorial, se observó que la mayor cantidad de tazas calificadas con el atributo Impresión Global mayor a 6, corresponden a los tratamientos con clasificación previa al despulpado. Así mismo, el porcentaje de tazas con algún tipo de defectos provienen de muestras tomadas de los tratamientos sin clasificación, evidenciando la importancia de realizar esta operación dentro del proceso de beneficio para evitar el deterioro de la calidad del café.
- Las muestras de café que presentaron el defecto vinagre o fermento corresponden a tratamientos sin clasificación y tiempos de fermentación después de remoción de mucílago completa, entre 3 y 6 horas adicionales, lo que indica que el café sin clasificación es más susceptible de deterioro en calidad por sobrefermentación, debido al menor tiempo de remoción.

7. RECOMENDACIONES

Con el desarrollo de esta investigación se abrieron nuevas posibilidades de investigación en esta etapa de beneficio, por tanto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Evaluar el principio de la resistencia al punzonamiento en busca de un método objetivo para determinar el punto de lavado de café en fermentación.
- Evaluar diferentes porcentajes de remoción incompleta efectuando lavado vigoroso el generado mediante la acción mecánica a la masa, de modo que se puedan establecer tolerancias de remoción sin afectar la calidad final del café.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones orientadas a realizar un lavado mecánico de la masa de café con remoción incompleta de mucílago, con el fin de garantizar una calidad homogénea sin que se generen granos defectuosos.
- Empezar investigaciones con el fin de establecer el efecto de la temperatura ambiente en la que se efectúa el proceso, lo mismo que el efecto del material de construcción del tanque, sobre el tiempo de fermentación con remoción de mucílago superior al 97%.
- Estudiar con mayor profundidad la termodinámica de las reacciones bioquímicas en la fermentación de mucílago de café, con el fin de establecer un proceso en tanques reactores con condiciones controladas, en busca de nuevas calidades de café, vía fermentación natural.

ANEXO 1
 Caracterización del mucílago de café utilizado como materia prima
 para la producción de pectinas.

Muestra	pH	Humedad	Grados BRIX	Azúcares Reductores	Azúcares Totales	Nitrógeno Total Kjeldahl	Contenido Pectina	Contenido Pectina	Sólidos Totales
		(%)	(%)	(%bs)	(%bs)	(%bs)	(% bh)	(% bs)	(ppm)
M1	4,13	90,80	10,90	70,11	91,52	1,76	0,57	6,22	104460
M2	4,65	91,07	8,40	63,94	77,16	1,48	0,98	10,95	88192
M3	4,69	91,86	6,50	49,14	65,48	1,14	1,07	13,12	74104
M4	4,66	93,24	9,20	84,47	94,67	2,14	0,76	11,19	88004
M5	4,86	91,56	8,80	69,67	74,53	1,40	0,87	10,34	100412
M6	4,32	92,93	7,80	78,50	82,46	1,45	0,78	11,02	73872
M7	4,98	91,93	8,70	60,35	77,94	1,50	1,00	12,45	93512
M8	4,59	91,68	8,60	54,57	82,81	1,26	0,94	11,35	88892
M9	4,01	92,63	6,10	53,05	60,24	1,49	0,68	9,21	90324
M10	4,63	89,70	10,80	71,84	81,75	1,26	0,99	9,65	67488
M11	4,47	93,10	7,30	65,51	93,48	1,50	0,49	7,14	71820
M12	4,27	95,80	8,50	57,36	61,43	2,48	0,70	16,63	54240
M13	4,30	95,70	9,20	61,16	64,42	0,22	0,82	19,08	55400
M14	4,21	89,40	9,80	57,74	76,23	1,84	0,49	4,60	37708
M15	4,16	94,70	8,90	78,49	99,81	1,89	0,65	12,26	60240
M16	4,13	91,07	8,70	58,90	83,65	1,81	0,79	8,80	92940
M17	4,32	91,50	9,40	61,88	77,76	1,67	1,00	11,72	95556
M18	4,61	91,02	9,80	50,56	89,98	1,47	1,06	11,82	102540

Nomenclatura:

M1, 2, 3, 4: Réplica de mucílago

%bh: Porcentaje en base húmeda

%bs: Porcentaje en base seca

(s): Soluble

ppm: Partes por millón

Fuente: RODRÍGUEZ V., N. (1999). Avances del Experimento QIN-08-02. Obtención de pectinas a partir de la pulpa y el mucílago del café. In: Informe anual de actividades 1998-1999. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial. 90 p.

ANEXO 2

RESOLUCION NUMERO 5 DE 2002 (Junio 6)

Por medio de la cual se modifica la Resolución No. 02 de 2002 del
Comité Nacional de Cafeteros.

