

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL
GRANO DE CAFÉ ESPECIAL EN LA FINCA “PATIO BONITO” VEREDA LA
CAMPIÑA EN EL MUNICIPIO DE CALDONO -CAUCA**



ERIKA JULIETH CASTILLO ALARCÓN

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2017**

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL
GRANO DE CAFÉ ESPECIAL EN LA FINCA “PATIO BONITO” VEREDA LA
CAMPIÑA EN EL MUNICIPIO DE CALDONO-CAUCA**

ERIKA JULIETH CASTILLO ALARCÓN

**Trabajo de investigación para optar al título de
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

Directora

Mg. DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2017**

Nota de aceptación

La Directora y los Jurados han revisado el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

M.Sc. DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ
Directora

Presidente del Jurado

Jurado

Popayán, ____ de _____ del 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar, a Dios por estar presente todos los días de mi vida, por darme salud, perseverancia y paciencia para lograr cada una de mis metas propuestas. También, lo dedico a mis padres, porque son la luz de mi vida y por su apoyo incondicional y a mis hermanos futuros profesionales por su compañía y amor.

AGRADECIMIENTOS

Doy mis más sinceros agradecimientos a:

La profesora Deyanira Muñoz Muñoz, directora de este trabajo de investigación, por su tiempo dedicado y su colaboración en el presente trabajo,

A la ingeniera Paola Yuliana Trujillo Paz y a su familia por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en la finca "PATIO BONITO" y aprender sobre el mundo del café,

A la empresa BENEXPORT Popayán, expreso mi reconocimiento especial y mi gratitud por su aporte en conocimientos sobre cafés especiales.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 GENERALIDADES DEL CAFÉ	15
1.1.1 Características del café	15
1.1.2 Café especial	18
1.2 FERMENTACIÓN	20
1.2.1 Tipos de fermentación en el café	20
1.2.2 Remoción del mucílago del café	21
1.2.3 Características del mucílago o mesocarpio	22
1.3 SECADO	24
1.3.1 Secado de la almendra del café	24
1.3.2 Características de la almendra de café seco	27
1.3.3 Métodos de secado	29
1.3.4 Equipos de secado	30
1.4 CINÉTICA DEL SECADO	31
1.4.1 Mecanismos físicos de secado	32
1.4.2 Velocidad de secado	32
1.4.3 Tiempo de Secado	34

2 METODOLOGÍA	35
2.1 REVISIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO	35
2.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CAFÉ	35
2.2.1 Características de materia prima	35
2.2.2 Mucílago del café	35
2.2.3 Almendra del café	36
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	36
2.4. FASE EXPERIMENTAL Y MEDICIÓN DE VARIABLES	38
2.4.1 Proceso de fermentación del mucilago	38
2.4.2 Proceso de secado de la almendra	38
2.5 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO	39
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
3.1 PROCESO DE FERMENTACIÓN	40
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA EN FERMENTACIÓN	42
3.2.1 Comportamiento de las variables físicas del mucílago	42
3.2.2 Tiempo de fermentación	47
3.3 PROCESO DE SECADO	47
3.4 CINÉTICA DE SECADO DE LA ALMENDRA DE CAFÉ	49
3.4.1 Velocidad de secado	49
3.4.2 Tiempo de secado	51
3.5 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO	54

4. CONCLUSIONES	60
5. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro1. Características de dos especies de café	17
Cuadro 2. Cualidades sensoriales en el café	18
Cuadro 3. Clasificación de cafés especiales	18
Cuadro 4. Tipos de fermentación y sus productos industriales	21
Cuadro 5. Composición química del mucílago café en base seca	23
Cuadro 6. Olores del mucílago de café de fermentaciones de café a 20°C	23
Cuadro 7. Defectos del café pergamino seco	28
Cuadro 8. Promedios de la composición química del grano de café almendra	29
Cuadro 9. Métodos de secado	29
Cuadro 10. Secadores solares y mecánicos	30
Cuadro 11. Fases principales de secado	32
Cuadro 12. Resumen del diseño experimental	37
Cuadro 13. Infraestructura y actividades en cosecha y fermentación	40
Cuadro 14. Propiedades teóricas y experimentales promedias en mucílago	43
Cuadro 15. Resultados de análisis Anova	47
Cuadro 16. Observaciones del proceso secado	48
Cuadro17. Velocidad de secado en las unidades experimentales	49
Cuadro 18. Anova	50

Cuadro 19. Duración del secado en las unidades experimentales	51
Cuadro 20. Datos transformados	52
Cuadro 21. Anova	53
Cuadro 22. Sistemas existentes y acciones de mejora	55
Cuadro 23. Sistemas y costos del mejoramiento de los procesos	57
Cuadro 24. Nomenclatura del diagrama de mejora del proceso de fermentación y secado	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Forma del cafeto para llegar a café cereza	16
Figura 2. Partes de la semilla de café cereza	16
Figura 3. Alternativas de sacamiento de café	25
Figura 4. Rendimiento exportable de café	28
Figura 5. Curva típica de humedad contra tiempo	33
Figura 6. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre	33
Figura 7. Diagrama de bloques del proceso de fermentación	41
Figura 8. Comportamiento del pH del mucílago de café	44
Figura 9. Comportamiento °Brix del mucílago de café	45
Figura 10. Comportamiento temperatura del mucílago de café	46
Figura 11. Diagrama de bloques proceso de secado	48
Figura 12. Efectos principales para velocidad de secado	51
Figura 13. Efectos principales para transformados	53
Figura 14. Diagrama de mejora del proceso de fermentación y secado	59

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Método Fermaestro Cenicafé	69
Anexo B. Protocolo método gravimétrico Cenicafé	70
Anexo C. Lista de chequeo	71
Anexo D. Prueba de catación año 2014	73
Anexo E. Datos fermentación del mucílago.	74
Anexo F. Datos experimentales del tiempo de fermentación	75
Anexo G. Análisis estadístico (Minitab 16)	81
Anexo H. Pérdida de peso en el tiempo, velocidad de secado según el tipo de secador y sitios de procedencia definidos en diseño experimental	83
Anexo I. Curvas de secado según el tipo de secador y sitios de procedencia definidos en diseño experimental	85
Anexo J. Los datos experimentales del tiempo de secado	88
Anexo K. Datos de la prueba de secado directo experimental realizado en laboratorio	90

RESUMEN

Los exportadores de café deben cumplir con las exigencias de calidad en los mercados nacionales e internacionales, en el departamento del Cauca un inconveniente a esto son los procesos no tecnificados específicamente en las etapas de fermentación y secado que afectan la calidad del café especial. En esta investigación se evaluaron las condiciones del proceso de fermentación y secado del café, que influyen en la clasificación de café (especial y corriente) de la finca “Patio Bonito” en el municipio de Caldono – Cauca. Se aplicó un diseño experimental de bloques completamente al azar, en arreglo factorial aplicando aleatoriedad a 10 unidades experimentales.

Se encontró las condiciones de operación para el proceso de fermentación del mucílago del café en el tanque, que presentó valores promedios de pH que inicia en 5,38 y finaliza en 3,30, °Brix inicia en 17,45 y finaliza en 12, la temperatura inicia en 17,15°C y finaliza en 23,88°C y el tiempo de fermentación está en un rango de 20,49 a 24,50 horas. En el proceso de secado se obtuvo un tiempo de 1,96 a 6,96 días y velocidad de secado en un rango de 0,0174 a 0,1388 kg agua/hr.m², las cuales son condiciones que garantizan la comercialización del 52% del café especial y 48% café corriente. Se concluye que el secador parabólico con plancha en el piso (S2) es eficiente para secar café cultivado con sombrío, con una duración estimada de secado de 4,38 días.

Palabras claves: Pergamino, Fermentación, pH, °Brix, Secado.

INTRODUCCIÓN

Las estadísticas de la Federación Nacional de Cafeteros (2012), reportan aproximadamente 560.000 familias cafeteras, las cuales se enfrentaron durante las últimas tres décadas a dificultades en la producción y comercialización del café. Las principales dificultades se relacionan con la caída del precio internacional (el precio internacional del grano cayó en 39,2% al pasar de 2,27 dólares la libra, el 2 de enero de 2012 a 1,38 dólares la libra, el 10 de diciembre del mismo año), la revaluación del peso, el descenso en la cantidad y calidad de café producido, problemas fitosanitarios acrecentados por los cambios climáticos. Todo ello se reflejó en una reducción de 42,6% en los ingresos de los caficultores y pérdidas para los cultivadores, en más un billón de pesos desde 2009, (Federación Nacional De Cafeteros, 2012).

El café es la base de la economía para el municipio de Caldono en el departamento del Cauca y por lo tanto la principal opción de empleo e ingresos económicos de la población, con el transcurrir del tiempo los caficultores están en busca de mejores precios para su producto, la incursión en el mercado de cafés especiales es un segmento del mercado que ofrece una mejor retribución por calidad del café (Plan de desarrollo Municipal, 2015).

Teniendo en cuenta las exigencias para la exportación de café y siendo el municipio de Caldono una de las regiones productoras de café de la región Norte del Cauca, se ve la necesidad de mejorar las condiciones del proceso de beneficio especialmente en la fermentación y secado en el grano del café especial. Estas operaciones que se han manejado sin conocimiento técnico y medidas de control, que han ocasionado defectos y variabilidad en la calidad del producto final, pérdidas económicas y desaprovechamiento de mercados.