EL COMITE NACIONAL DE CAFETEROS

En uso de sus atribuciones y en especial de las que le confiere la Ley 9 de 1991 y

CONSIDERANDO

1. Que de conformidad con el Artículo 23 de la Ley 9 de 1991, corresponde al Comité Nacional de Cafeteros dictar las medidas conducentes a garantizar la calidad del café de Exportación, las cuales deberán ser observadas, tanto por la Federación Nacional de Cafeteros como por los exportadores privados.
2. Que la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, deberá vigilar el cumplimiento de estas medidas y sus decisiones serán apelables ante el Comité Nacional de Cafeteros

RESUELVE:

ARTICULO 1º.

Establécense como requisitos mínimos de calidad para la exportación de café verde en almendra los siguientes:

1. Excelso de Exportación.

Compuesto de grano grande, principalmente plano, parejo, retenido por encima de malla catorce (14), con tolerancia del uno punto cinco (1,5) por ciento (%) inferior a esa malla, pero retenido por la malla doce (12), de esmerado beneficio y debidamente seleccionado. En todo caso este café debe tener por lo menos un cincuenta (50) por ciento (%) de granos retenidos sobre la malla quince (15), de acuerdo con lo previsto en las normas de la Green Coffee Association of New York City, Inc.

2. Caracol.

Comprende el café excelso de la clase conocida con este nombre, de tamaño grande, mediano y pequeño, retenido por la malla doce (12), debidamente seleccionado. Con tolerancia de hasta diez (10) por ciento (%) de grano plano.

3. Humedad

No debe sobrepasar del doce (12) por ciento (%), medida en equipos basados en la constante dieléctrica del café, calibrados previamente según método de estufa ISO 6673 a ciento cinco (105) grados centígrados, con peso de la muestra no inferior a cuatrocientos (400) gramos.

4. Defectos

Para los tipos de café de exportación, la clasificación de defectos se hace según la tabla de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia así:

4.1 Defectos del primer grupo son los siguientes: negros llenos, parciales o secos, vinagres enteros o parciales, reposados amarillos o carmelitas y ámbar o mantequilla.

4.2 Defectos del segundo grupo son los siguientes: flojo, cardenillo, decolorado (veteado y blanqueado), mordido o cortado, picado por insectos, sobresecados o quemados, partido, malformado o deformado, inmaduro, aplastado, flotador o balsudo, averanado o arrugado.

4.3 Procedimiento de Análisis: Se analizarán quinientos (500) gramos de muestra de café verde en almendra para la clasificación de los defectos, admitiéndose el siguiente límite máximo:

Hasta setenta y dos (72) granos defectuosos por quinientos (500) gramos de muestra, sin exceder de doce (12) granos del primer grupo.

5. Compensación por grano brocado:

Se autoriza la presencia de granos ligeramente brocados por encima de los límites anteriores de la siguiente manera:

5.1 Defínese como “grano ligeramente brocado” aquel que presente una sola perforación y no tenga daño visible –como zonas oscuras alrededor de ella- y que además no presente orificio de salida.

5.2 Autorízase que hasta diez (10) granos de los defectos de los clasificados en el primer grupo sean reemplazados por su equivalente en granos ligeramente brocados. Con el propósito de calificar la calidad del café de exportación, establécese una equivalencia de diez (10) granos ligeramente brocados por cada grano defectuoso del primer grupo que se deduzca de los límites máximos establecidos para una muestra de quinientos (500) gramos de café verde en almendra.

5.3 Autorízase que hasta veinte (20) granos de los defectos de los clasificados en el

segundo grupo sean reemplazados por su equivalente en granos ligeramente brocados. Con el propósito de calificar la calidad del café de exportación, establécese una equivalencia de dos (2) granos ligeramente brocados por cada grano defectuoso del segundo grupo que se deduzca de los límites máximos establecidos para una muestra de quinientos (500) gramos de café verde en almendra.

5.4 En aplicación de lo señalado en los numerales 5.1 a 5.3, la muestra de quinientos (500) gramos de café verde en almendra podrá tener hasta dos (2) granos del primer grupo, hasta cuarenta (40) granos del segundo grupo y hasta ciento cuarenta (140) granos ligeramente brocados.

5.5 Los granos del primer grupo que estén perforados por broca seguirán formando parte del primer grupo, prevaleciendo el defecto mayor o sea negro, vinagre, reposado, ámbar o mantequilla.

5.6 Granos que tengan más de un orificio de broca o mayor daño (mancha oscura), seguirán siendo cuantificados como granos defectuosos del segundo grupo.