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se planteó mejorar el proceso de fermentación y secado en el grano de café especial, para obtener características de calidad estipuladas en los mercados nacionales e internacionales. Así mismo, determinar las condiciones de operación del proceso de fermentación del mucílago de café especial, establecer las condiciones de operación del proceso de secado de la almendra de café especial y evaluar los costos de los procesos de fermentación y secado en el grano de café en la finca “Patio Bonito” vereda la Campiña en el municipio de Caldono –Cauca.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 GENERALIDADES DEL CAFÉ









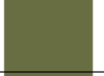














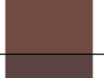



El café colombiano se cataloga como suave lavado caracterizado por sus cualidades inconfundibles de sabor, aromas y calidad, debido a que se obtiene de variedades de la especie *Coffea arabica*, cafés arábigos y se procesa por vía húmeda en su beneficio, razones por las cuales el café es apetecido en el mercado nacional e internacional; además; ha sido por excelencia el producto con mejor y mayor rentabilidad (Campo, s.f.).

El beneficio del café consiste en un conjunto de operaciones para transformar el café cereza, obtenido en la recolección en café pergamino seco. En Colombia tradicionalmente se practica el proceso de beneficio húmedo, el cual inicia con el despulpe de la cereza de café, diversas clasificaciones, hidrólisis del mucílago en tanques de fermentación, lavado y finaliza con el secado de los granos de café. Este método es preferido por algunos compradores de café, afirmando que posee una calidad superior a la de otros métodos empleados, como la remoción mecánica (Peñuela, 2010).

1.1.1 Características del café. El café es una semilla procedente del árbol del cafeto, este es un arbusto de la familia de las Rubiáceas del género *Coffea*, que da un fruto de color rojo llamado cereza. El café requiere un periodo de 32 a 44 semanas después de la aparición de la flor para desarrollarse; la cereza tiene una variación de color que va desde el verde claro hasta el rojo oscuro o amarillo (Figura 1), según la variedad, color en el cual ya se puede considerar como maduro y apto para la recolección (Cárdenas y Pardo, 2014).

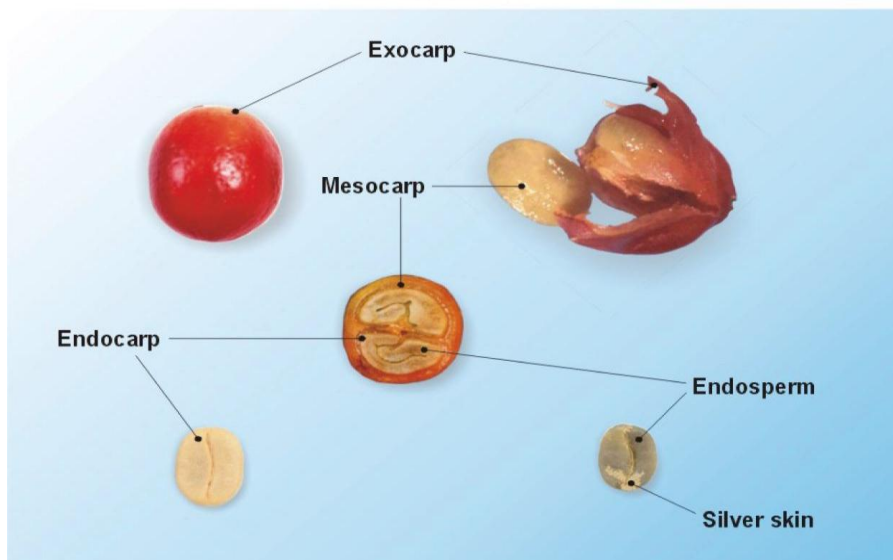
Las cerezas se forman en racimos unidos por ramas con tallos cortos, el fruto está formado por una piel llamada exocarpio, esta recubre la pulpa o mesocarpio, el cual posee una sustancia gelatinosa azucarada que recibe el nombre de mucílago, esta encierra las dos semillas recubiertas por el endocarpio o mejor conocido como pergamino (Figura 2). Las semillas se encuentran pegadas por sus caras planas y poseen una coloración maderosa (Endospermo) (Cárdenas y Pardo, 2014).

Figura 1. Forma del cafeto para llegar a café cereza

DDA	Muestreo	Fruto	Color medio
182			
189			
196			
203			
210			
217			
224			
231			
238			

Nota: DDA= Días Después de la Antesis.
Fuente: Cárdenas y Pardo, 2014

Figura 2. Partes de la semilla de café cereza



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros, 2010

El café (*Coffea*) es el género más importante de la familia de las rubiáceas y está formado por numerosas especies. Solo dos son las especies de importancia económica *Coffea arábica* L. conocida como café arábigo, y cuya producción mundial es del 65%; y *Coffea canephora* P., llamada café robusta con una producción del 33% del total mundial. El dos por ciento de la producción mundial corresponde a las otras especies de café (Castillo *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Características de dos especies de café

Arábica	Canephora
Mejor sabor y aroma	Sabor más fuerte y poco aroma
Menor cantidad de cafeína (1,3%)	Mayor contenido de cafeína (2,1%)
Mayor cantidad de lípidos y sacarosa	Mayor contenido de polisacáridos y ácidos clorogénicos
Menos resistentes a enfermedades y plagas.	Más resistentes a las enfermedades y plagas
Mejor calidad	Baja calidad

Fuente. Puerta, 2011

El café del Cauca es un café 100% arábico suave, cultivado en su gran mayoría en pequeñas parcelas, recolectado y procesado en las mismas fincas de manera selectiva, con apego a protocolos y estándares de calidad impulsados por la Federación Nacional de Cafeteros. Por su ubicación en Colombia y por las particulares características de la zona de producción el café del Cauca tiene atributos sensoriales y de calidad en taza particulares. En primer lugar conviene destacar que el café de Cauca es reconocido por su consistencia y homogeneidad. La variabilidad en los perfiles de taza de los diferentes cafés regionales es un reto que todo profesional de café encuentra en su labor diaria (Farfán, s.f.).

El concepto de calidad hoy en día está relacionado con toda la cadena productiva y los procesos que se requieren para llevar al consumidor un producto que posea todos los atributos por los cuales se estaría dispuesto a pagar. Los compradores de café están cada día mejor informados, muchos buscan una bebida de alta calidad, que no tenga efectos desfavorables para la salud y que haya respetado el medio ambiente a lo largo de la cadena productiva (Alaniz y Martínez, 2012).

La calidad física del grano está determinada por el tamaño, el color y la forma de los granos de café oro; así como, por la cantidad de defectos y de materias extrañas que se pueden encontrar en el café. Las cualidades organolépticas o sensoriales que se evalúan en la bebida del café se describen en el siguiente cuadro (Castillo *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Cualidades sensoriales en el café

Característica	Descripción
El aroma	Es la primera cualidad que se percibe en el café al oler la muestra y puede clasificarse como dulce, terroso, químico, pronunciado, alto y propio del café.
La acidez	La acidez natural es indeseable cuando se clasifica como agria, vinosa, picante, acre, astringente o ausente, derivada de malas prácticas de cosecha y del beneficio del café.
El cuerpo	El cuerpo de la bebida, se percibe en la lengua como una mayor o menor concentración una bebida de café presenta cuerpo completo, moderado y balanceado.
El sabor	Describe la combinación compleja de los atributos gustativos y olfativos percibidos en la bebida durante la catación.
Impresión global	Se refiere a la clasificación general de la bebida de café. Por medio de esta, se acepta o se rechaza la calidad del grano.

Fuente. Castillo *et al.*, 2010

1.1.2 Café especial. Es muy complejo poder definir exactamente lo que son cafés especiales, ya que cada uno puede tener su propia percepción. No obstante, a partir de diferentes interpretaciones se logró llegar a la siguiente definición: Son aquellos que conservan una consistencia en sus características físicas (forma, tamaño, humedad, apariencia y defectos), sensoriales (olfativas, visuales y gustativas), prácticas culturales (recolección, fermentación, lavado, secado) y en sus procesos finales (tostión, molienda y preparación); características que los distinguen del común de los cafés y por las cuales los clientes están dispuestos a pagar un precio superior (Farfán, s.f.).

La federación nacional de cafeteros, divide los cafés especiales en tres categorías y sus respectivas subdivisiones (Cuadro 3) (Farfán, s.f.). La producción de café en el departamento del Cauca, está a cargo de 23 mil cafeteros en un área de 22 mil hectáreas. La mayoría de cultivos se encuentran en la región oriente y sur del departamento, donde los cafeteros trabajan bajo protocolos de calidad, enfocadas en el mejoramiento de la práctica cafetera y el cuidado del medio ambiente.

Cuadro 3. Clasificación de cafés especiales

Categoría	Descripción
1 Café de origen	Proviene de región o finca, con cualidades únicas, creciendo en sitios orgánicos, tienen un origen geográfico concreto, poseen cualidades y reputación exclusivas del lugar.
a Cafés regionales	Proviene de una región específica, se ofrecen puros al consumidor, sin mezclas con otros productos de origen.
b Cafés exóticos	Café con características únicas de sabor, cultivado en

Cuadro 3. (Continuación)

	condiciones microclimáticas, agroecológicas y socioculturales delimitadas geográficamente.
c Cafés de finca	Sólo los cafés provenientes de una finca que presente producciones mayores a 500 sacos por año.
2 Café sostenible	Cultivado por comunidades que tienen compromiso con la protección del medio ambiente, a través de producción limpia y conservación de la bioriqueza de sus zonas. Promueven el desarrollo social de las familias cafeteras, participando en un comercio justo.
a Café de Conservación	Reconocidos por su relación con el medio ambiente y la biodiversidad, su producción busca mantener el equilibrio entre la presencia humana y los recursos naturales por medio de prácticas amistosas del cultivo.
b Café relacional-social	Entorno a un proyecto productivo, existen elementos de desarrollo social y cultural como: el trabajo, el compromiso y la solidaridad, el mejoramiento de la calidad de vida y la protección del medio ambiente.
c Café orgánico	Se producen sin el uso de químicos como fungicidas, herbicidas, insecticidas y fertilizantes. Este café debe tener el sello de una firma certificadora, la cual se encarga de verificar que las anteriores condiciones se cumplan a cabalidad, al igual que el manejo del cultivo, proceso de trilla, almacenamiento y transporte.
3 Cafés de preparación	Cafés con una apariencia orgánica por su tamaño y forma, apetecidos en el mercado internacional, igualmente pertenecen a ésta categoría los cafés que se buscan de acuerdo a las preferencias de un cliente en particular y se acopian para ofrecer un producto consistente.
a Cafés selectos	Proceden de una mezcla balanceada de varios tipos de café y dan como resultado una taza de excepcional calidad.
b Cafés caracol	Cultivados en zonas altas, se seleccionan los granos en forma de caracol, produciendo una tasa única de alta acidez. Apreciados por su tamaño uniforme que permite una tostión homogénea.
c Cafés supremos	Éste tipo de café según una clasificación granulométrica o tamaño del grano, como Premium, Supremo, Extra Orgánico y Europa.

Fuente: Farfán, s. f.

La mayoría de cultivos se encuentran en la región oriente y sur del departamento, donde los cafeteros trabajan bajo protocolos de calidad, enfocadas en el mejoramiento de la práctica cafetera y el cuidado del medio ambiente. Al igual que en toda la caficultura del departamento, el cultivo de cafés especiales lo realizan campesinos e indígenas que parten de una recolección manual de granos rojos y

maduros, que luego son sometidos a procesos de beneficio húmedo y secado para su posterior comercialización entre el selecto grupo de compradores. De esta manera, la caficultura caucana satisface los nuevos mercados mundiales que demandan productos de excelente calidad, con principios de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social, en toda la cadena productiva (Farfán, s. f.).

1.2 FERMENTACIÓN

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); también es definida como el 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 un efecto calorífico (Peñuela, 2010).

Echeverry y Puerta (2015), argumentan que mediante una fermentación controlada del café se pueden producir bebidas con aromas y sabores especiales, dulces, cítricos y frutales, que agregan valor y consistencia a la calidad del producto; además, definen dos sistemas de fermentación sólida y sumergida. La literatura referencia diferentes tipos de fermentación de acuerdo al sustrato y condiciones del proceso como alcohólica, láctica, propiónica, butírica, fórmica, metánica y maloláctica antes de realizar la remoción del mucílago (Puerta, 2010).

1.2.1 Tipos de fermentación en el café. Hay diferentes opiniones entre los investigadores, cuando explican los tipos de fermentaciones encontradas, ya que están 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, otras la ven como una fermentación láctica seguida de una butírica. Para Fritz, citado por Wilboux, las cuatro fermentaciones infieren unas con otras, pero cumplen un orden así: alcohólica, láctica, acética y butírica (Peñuela, 2010).

Durante la fermentación natural del mucílago ocurren diferentes procesos bioquímicos, en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan sus azúcares, lípidos, proteínas, ácidos y los convierten en alcoholes, ésteres y cetonas (Cuadro 4). La velocidad y la clase de productos generados en la fermentación del mucílago dependen de factores que afectan el metabolismo del mismo de los microorganismos como la temperatura externa, el tipo de sistema de fermentación,

el tiempo del proceso, la calidad del café baba, la acidez del sustrato, la disponibilidad de oxígeno y la higiene (Echeverry y Puerta, 2015).

Cuadro 4. Tipos de fermentación y sus productos industriales

Tipo de fermentación	Microorganismo	Producto final
Láctica	<i>Streptococcus, Lactobacillus, Bacillus</i>	Ácido láctico
Alcohólica o etanólica	<i>Saccharomyces (levadura)</i>	Etanol y CO ₂
Propiónica o propanoica	Anaerobios	Ácido propiónico, Ácido acético
Fórmica o ácido mixta	Enterobacterias	Ácido láctico, Ácido fórmico,
Butírica o butanólica	<i>Clostridium</i>	Ácido butírico, Butanol, Acetona, Isopropanol y CO ₂
Metánica y maloláctica	<i>Escherichia, Salmonella</i>	Ácido láctico, ácido succínico, ácido acético, CO ₂ y H ₂

Fuente. Puerta, 2010

1.2.2 Remoción del mucílago de café. En los países cafeteros se han usado diversos métodos, prácticas y condiciones de beneficio para retirar el mucílago del grano de café. En Colombia, el café se procesa en las fincas por beneficio de método húmedo, y la mayoría de los caficultores lo realizan de dos maneras por fermentación natural del mucílago y desmucilaginado mecánico del grano. Este último lo realizan fincas donde es económicamente viable ya que se necesita de altos costos de inversión y permite realizar la rápida remoción del mucílago comparado con la fermentación.

Los pequeños y medianos caficultores usan el proceso de fermentación natural, ya que es la manera más sencilla, económica y tradicional de separar el mucílago, debido a que en ella se interrelacionan los agentes suministrados naturalmente por el ambiente, para lo cual dejan los granos despulpados sin agua (fermentaciones sólidas), otros adicionan agua (fermentaciones sumergidas); estos sistemas pueden ser abiertos o cerrados, continuos o discontinuos en tanques abiertos de diversos materiales (Echeverry y Puerta 2015; Puerta, 2012).

La fermentación, se lleva a cabo durante un tiempo de 18 hasta 30 horas, dependiendo de las condiciones ambientales, la madurez del café, el diseño de los tanques de fermentación, la calidad del agua y de la altura de la zona. Cuando el café está en el punto apropiado de fermentación se debe lavar inmediatamente

con el objeto de eliminar todo el mucílago hidrolizado de la superficie del pergamino, ya que el pergamino no se considera una barrera para evitar la degradación del grano.

La fermentación ha sido citada como una de las etapas del proceso del café de mayor cuidado, debido a que fermentaciones prolongadas o incompletas producen defectos como grano negro, cardenillo y vinagre, clasificados dentro 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 estos granos se originan defectos en la calidad de la bebida, tales como: sabores a fermento, vinagre, cebolla, rancio y stinker (nauseabundo) (Peñuela, 2010).

Los defectos mencionados anteriormente se presentan por malas prácticas y por el uso de métodos no técnicos para determinar la finalización del proceso de fermentación, como según Peñuela (2010), dan respuestas positivas con mucha anticipación. En otros casos, los caficultores no tienen medidas de control y solo esperan a que pase el tiempo que creen necesario para desprender la mayor parte del mucílago.

1.2.3 Características del mucílago o mesocarpio. Al realizar el despulpado se separa el epicarpio o cáscara del resto y queda expuesto el mucílago o mesocarpio adherido al endocarpio. El mucílago es un compuesto coloide con fuerte capacidad de retención de agua, el contenido de azúcares, levaduras y bacterias explican su propiedad pecedera, y la ocurrencia de su fermentación natural.

La cantidad de mucílago en los frutos de café depende del estado de maduración y presenta variaciones de cerca del 30% para grado de madurez, debido a la humedad y tamaño de los frutos, así en promedio el fruto fresco pintón contiene 1,3% de mucílago, el pintón 8,4%, el maduro entre 1% y 27%, el sobremaduro de 1% a 23%, y en el fruto seco no hay mucílago (Puerta, 2012).

Por su composición microbiana y química, el mucílago se fermenta en forma natural en las condiciones ambientales de las zonas cafeteras que presentan temperaturas que pueden variar entre el día y la noche de 12 a 34°C. La velocidad de estas degradaciones depende del sistema de fermentación y la temperatura externa, también influye en el desarrollo y metabolismo de los microorganismos que forman sustancias las cuales cambian las características de olor, color, pH y

composición del sustrato (el mucílago) y también de los granos de café (Echeverry y Puerta, 2015).

Investigaciones realizadas en café han encontrado diferencias en las características del mucílago, esto se debe a las condiciones topográficas del sitio donde se realizó el estudio, variedades usadas, madurez del fruto, también por el agua adicionada en el procesamiento del café, sistemas y horas de fermentación. Puerta y Ríos (2010), reportan características químicas para una variedad de fruto rojo, de *Coffea arabica* L., cultivada en Chinchiná, Caldas, Colombia (cuadro 5).

Cuadro 5. Composición química del mucílago café en base seca

Compuestos	Mucílago fresco	Mucílago fermentado
Agua	83,2	87,7
Carbohidratos	81,4	s.d (Degradación)
Proteínas	6,37- 9,52	No hay cambio
Lípidos	0,86- 1,45	s.d (Degradación)
Azúcares totales	48,01- 70,48	Oxidación
Cenizas	3,78	No hay cambio
Alcohol	0,12 p/p	0,46
Acidez total	969 mg de CaCO ₃	3350 mg de CaCO ₃
Sustancias pépticas	5,39-17,45	s.d.(Variación de concentración)

Nota: s.d.= sin dato

Fuente. Puerta y Ríos, 2011

El color, aspecto y olor del mucílago de café fermentado cambia de pendiendo del tiempo y del sistema de fermentación. Los olores corresponden a los compuestos químicos, que son formados en las fermentaciones lácticas y alcohólicas, las esterificaciones y la degradación de lípidos del mucílago durante la fermentación del café, por la actividad de las enzimas de las bacterias y levaduras naturales del café (cuadro 6).

Cuadro 6. Olores del mucílago de café de fermentaciones de café a 20°C.

Tiempo de fermentación (h)	Abierto sumergido	Abierto sólido
14	Dulce	Dulce
18	Banano	Banano, limón, a verde
42	Apio, cáscara de plátano	Acetona, ácido acético

Cuadro 6. (Continuación)

	maduro, césped húmedo	
66	Limón, cáscara de plátano maduro, kumis, leche agria	Acetona, basura
88	Limón, cáscara de plátano maduro, verdoso	A basura, acre

Fuente. Echeverry y Puerta, 2015

Los compuestos volátiles del mucílago comprenden ácidos, alcoholes y varios ésteres. La proporción promedio de fracción volátil del mucilago de café formados por 43,4% de acetato de etilo, 27,5% de etanol, 8,2% de ácido acético y 4,2% de linoleato, son los que representan un potencial de aprovechamiento para obtener otros productos mediante transformación agroindustrial (Echeverry y Puerta, 2015).