6. Infestación

El café debe estar libre de todo insecto vivo. En la eventualidad de tener grano perforado por insectos, se aplicarán los procedimientos y tolerancias aplicadas por la FDA (Foods and Drugs Administración), si el café va destino al mercado norteamericano, o por la ISO (International Standarization Organization), si se tiene un nivel crítico de probabilidad especificado en el contrato.

7. Olor

El café deberá tener su olor característico. En caso que el mismo presente un claro olor extraño o algún signo que implique una contaminación del producto, el café no será exportable.

8. Color

El café deberá tener una apariencia uniforme en color; en caso que presente mezcla de colores no se autoriza su exportación.

9. Prueba de taza

El café deberá tener sabor y aroma característico, debiendo estar libre de sabores defectuosos como fermento, producto químico, moho, etc.

10. Marcaciones adicionales

El exportador y su cliente final pueden acordar libremente las condiciones en el tamaño de los granos y en el contenido de defectos en el café de exportación, siempre que cumplan

con las condiciones mínimas establecidas en los numerales anteriores. Estas condiciones no serán verificadas en los controles de calidad salvo cuando los sacos estén marcados y se manifieste expresamente que se trata de café Premium, Supremo, Extra o Maragogipe, como se definen a continuación.

10.1 Premium

Compuesto de grano grande, principalmente plano, parejo, retenido por encima de malla dieciocho (18), con tolerancia del (5) por ciento (%) inferior a esa malla, pero retenido por la malla catorce (14), de esmerado beneficio y debidamente seleccionado.

10.2 Supremo

Compuesto de grano grande, principalmente plano, parejo, retenido por encima de malla diecisiete (17), con tolerancia del (5) por ciento (%) inferior a esa malla, pero retenido por la malla catorce (14), de esmerado beneficio y debidamente seleccionado.

10.3 Extra

Compuesto de grano grande, principalmente plano, parejo, retenido por encima de malla dieciséis (16), con tolerancia del (5) por ciento (%) inferior a esa malla, pero retenido por la malla catorce (14), de esmerado beneficio y debidamente seleccionado.

10.4 Maragogipe

Comprende la calidad o variedad conocida con este nombre, de tamaño grande, mediano o pequeño, sin caracol, retenido por la malla diecisiete (17) con tolerancia del (5) por ciento (%) inferior a esa malla, pero retenido por la malla catorce (14), de esmerado beneficio y debidamente seleccionado.

ARTICULO 2º

La presente Resolución rige a partir de la fecha de su expedición y deroga las disposiciones que le sean contrarias, y en especial las contenidas en la Resolución del Comité Nacional No.2 de 2002.

Aprobada en Bogotá a los seis (6) días del mes de junio del año dos mil dos (2002).

EL PRESIDENTE

EL SECRETARIO,

ANEXO 3

Tasa de remoción de mucílago vs. tiempo, para los tratamientos sin y con clasificación

Tiempo	Sin clasificación				Con clasificación			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
0	10,8	10,4	9,9	9,7	9,2	9,7	9,4	9,1
1	10,2	9,9	9,4	9,2	8,8	9,2	8,9	8,7
2	9,6	9,3	8,9	8,7	8,4	8,7	8,5	8,3
3	9,1	8,8	8,4	8,3	8,0	8,3	8,1	7,9
4	8,5	8,2	7,9	7,8	7,5	7,8	7,6	7,4
5	7,9	7,7	7,4	7,3	7,1	7,3	7,2	7,0
6	7,3	7,2	7,0	6,9	6,7	6,9	6,7	6,6
7	6,7	6,6	6,5	6,4	6,2	6,4	6,3	6,2
8	6,1	6,1	6,0	5,9	5,8	5,9	5,9	5,8
9	5,6	5,5	5,5	5,5	5,4	5,5	5,4	5,4
10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
11	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
12	3,8	3,9	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
13	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,6	3,7	3,7
14	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3	3,1	3,2	3,3
15	2,1	2,3	2,6	2,7	2,8	2,7	2,8	2,9
16	1,5	1,7	2,1	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5
17	0,9	1,2	1,6	1,7	2,0	1,7	1,9	2,1