1.3 SECADO

El término secado implica la eliminación de la humedad, en la mayoría de los casos agua, sin excluir disolventes y otros tipos de líquidos volátiles, ya que ella favorece el desarrollo de microorganismos y hongos cuando alcanza más del 70% y temperaturas por encima de 4,4 °C (Geankoplis, 1998).

Debe existir transferencia de calor a la superficie del material húmedo y suministrar el calor necesario para evaporar el agua que contiene el producto. Cuando el aire pasa a través del sólido húmedo, cede parte de su calor para levantarle su temperatura; éste periodo es de corta duración y la cantidad de calor consumido es despreciable. A medida que el aire arranca humedad al sólido, se enfría adiabáticamente, es decir, el calor del aire es convertido en calor latente (Geankoplis, 1998).

El contenido de agua en los alimentos y los granos es uno de los criterios más importantes para la conservación de su calidad y su comercialización. Los alimentos en estado natural están compuestos por materia seca y agua en cantidades específicas; por ejemplo, las carnes contienen de 43 al 70% de agua, los huevos el 74%, la leche del 86 al 90%, las frutas del 50 al 95% y las leguminosas del 58 al 77% (Puerta, 2006).

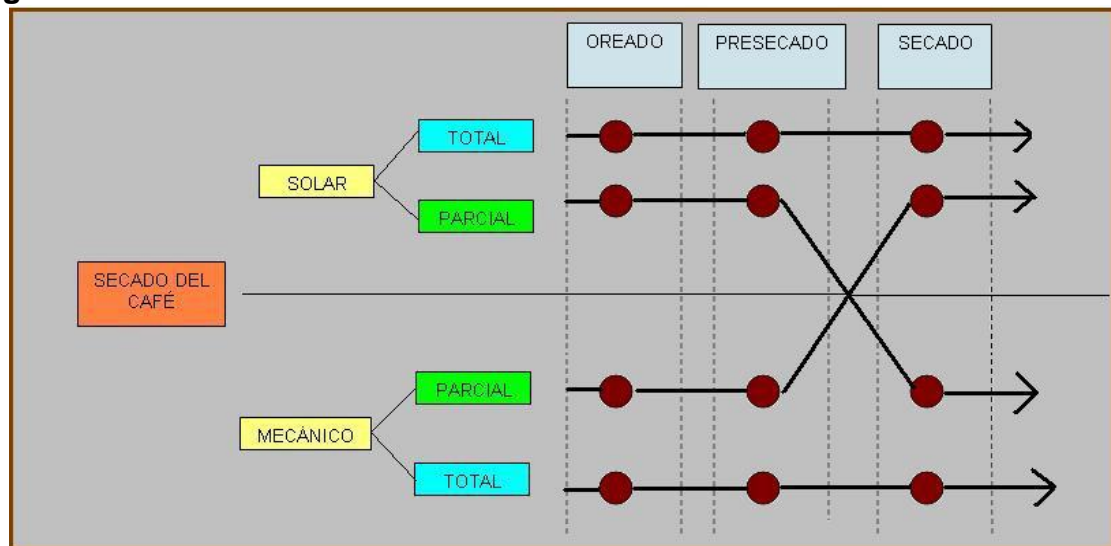
1.3.1 Secado de la almendra del café. Al culminar el proceso de lavado del café, debe realizarse la operación de secado, el proceso se realiza para disminuir el

contenido de agua inicial desde el 55%, presente en el café pergamino húmedo, hasta el 10-12%. Lo cual corresponde a reducir la actividad del agua desde el 0,97- 0,98 que tiene el café pergamino lavado (un producto perecedero) hasta de 0,6 a 0,67 del pergamino seco (Puerta, 2006).

En estos valores, el café es más estable y se puede almacenar en óptimas condiciones, para la conservación de la calidad microbiológica y química del café durante el transporte y almacenamiento (Puerta, 2006). En esta etapa se produce el mayor deterioro de la calidad del grano. El café seco, denominado café pergamino, se empaca en costales y se almacena hasta el momento de la trilla (Alarcón, 2010).

En Colombia el secado del café puede realizarse de dos maneras alternativas, el secado natural al sol y el secado mecánico. Estas pueden realizarse de manera independiente o combinada, como se muestra en la figura 3. Según sea la alternativa seleccionada, se obtiene café con características de calidad diferentes. En el secado solar total, el clásico café secado al sol y con el secado mecánico total, el café convencional (Ministerio de Agricultura, 2010).

Figura 3. Alternativas de sacamiento de café



Fuente: Ministerio de Agricultura, 2010

El secado mecánico es empleado en fincas con gran capacidad de producción y viabilidad económica, la mayor ventaja es el control de las condiciones del ambiente, operando de día como de noche asegurando un secado oportuno del grano sin poner en riesgo su calidad.

El secado natural al sol es tradicionalmente utilizado por los pequeños y medianos caficultores; valorado como el mejor método para el secado a punto del café, se le atribuyen ventajas en términos de calidad del grano; como el característico color verde azulado de los cafés arábigos, el olor característico del café en verde, las características de taza en las que se aprecia una mayor definición del perfil. Sin embargo, los tiempos de secado son muy prolongados, oscilando entre los 5 y 15 días, lo cual puede ser un problema dependiendo de las cantidades de café por secar y la disponibilidad de patios para el proceso (Ministerio de Agricultura, 2010).

Por otra parte, el uso de camas africanas y secadores parabólicos son alternativas económicas y prácticas, para aprovechar los beneficios del secado al sol. Por estas razones, el secado puede ser utilizado por los microbeneficiarios siempre que esto signifique una ventaja en la calidad y la comercialización del café, destinándose solamente para algunos cafés especiales que se comercializan en mercados exclusivos (Ministerio de Agricultura, 2010).

Un secado a bajas temperaturas ayuda a conservar el aceite en el interior de las células y con esto se cuida el sabor y favorece el tiempo de almacenamiento. Por otra parte, realizar el secado en el menor tiempo posible no significa que el proceso se deba acelerar de manera indiscriminada; ya que al aplicar temperaturas extremas provoca que las células se rompan y los aceites se derramen; esto implica que el producto no se pueda almacenar por mucho tiempo es decir; que su consumo debe ser inmediato. El aceite derramado provoca que el café adquiera un sabor “rancio” cuando ha sido almacenado por largos periodos. Las altas temperaturas disminuyen el tiempo de proceso, pero ponen en riesgo la calidad y por ende la preferencia del consumidor (Valderrábano, 2011).

La humedad del café pergamino es un factor determinante en el proceso de comercialización, de gran importancia en la conservación de sus características físicas, sensoriales e inocuidad. Cuando el grano café pergamino contiene una humedad superior a 12,5% (bh), existe riesgo de deterioro microbiológico por hongos y bacterias, daño físico, pergamino manchado y decoloración de la almendra, pérdida de la calidad de la bebida, sabores sucio, mohoso, terroso y de reposo (Zambrano *et al.*, 2006).

Entre los procesos del beneficio de café, el secado es una etapa crítica que requiere control. Es crítica ya que cualquier daño ocurrido en el grano, es irreversible. El secado del café depende de muchos factores, uno de los más importantes lo constituyen las condiciones ambientales predominantes durante el proceso; pero también de la cantidad del café a secar, de la superficie del secador

y de los controles del proceso como el espesor de la capa de café y las prácticas aplicadas por el caficultor (Zambrano *et al.*, 2006).

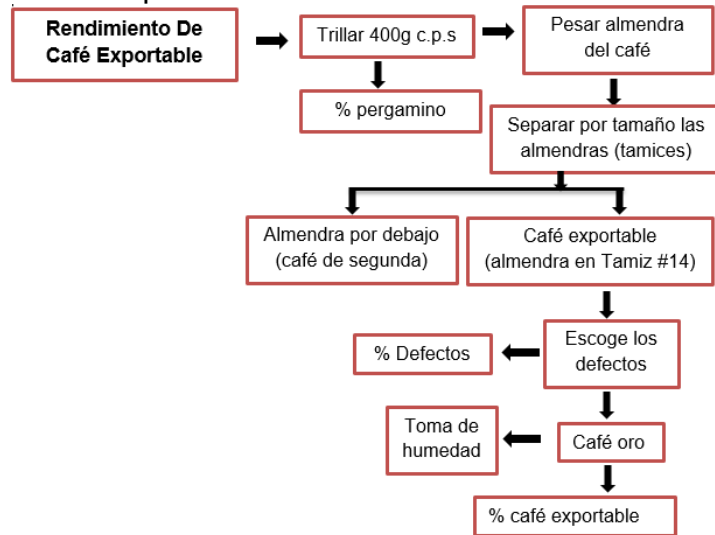
La mayoría de los granos, incluyendo al café son higroscópicos, es decir su contenido de humedad varía de acuerdo con las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire circundante donde se almacena; en consecuencia pueden ganar (adsorber) humedad o perderla (desorción) durante su almacenamiento (Zambrano *et al.*, 2006).

1.3.2 Características de la almendra de café seco. Los granos o almendras se encuentran revestidos por una doble membrana: la primera llamada comúnmente pergamino (endocarpio), de color amarillo pálido y de consistencia dura y frágil; la segunda, llamada película plateada (tegumento seminal) más fina que la anterior y adherida al grano (albumen). En la base del grano y sobre su cara interna se encuentra el embrión o germen (Arguello y Sánchez, 2005).

Cuando ya se tiene el café seco, se le denomina café pergamino seco (c.p.s.), el cual se comercializa. Las características del café pergamino son: olor característico de un café fresco, libre de olores extraños o de cualquier otro tipo de impurezas; color uniforme, característico de un café pergamino fresco correctamente beneficiado; libre de todo insecto, hongos y contaminantes; factor de rendimiento (figura 4) menor o igual a 120 kilos de pergamino por saco de 70 kilos de excelso libre de defectos (cuadro 7), cisco e impurezas y humedad entre el 10% y el 12% (Saavedra, s.f.).

Y por último se realiza un análisis físico y sensorial del café almendra (Café Verde), el primero está relacionado con el rendimiento exportable y la humedad del grano, luego se evalúan los defectos que tiene la almendra del café (Saavedra, s.f.). El análisis sensorial se inicia con el tostado del café, molido y finalmente la clasificación de la calidad de la bebida, por medio de la prueba de taza (Puerta, 2011).

Figura 4. Rendimiento exportable de café



Nota: c.p.s.= café pergamino seco

Fuente. Adaptación de Saavedra, 2014

Cuadro 7 Defectos del café pergamino seco

Defecto	Causa	Consecuencia
Café pelado 	Grano que ha perdido la cubierta protectora. Mala manipulación en el secado.	Se rehúmedece rápido e ingresan hongos, microorganismos, se blanquean y envejecen. Disminuye la calidad en taza.
Café bola- coco-media cara 	Mala cosecha, no hay mantenimiento y calibración de la despulpadora.	Foco de contaminación por hongos, afecta el rendimiento del café exportable y calidad de taza.
Cisco o pergamino del grano 	Mala manipulación en el secado, almacenamiento y transporte.	Disminuye el rendimiento del café exportable.
Cáscara 	Mala cosecha y calibración de la despulpadora.	Crecimiento de hongos. Disminuye el rendimiento del café exportable y calidad de taza.
Pergamino vano	Mala nutrición de la planta.	La cereza no está formada o es muy pequeña.

Fuente. Cárdenas *et al.*, 2013

La composición química del grano de café depende de la especie y la variedad cultivada, también de factores como la ubicación del cultivo, la altitud, fertilidad del suelo, las condiciones atmosféricas, el grado de maduración y las condiciones de almacenamiento (Puerta, 2011). En el grano de café se pueden encontrar compuestos solubles en agua como la sacarosa y otros oligosacáridos, ácidos clorogénicos, ácidos no volátiles, alcaloides (cafeína, trigonelina), proteínas y aceites (Ver cuadro 8).

Cuadro 8. Promedios de la composición química del grano de café almendra.

Componente químico	Arábica (%bs)
Polisacáridos	50,8
Sacarosa	8,00
Azúcares reductores	0,10
Proteínas	9,80
Aminoácidos	0,50
Cafeína	1,20
Trigonelina	1,00
Lípidos	16,20
Ácidos alifáticos	1,10
Ácidos clorogénicos	6,90
Minerales	4,20
Compuestos aromáticos	Trazas

Fuente. Puerta, 2011

1.3.3 Métodos de secado. A través de los años se han desarrollado distintas formas para secar productos agrícolas. Todas coinciden en lograr procesos más eficientes en tiempo y en la homogeneidad teniendo cuidado en la conservación de calidad. Los métodos utilizados se dividen en tres clases (cuadro 9) de acuerdo a la interacción del aire con el producto:

Cuadro 9. Métodos de secado

Métodos	Características
Directos	Los productos se encuentran en contacto con la fuente generadora de calor o con los residuos producidos por el calentamiento del aire que se utilizará en el proceso de secado. Su operación consiste en elevar la energía térmica de su entorno; es decir, se produce un desequilibrio térmico entre el producto y el entorno. La diferencia de temperaturas ocasiona que se presente transferencia de calor por convección. Los métodos directos se aplican tanto en la evaporación natural como en la evaporación artificial o forzada. En la evaporación natural está el secado natural que es empleado en sistemas que utilizan energía solar que dependen de la disponibilidad de este recurso y llegan a ser


Cuadro 9. (Continuación)

	aproximadamente 80% más lentos que los métodos que utilizan energía fósil o biomasa para calentar el aire. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que los procesos con energía solar correctamente efectuados entregan un producto de mejor calidad; por otra parte el secado mecánico es un claro ejemplo de evaporación forzada el cual incrementa el flujo másico de aire mediante ventiladores y los cuales calientan el aire quemando combustibles fósiles o biomasa o calentando resistencias eléctricas.
Indirectos	Evitan que el producto entre en contacto con la fuente generadora de calor o con los residuos resultantes del calentamiento del aire que se utilizará para llevar a cabo el proceso de secado. Estos métodos elevan la temperatura del aire, es decir, la fuente generadora de calor eleva la energía térmica del aire y no del producto, el aire a temperaturas mayores posee mayor capacidad para absorber humedad, la cual tomará el producto cuando se haga pasar a través de él. El flujo de aire se logra por diferencia de densidades o por el impulso de un ventilador.
Mixtos	Son una combinación de los métodos anteriores, generalmente ocasionados por la ausencia temporal de una fuente de generación de calor, la cual tiene que ser sustituida por otra fuente para no detener el proceso.

Fuente. Valderrábano, 2011

1.3.4 Equipos de secado. Las investigaciones han desarrollado tecnología que permita mantener un equilibrio entre eficiencia y economía para el secado de café, pero los procesos más económicos se basan en la utilización de energía solar (cuadro 10).

Cuadro 10. Secadores solares y mecánicos.

Nombre del secador/ equipo	Descripción	Foto
Patio de cemento	Deben construirse con una pendiente del 1% para evitar encharcamientos.	
Carros	Cajones montados en una estructura de madera o hierro, con pisos de madera o esterilla, y techo de zinc.	

Cuadro 10. (Continuación)

Elbas	Cajones con piso de cemento y techo de hojas de zinc embisagradas,	
Secador solar parabólico tipo Cenicafé	Plancha de cemento o malla, cubierta con una estructura de guadua y plástico, que permite la circulación interna del aire.	
Secador estático sin cámara de presecado.	Es el más sencillo y consta de una cámara de secado.	
Silo secador Cenicafé	Consta de una unidad de calentamiento del aire de secado, un ventilador y dos cámaras en las cuales se deposita el grano,	
Silo secador vertical	En este secador, el aire que sale de la cámara superior, realizando el presecado en forma ascendente.	

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros, (2004)

1.4 CINÉTICA DE SECADO

Se basan en estudios de los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo. Describe la cantidad de humedad evaporada, el tiempo, el consumo de energía, etc. Sin embargo, el cambio de humedad depende de la transferencia de calor y de masa entre la superficie del cuerpo, el ambiente y el interior del material a secar (Valderrábano, 2011).

Hay dos métodos para remover la humedad: evaporación y vaporización. La evaporación, ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica, esto se debe al aumento de temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición; si el material que está siendo secado es sensible al calor entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre puede ser disminuida bajando la presión (evaporación al vacío) y la vaporización, se presenta cuando el secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica (Geankoplis, 1998; Cabrera, 2004).

1.4.1 Mecanismos físicos de secado. El secado por evaporación tiene cuatro fases principales o periodos de secado (cuadro 11).

Cuadro 11. Fases principales de secado

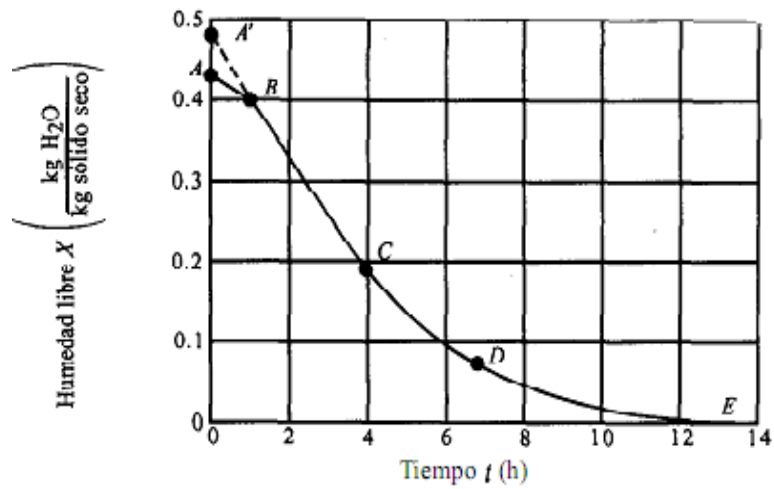
Fases	Característica
1. Fase ascendente	El calor suministrado al horno se usa para elevar la temperatura del producto y el líquido asociado a él. La velocidad de evaporación aumenta con la temperatura. En las gráficas de velocidad vs tiempo, se caracteriza por tener una curva exponencial creciente, mientras que la humedad vs tiempo tiene una curvatura descendente.
2. Fase constante	La velocidad de evaporación y la temperatura de la superficie mojada del producto tienen valores máximos y la temperatura es constante. El calor inyectado al producto proviene de la corriente de aire suministrado. La velocidad de evaporación puede variar dependiendo del tipo de superficie que se tenga, ya que puede ser rugosa o lisa. Depende del camino que sigue el aire a través de esta superficie del sólido.
3. Primera fase de velocidad decreciente	Se inicia en el momento en que empiezan a aparecer áreas secas en las superficies. La velocidad de evaporación se disminuye o decrece a medida que el área mojada disminuye y el área seca aumenta. Se termina cuando toda la superficie está completamente seca. En materiales homogéneos la velocidad decreciente aparece como una línea recta descendente.
4. Segunda fase de velocidad decreciente	La velocidad de evaporación no depende de las condiciones del aire pero si depende de la velocidad que tenga el líquido dentro del sólido de evaporación y de la capacidad de migrar hacia la superficie externa (difusividad).