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMACAFÉ S.A. Defectos del café y su incidencia en taza. Capacitación a Cenicafé. Manizales (Colombia). Almacafé, sede Manizales. Marzo de 2007.
2. ÁLVAREZ G., J. Remoción de mucílago. En: Fundamentos de Beneficio. Centro Nacional de Investigaciones de café –Cenicafé. 1991. Pags 46 – 55.
3. ARIAS C. Manual de manejo: Poscosecha de granos a nivel rural" FAO Oficina regional de la FAO para América Latina y el caribe. Santiago, Chile 1993.
4. ARISTIZÁBAL A., C.; DUQUE O., H. Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. Cenicafé (Colombia). 2005. Volumen 56 Nro. 4, pags 299-318.
5. ARISTIZÁBAL A., C.; DUQUE O., H. Determinación de economías de escala en el proceso de beneficio del café en Colombia. Cenicafé (Colombia). 2006. Volumen 57 Nro. 1, pags 17-30.
6. AVALLONE S., BRILLOUET, J. M., GUYOT B., OLGUIN E., GUIRAUD J.P. Involvement of pectolitic micro-organisms in coffee fermentation. International journal of food science and technology. 2002. 37, pags 191 – 198.
7. BAKER, P.S., DUQUE O., H. Guía para la caficultura sostenible en Colombia. Un trabajo articulado con los caficultores, extensionistas y la comunidad. Chinchiná, Colombia. Cenicafé 2007. 312 p.
8. CALLE V., H. Algunos métodos de desmucilaginado y sus efectos sobre el café en pergamino. Revista Cenicafé (Colombia). Pags 3 – 11. 1965.
9. CALVERT Ken C. The Microbiology of Coffee Processing. Part 1. published in the PNGCRI Coffee Research Newsletter. 1998. En línea: <http://www.coffee.20m.com/MICROBL1.htm>
10. CALVERT Ken C. The Microbiology of Coffee Processing. Part 2. published in the PNGCRI Coffee Research Newsletter. 1998. En línea: <http://www.coffee.20m.com/MICROBL2.htm>

11. CLEVES, R. Tecnología en beneficiado de café. Tecnicafé internacional. S.A. San José de Costa Rica, 1998. 2 ed. Impresora Tica S.A. 223 p.
12. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. Cartilla Cafetera Tomo II. Federación Nacional de Cafeteros – Centro Nacional de Investigaciones de Café. Octubre de 2004. Pags: 162 – 163.
13. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. División Técnica. La calidad del café. Trabajo Exploratorio Nacional sobre la prueba de taza. Documento PDF. 42 p. 2004.
14. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. Resumen del Informe Anual de Actividades 2006. pags 92 –96.
15. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. LXX Congreso Nacional de Cafeteros 26, 27 y 28 de noviembre 2008. Bogotá D.C. Informe del Gerente General, pag 13
16. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Plan estratégico 2008-2012. Documento pdf. Documento interno 45 p. 2008.
17. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Sobre el café. Un Producto Especial. Poscosecha. En línea: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/post-cosecha/El_beneficio_del_café: Consultado en febrero 2009.
18. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Nuevo Esquema de Calificación del Café. Documento pdf. Marzo 2009. 14 p.
19. GARCÍA C., J.; RAMÍREZ V., J. Sostenibilidad económica de las pequeñas explotaciones cafeteras Colombianas. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Ensayos sobre economía cafetera Nro. 18. 2002, pags 1-18.
20. GRAAFF, J. DE. The economist of coffee. Wageningen, PUDOC, 1986. 294 p.
21. JACKELS, S.C.; JACKELS, C.F.; VALLEJOS, C.; KLEVEN, S.; RIVAS, R.; FRASER D., S. Control of the Coffee Fermentation Process and Quality of Resulting Roasted Coffee: Studies in the Field Laboratory and on Small Farms in Nicaragua During the 2005-06 Harvest. COLLOQUE Scientifique International sur le Café, 21. Montpellier (Francia), Septiembre 11-15, 2006. París Francia, ASIC, 2006. p. 434-442.

22. LOZANO, N. La prima de Colombia en el café verde. Información de economía cafetera. Federación Nacional de cafeteros. Bogotá (Colombia). 2002. 11 p.
23. LOZANO K., A. Relaciones de tamaño, producción y trabajo en las fincas cafeteras colombianas. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Ensayos sobre economía cafetera Nro. 23. 2007. Pags: 85 – 106.
24. MARÍN L., Sandra M. Caracterización de los estados de maduración del fruto de café. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas, Facultad de ciencias Agropecuarias, Programa de Agronomía, 2003. 105p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
25. MEJIA G., C. A. Evaluación del desempeño técnico y ambiental del desmucilagador de café con rotor de varillas. SANTIAGO DE CALI. (Colombia), Universidad del Valle. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira. Facultad de Ingeniería, Ingeniería Agrícola, 2006. 103 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola)
26. MENCHÚ J.F., ROLZ C. Coffee fermentation Technology. Café Cacao The. Volúmen XVII. Nro. 1, enero-marzo de 1973.
27. MONTILLA P., J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2006. 107 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
28. MULLER, H.G., Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza España. 1973. ISBN: 84 200 0401-4. 173 pp.
29. MUÑOZ, L. G. Editorial: La producción cafetera en Colombia en 2009. Federación Nacional de Cafeteros. Ensayos sobre economía cafetera Nro. 25. 2009. Pags 7 – 10.
30. OLIVEROS T., C.E., GUNASEKARAN G. C. Caracterización reológica del mucílago de café y de las suspensiones mucílago-café en baba y mucílago-café pergamino húmedo. Cenicafé (Colombia) Volumen 45 Nro. 4 pags: 125 –136. 1994.
31. OLIVEROS T., C.E., SANZ U., RAMÍREZ G., C.A. MEJIA G., C.A. Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfín. Avance Técnico Nro. 360. Centro Nacional de Investigaciones del Café – Cenicafé. 8 p. Junio de 2007.

32. OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M. A.E.; SANZ U. J.R.; RAMÍREZ G. C.A. Primer Encuentro Nacional de comercialización de café húmedo. Cenicafé 21 de agosto de 2009. 31 p.
33. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. FAO. Roma, Italia. En línea: http://www.coffee-ota.org/glossary.asp?lang=es#P151_29560. (Consultado diciembre de 2006).
34. PEÑUELA, M. A.E. Informe Anual de Actividades. Sep 2005 – Oct 2006. Centro Nacional de investigaciones de café - Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Oct. 2006. 8 p.
35. PERDOMO, J.A.; HUETH D.; MENDIETA, J.C. Factores que afectan la eficiencia técnica del sector cafetero colombiano: Una aplicación con análisis envolvente de datos. Federación Nacional de Cafeteros. Ensayos sobre economía cafetera Nro. 22. 2006. Pags: 121 – 140.
36. PUERTA, Q. G.I., El beneficio y la calidad del café. Centro Nacional de Investigaciones de café - Cenicafé. Documento interno. Chinchiná, mayo de 1995. 40 p.
37. PUERTA Q., G.I. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. Cenicafé (Colombia) 50(1):78-88. 1999.
38. PUERTA, Q. G.I., Buenas Prácticas de Beneficio para garantizar la buena calidad de la bebida del café, Chinchiná, Cenicafé. Documento interno. 9 p, 2000.
39. PUERTA, Q. G.I., Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. Avance Técnico Nro. 284. Centro Nacional de Investigaciones del Café – Cenicafé. ISSN – 0120 – 0178. 8 p. Febrero de 2001.
40. PUERTA, Q. G.I., Buenas Prácticas Agrícolas para el café. Avance Técnico Nro. 349. Centro Nacional de Investigaciones del Café – Cenicafé. ISSN – 0120 – 0178. 12 p. Julio de 2006.
41. ROA M, G.; OLIVEROS T., C.E.; ALVAREZ G., J.; RAMIREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DAVILA A., M.T.; ALVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRIGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1.999. 273p.
42. RODRÍGUEZ V., N. Avances del Experimento QIN-08-02. Obtención de pectinas a partir de la pulpa y el mucílago del café. In: Informe anual de actividades 1999. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial. 90 p.

43. RODRIGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente. Valencia (España) 2009. (Tesis: Doctor).
44. ROLZ C. Coffee fermentation studies. ASIC 5o Colloque, Lisboa. 1972.
45. SERNA M. C.A. Desarrollo sostenible, economía ambiental y economía ecológica. Universidad de Manizales. Segunda Edición, mayo 2005. 169 p.
46. SERVICIO DE EXTENSIÓN - COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE CALDAS. Cartilla Calidad del Café. 2009. 12 p.
47. SISTEMA DE INFORMACIÓN CAFETERA. SICA. Federación Nacional de Cafeteros. 2008.
48. SIVETZ, M., FOOTE, H.E., Coffee Processing Technology. Volume One. Fruit – Green, Roast and soluble Coffee. The avi publishing Company, INC. Connecticut, United States of America. 1963. 583p.
49. WILBAUX, R. Beneficio del café. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. FAO. Roma, Italia. Boletín no oficial de trabajo Nro. 20. Pags 63 – 88. 1972.
50. WOOD, B.J.B. Microbiology of fermented foods. Londres (Inglaterra), Blackie Academic and Professional, 1998.
51. WOOTTON, A.E. The fermentation coffee. Nairobi, East African Industrial Research Organization, 1963. (report Nro. 12).
52. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafé 45(3):106-118. 1994.
53. ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P. A.; ZAMBRANO G., A.J. Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Boletín Técnico N° 29. 2006. Chinchiná, Cenicafé. 28 p.