Fuente: Valderrábano, 2011

1.4.2 Velocidad de secado. La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo. A partir de las curvas de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser

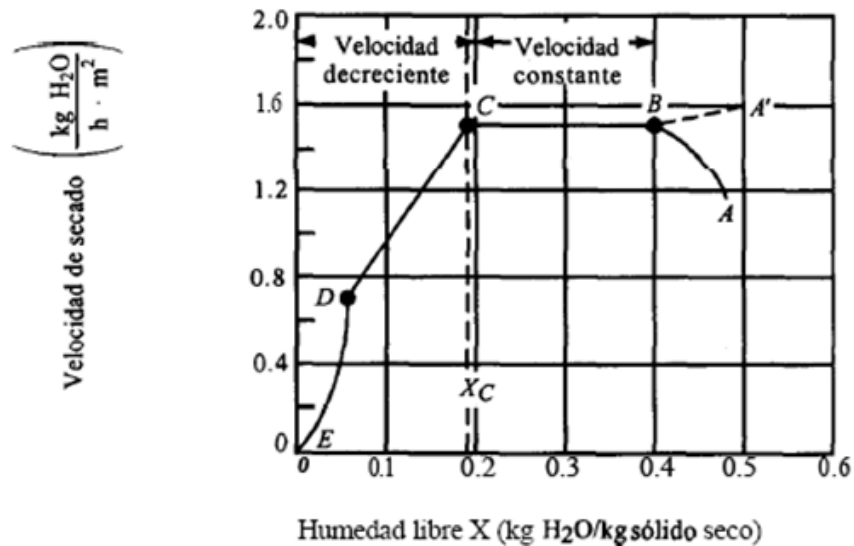
obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tiene en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada y velocidad del aire (Geankoplis, 1998; Cabrera, 2004), a continuación algunos ejemplos de curvas de secado.

Figura 5. Curva típica de humedad contra tiempo



Fuente. Geankoplis, 1998

Figura 6. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre



Fuente. Geankoplis, 1998

1.4.3 Tiempo de secado. Es un parámetro cinético que se refiere al tiempo requerido para evaporar agua de un material según su velocidad de secado. Se determina experimentalmente mediante la toma de datos reales bajo condiciones de alimentación, área superficial relativa expuesta, velocidad del gas, temperatura y humedad, en esencia tendrán las mismas condiciones del secador en la práctica.

El cálculo de tiempo de secado depende de los periodos de velocidad constante y decreciente, las cuales se determinan con las curvas de secado, del contenido de humedad libre en función del tiempo. Las expresiones matemáticas para estimar la duración del secado se describen a continuación (Geankoplis, 1998).

$$t = \frac{-L_s}{A} \int_{X_o}^{X_f} \frac{dX}{Rf(X)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$t_T = t_a + t_p \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde

R f (x)= velocidad de secado (kg agua/m²h)

dx = variación de la humedad con el tiempo.

Ls = peso del sólido seco (kg s.s)

A = área de superficie expuesta (m²)

X₀= contenido de humedad libre inicial (kg agua/kg s.s)

X_f= contenido de humedad libre final (kg agua/kg s.s)

t_T = tiempo total de secado (h)

t_a = tiempo de secado en el periodo antecrítico (h)

t_p = tiempo de secado en el periodo poscrítico (h)

2. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las actividades desarrolladas para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación.

2.1 REVISIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO

En la revisión del proceso de beneficio húmedo realizado en la finca “Patio Bonito” se recolectó información y datos, con lista de chequeo adaptada según los ítems recomendados por la guía de consultores elaborada por Acopi, Banco interamericano de desarrollo (Ministerio del Medio Ambiente, 2002) y por manual técnico “control de calidad del café” del centro de estudios y promoción de desarrollo (Cárdenas, 2013), con los cuales se analizaron las actividades realizadas durante la recolección de cereza, fermentación de mucílago y secado del grano, tales como: procedimientos, mano de obra, tecnificación del proceso, sistemas de control, instrumentación, disponibilidad de servicios básicos, ubicación, relación y continuidad de las operaciones unitarias. De la revisión de los procesos se elaboraron los diagramas de la fermentación y secado actuales, se identificaron los puntos de medición y se definieron las variables de interés a controlar.

2.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CAFÉ

Se determinaron las características del mucílago del café al ser fermentado y la almendra del café cuando es sometido al proceso de secado.

2.2.1 Características de materia prima. Se realizó un consolidado de las propiedades físicas y organolépticas en el mucílago y la almendra del café, como materias primas que se emplean en el fermentador y el secador, a partir de revisión bibliográfica en catálogos, proyectos de investigación científica como los de Echeverry y Puerta (2015), Peñuela (2010) y Puerta (2006), Puerta (2011) y Puerta (2012), base de datos de Alma Café (s.f.) y Cenicafé (2012). Los valores teóricos de la revisión, se compararon con las mediciones de las variables de interés de esta investigación establecidas en el diseño estadístico preliminar.

2.2.2 Mucílago del café. Se determinó el tiempo de fermentación del mucílago para evitar el deterioro de la almendra y la calidad del café. Mediante el diseño experimental se estipuló el rango de tiempo en que se presenta la fermentación

del mucílago según los sitios de procedencia del café especial identificados en la finca. La finalización del proceso de fermentación del mucílago del café, se determinó con el instrumento de medida Fermaestro (Anexo A), suministrado por Cenicafé a los caficultores.

2.2.3 Almendra del café. Se determinó el tiempo de secado del café pergamino para evitar el deterioro de la almendra, en cuanto a sus características microbiológicas, físicas y químicas, con el fin de lograr buena calidad para su comercialización. Mediante el diseño experimental se determinó el tiempo de secado de la almendra según los sitios de procedencia del café de la finca. En la medición de esta variable se utilizó el método gravimétrico (Anexo B) y curvas de secado experimentales, de las cuales se estimó la rapidez de eliminación de humedad (Kg de agua / hr m²) y la duración de tiempo de secado (días).

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se planteó como hipótesis de investigación: “manejo adecuado de las etapas de fermentación y secado en el proceso de beneficio húmedo de café, permiten obtener calidades de exportación”. Se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar, en arreglo factorial 5*2 (cuadro 12), Se tomaron dos factores de estudio: el primer factor fue los sitios de procedencia (F1) con 5 niveles: zoqueo (P1), Nuevo (P2), sombrío (P3), zoqueo + sombrío (P4), nuevo + sombrío (P5). El segundo factor fue el tipo de secado (F2) con 2 niveles: secador parabólico abierto (S1) y secador parabólico abierto con plancha en el piso (S2). Las variables de respuesta fueron: tiempo de fermentación y tiempo de secado. Durante la investigación se mantuvo constante el tipo fermentación (aerobia) y se manejó como condición experimental.

Se aplicó aleatoriedad al experimento, para lo cual se tomaron en bolsas diferentes los sitios de procedencia, fermentación y secado, se sortearon formando las parejas a las cuales se les asigno los tratamientos. Los datos experimentales se procesaron en el paquete estadístico Minitab 16, con nivel de significancia $\alpha=0.05$, se realizó un análisis para comprobación de supuestos que son prueba de normalidad de la información, homogeneidad varianzas e independencia. Las hipótesis de trabajo para el tiempo de fermentación y secado del café a evaluar para cada sitio de procedencia son las siguientes:

H0: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

Ha: Al menos un par de tratamientos es diferente

Se rechaza, H0: si $f_{trat} > f_{cal}$ (grado de error, grado libertad, α).

Cuadro 12. Resumen del diseño experimental

Factores	Niveles	Especificaciones									
F1	5	Diseño experimental con bloques completamente al azar. Unidades experimentales = $5^1 \times 2^1$ $r = 2$ réplica									
F2	2	# Observaciones = 20 Variables de respuesta: Tiempo de fermentación y tiempo de secado. Condición experimental = Fermentación constante									
Esquema											
1 Réplica					2 Réplica						
S1	P1	P2	P3	P4	P5	S1	P1	P2	P3	P4	P5
	U1 R	U2 R	U3 R	U4 R	U5 R		U1 R	U2 R	U3 R	U4 R	U5 R
S2						S2					
	U6 R	U7 R	U8 R	U9 R	U10 R		U6 R	U7 R	U8 R	U9 R	U10 R
Definiciones											
<p>1 Réplica: Corresponde a los datos obtenidos del diseño experimental 2 Réplica: Corresponde a la primera réplica del diseño experimental U: Unidad experimental para fermentación natural del mucílago del café U1R=P1FS1:unidad Exp, zoqueo, fermentación aerobia y secador parabólico abierto U2R=P2FS1:unidad Exp, nuevo, fermentación aerobia y secador parabólico abierto U3R=P3FS1:unidad Exp, sombrío, fermentación aerobia y secador parabólico abierto U4R=P4FS1:unidad Exp, zoqueo+sombra, fermentación aerobia y secador parabólico abierto U5R=P5FS1:unidad Exp, nuevo+sombra, fermentación aerobia y secador parabólico abierto U6R=P1FS2:unidad Exp,zoqueo, fermentación aerobia y secador parabólico abierto con plancha en el piso U7R=P2FS2:unidad Exp, nuevo, fermentación aerobia y secador parabólico abierto con plancha en el piso U8R=P3FS1:unidad Exp, sombra, fermentación aerobia y secador parabólico abierto con plancha en el piso U9R=P4FS1:unidad Exp, zoqueo+sombra, fermentación aerobia y secador parabólico abierto con plancha en el piso U10R=P5FS1:unidad Exp, nuevo+sombra, fermentación aerobia y secador parabólico abierto con plancha en el piso</p>											

Fuente: esta investigación

La unidad experimental y la réplica son los datos de los sitios de procedencia de donde se tomaron muestras de 500 gr de granos despulpados llevados a fermentación natural del mucílago y posterior secado, cada proceso con el seguimiento de las variables de respuesta tiempo de fermentación en horas y tiempo de secado en días.

2.4 FASE EXPERIMENTAL Y MEDICIÓN DE VARIABLES

Se identificaron las variables que afectan al proceso a partir de información de los registros de datos históricos del proceso de fermentación natural del mucílago, datos de pruebas piloto del secado del café y de las variables planteadas en el diseño experimental para cada uno de los procesos respectivamente.

2.4.1 Proceso de fermentación del mucílago. De acuerdo al diseño experimental se realizó un muestreo en cada uno de los sitios de procedencia durante un mes. Se tomaron sub muestras, se homogenizaron y por la técnica de cuarteo se formó una muestra de 500 gr para la fermentación natural del mucílago. Se registraron datos de pH, °Brix, temperatura y tiempo en intervalos de 0, 4, 10 y 16 horas en los tanques de fermentación. La duración del proceso de la fermentación se estimó desde que inicia la etapa de recolección y la del tanque.

En la determinación del tiempo total que dura la fermentación, se tomó como base un promedio de tiempo de fermentación entre las etapas de recolección y almacenamiento de 11 horas, debido a que no existe un protocolo definido para la manipulación y almacenamiento de la materia prima, esto hace que se aceleren procesos de degradación. Este tiempo promedio se sumó al tiempo de fermentación que ocurre en los tanques.

2.4.2 Proceso de secado de la almendra. Para la etapa de secado se tomaron muestras de 200 gr de los granos anteriormente fermentados, dichas muestras son expuestas al secador parabólico abierto y con plancha de cemento en el piso en canastillas de malla plástica con dimensiones de 12 cm x 12 cm en la base y 5 cm de altura; teniendo como variable la temperatura ambiente se toma lectura de pérdida de peso en el tiempo mediante el método gravimétrico. El tiempo de secado tiene quince categorías definidas así: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,14 días con toma de pérdida de peso con un intervalo de 4 veces por día y en la noche no se hace necesaria la toma de datos porque la baja temperatura hace que no haya pérdida de peso. El registro de datos se terminó cuando el peso de la muestra es constante y este en un rango de 104 a 106 gramos, esto garantiza que el grano alcance una humedad del 10% a 12% (Cenicafé, 2009).

Se construyeron las curvas de secado y se determinó las variables de la cinética de secado como: velocidad y tiempo de secado.

2.5 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACION Y SECADO.

Se plantearon las acciones de mejora y sistemas a utilizar en la producción de café pergamino considerando las debilidades identificadas de los resultados de la lista de chequeo, de la revisión general del proceso. En la etapa de fermentación se consideró el comportamiento de las variables físicas temperatura, °Brix, pH y tiempo de fermentación en función de los rangos de variación. En la etapa de secado se tuvo en cuenta la rapidez de evaporación del agua en el periodo de velocidad constante, y los rangos de variación de la duración del secado para cada una de las unidades experimentales definidas en el diseño.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los resultados del comportamiento de las variables involucradas en el proceso de fermentación, la cinética en el proceso de secado, y la propuesta de mejoramiento.

3.1 PROCESO DE FERMENTACIÓN

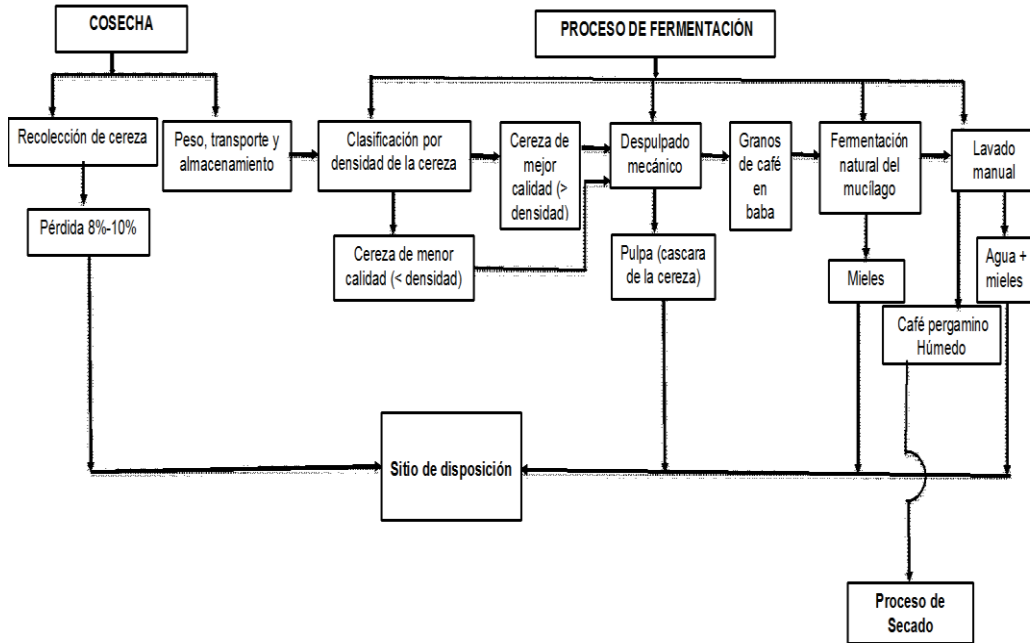
En el cuadro 13, se resume la revisión del proceso de fermentación del mucílago del café antes y después de la cosecha de la finca “Patio Bonito” obtenido de la lista de chequeo (Anexo C). En la figura 7 se presenta el diagrama de bloques de las etapas actuales de la fermentación.

Cuadro 13. Infraestructura y actividades en cosecha y fermentación.

Ítems	Observaciones
Disponibilidad de servicios básicos	Disponibilidad de agua limpia no potable y tanques reservorios (1000 L). Redes eléctricas 1hp = 745,7 W requerimiento para despulpadora.
Mano de obra existente	99% mano de obra empírica no calificada y 1% mano de obra calificada.
Documentación de operación y manejo de procesos.	No existen manuales, instructivos de procesos, señalización, programas de limpieza y desinfección, programa de calidad y control ambiental. Se observa un alto manejo empírico de los procesos administrativos y técnicos.
Cosecha	Se tienen aproximadamente 21900 Plantas de café sembradas por variedad, las cuales corresponden a 24,2% castillo, 27,9% supremo y 47,9% Colombia. Actividad realizada en forma empírica y manual.
Fermentación	La actividad se inicia con una cantidad menor o igual a 1000kg/día de cereza recolectada, y la clasificación de la cereza que ingresa al proceso se realiza por medio de un separador hidráulico de tornillo sin fin (SHTS), permite la clasificación de frutos por densidad así: la cereza con mayor densidad se fermenta en tanques de plástico para comercializarlo como café especial y las cerezas de menor densidad se fermentan en otro tanque para comercializarlo como café corriente. Proceso controlado por experiencia empírica, solo el tiempo de fermentación se controla con instrumento Fermaestro (Cenicafé, 2010). Buenas prácticas de fermentación en la finca, no se aplican productos químicos para acelerar la fermentación.

Fuente: esta investigación

Figura 7. Diagrama de bloques del proceso de fermentación



Fuente: esta investigación

Se evidencia de la revisión del proceso que las etapas de cosecha y fermentación que no es tecnificado y el 1% (1 profesional del total de la mano de obra) es realizado por personal técnico y no se cuenta con procedimientos normalizados para operar los procesos. Todas las variedades de café no se procesan simultáneamente y se tienen tiempos de espera según los requerimientos de la despulpadora de 1000 Kg/h y la clasificación por densidad del grano en cereza.

Debido a que el proceso de fermentación es controlado en forma visual y por medio del tacto que depende del conocimiento empírico de los operarios, y con la ayuda de un instrumento de control “Fermaestro” hace que ocurran con frecuencia inconvenientes como: granos sobrefermentados y fermentaciones incompletas, que afectan drásticamente en la calidad de taza. Sin embargo; la fermentación se lleva a cabo sin la adición de productos químicos (soda caustica, cloruro de sodio, urea, cenizas y mezclas de mucílago fermentado de tandas anteriores), que es una práctica común realizada en las fincas cafeteras como lo reportan Rebolledo y Vento (2004) y Peñuela (2010) en sus investigaciones.

El proceso de fermentación natural del mucílago, sin aditivos conserva la calidad especial del producto terminado, como se verifica en los análisis físicos y las pruebas de catación realizadas en el año 2014 por Banexport (Anexo D) año en el cual se ha trabajado constantemente para mejorar la calidad del café de la finca.

Sin embargo, considerando que la producción de la recolección intermedia de café en el mes de abril del 2016 registrada fue el 52 % de café pergamino seco de calidad exportación y 48% de café pergamino seco corriente de mercado nacional; se concluye que es un punto a mejorar para incrementar la cantidad de café de exportación que representa un alto ingreso para la empresa; siempre y cuando se mejoren las condiciones de operación, recolección y el tiempo de clasificación, despulpado de la cereza, fermentación y lavado.

La etapa de recolección se identificó como un punto de control por presentar condiciones de operación que ocasionan pérdidas entre el 8% y 10%. Los inconvenientes observados fueron la materia prima recolectada manualmente que ocasionan daños involuntarios de flores, ramas, tallos por rupturas y frutos en estados iniciales de desarrollo. Otras situaciones desfavorables, que afectan la calidad física y sensorial del café, son el porcentaje de frutos secos y pintones, los largos periodos de espera y la degradación de la cereza.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE MATERIA PRIMA EN FERMENTACIÓN

Se presenta las características físicas y organolépticas del mucílago de café y el tiempo de fermentación, según diseño estadístico de bloques completamente al azar, aplicado en la investigación.

3.2.1 Comportamiento de variables físicas del mucílago. Las mediciones promedias de las variables de interés pH, °Brix y temperatura, tomadas cada 4 horas en un periodo de 15 a 17 horas, se reportan en el Anexo E. Mientras los promedios comparativos de las características físicas - organolépticas teóricas y experimentales del mucílago del proceso de fermentación se resumen en el cuadro 14.

En el cuadro 14 se observan una relación directa de los valores teóricos y experimentales de las variables pH, °Brix y temperatura las cuales afectan el tiempo de degradación del mucílago. El valor inicial del pH es mayor al teórico, mientras al final es menor, indicando la formación de compuestos volátiles, alcoholes, ácidos y esterres, como lo reporta Echeverry y Puerta (2015) en su trabajo “fermentación controlada del café”; lo cual ocasiona incremento de la temperatura final en 0,88°C respecto al teórico. Esto posiblemente se debe a que dentro del sistema de fermentación del mucílago ocurren fenómenos de degradación aerobios, reacciones exotérmicas, incremento de energía interna y tasa de crecimiento de microorganismos.

Cuadro 14. Propiedades teóricas y experimentales promedias en mucílago

Propiedades promedias	Experimental				*Teórica	
	Inicial	Desviación estándar	Final	Desviación estándar	Inicial	Final
pH	5,38	±0,280	3,30	±0,132	5,15	3,8
°Brix	17,45	±0,985	12,00	±0,408	18	13
Temperatura (°C)	17,15	±0,474	23,88	±0,907	18-23	
Olor	Característico		Fermento		Cambia según tiempo y sistema de fermentación. Entre 14 a 18 horas se tienen olores a Dulce, limón, verde.	
Color	Cristalino	-	Marrón	-	-	-

Fuente: *Echeverry y Puerta, 2015

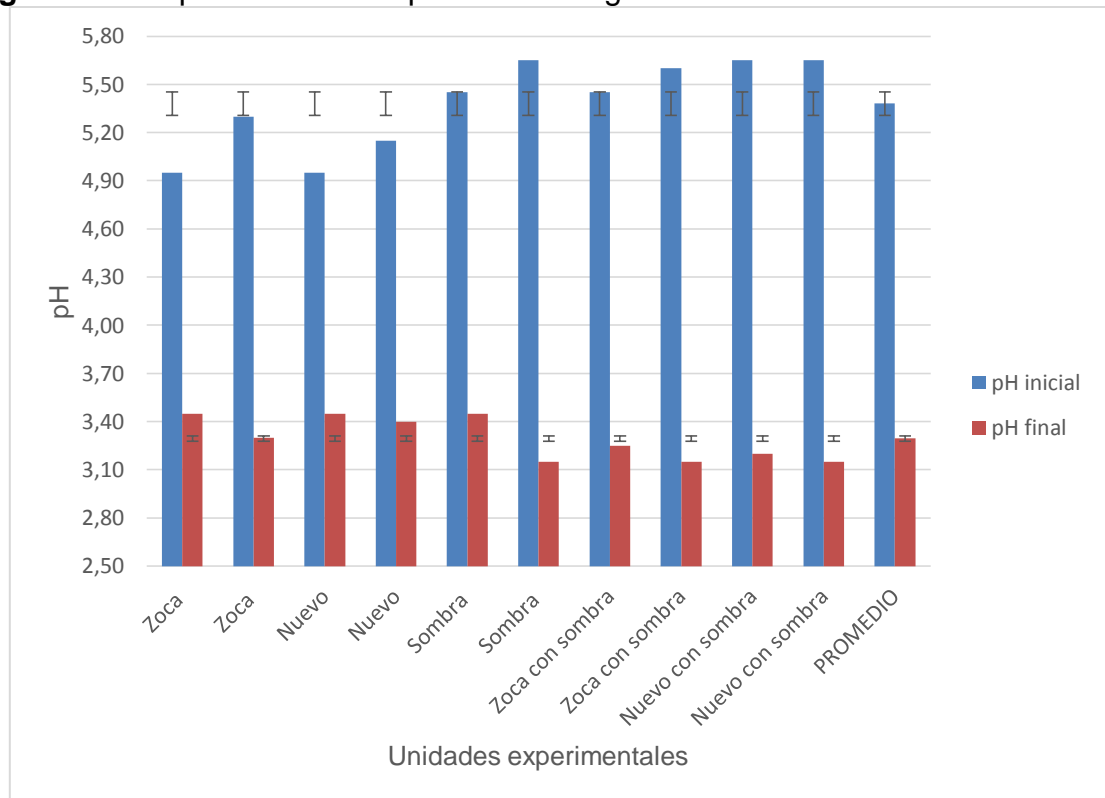
Según lo reportado por Jiménez y otros (2011) en el estudio “Caracterización térmica de la fermentación del café” se presenta una evolución de temperatura a lo largo del proceso en algunos puntos de los fermentadores de 8,5 °C a 17 °C ya sean industriales o prototipos. Por lo cual en esta investigación el comportamiento de la temperatura en el rango (17,15°C- 23,88°C) es muy similar a la de otros investigadores. La temperatura final en el proceso de fermentación, corresponde a un promedio de todas las mediciones, los valores altos pueden ser los causantes del olor característico a fermento y color marrón del mucílago.

En la figura 8 se observa el comportamiento de pH del mucílago durante el proceso de fermentación de café, el cual tiene un comportamiento descendente, el proceso inicia con un valor promedio de 5,38 y finaliza en 3,30 con sus respectivas desviaciones. Desde el inicio de la fermentación se observan valores diferentes que dependen de los sitios de procedencia de recolección de la cereza (materia prima) identificados así: 1 y 2 lote de café con zoca sin sombra (libre exposición), 3 y 4 lote de café nuevo sin sombra, 5 y 6 lote de café con el 60% de sombra (Zoca), 7 y 8 lote de café con zoca más sombra, 9 y 10 lote de café nuevo más sombra.

Como muestra la siguiente figura, los lotes de café con sombra, tienen valores altos de pH con respecto a los demás lotes al inicio de la fermentación indicando menor acidez en el mucílago, al finalizar el proceso los valores de pH se hacen menores indicando mayor acidez. Por lo tanto, se inician y se finalizan con rapidez las reacciones bioquímicas del proceso; según Puerta (2012), estas dependen de

la madurez y de la cantidad de mucílago en las cerezas, del tiempo de recolección, clasificación, despulpado, sistema de fermentación, temperatura interna y externa del proceso. El pH del sustrato (mucílago) disminuye por la formación y disociación de ácidos, principalmente ácido láctico, acético, málico, cítrico, oxálico, fórmico, fosfórico y succínico, que favorecen el desprendimiento del mucílago del café.

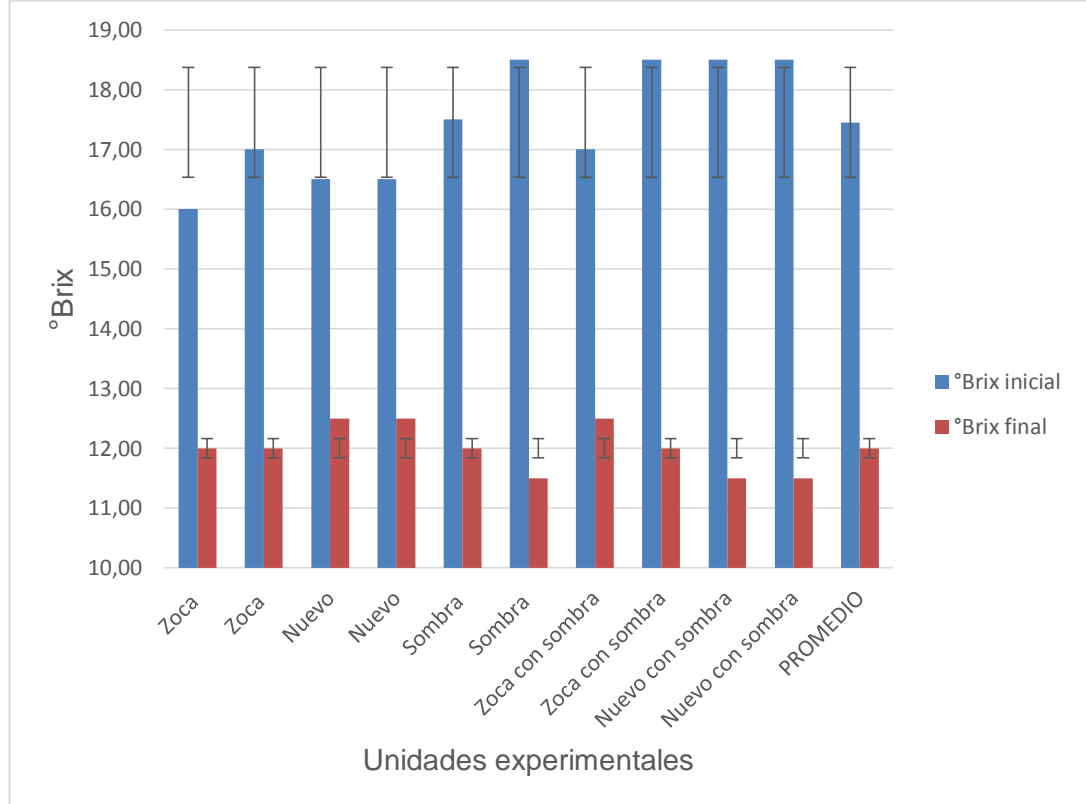
Figura 8. Comportamiento del pH del mucílago de café



Fuente: esta investigación.

En la figura 9 se presenta la variación de grados °Brix en el mucílago durante el proceso de fermentación. La concentración más alta de sólidos solubles (°Brix) al inicio del proceso de fermentación en los granos de café son los lotes que tienen sombra, esto probablemente se debe a la maduración del café, ya que bajo esta condición el fruto madura lentamente mejorando la calidad en baba de la cereza, el tamaño del grano repercute en una mejor conversión de café maduro a pergamino de primera, al igual que la calidad de taza (Anacafe, s.f.).

Figura 9. Comportamiento °Brix del mucílago de café



Fuente: esta investigación

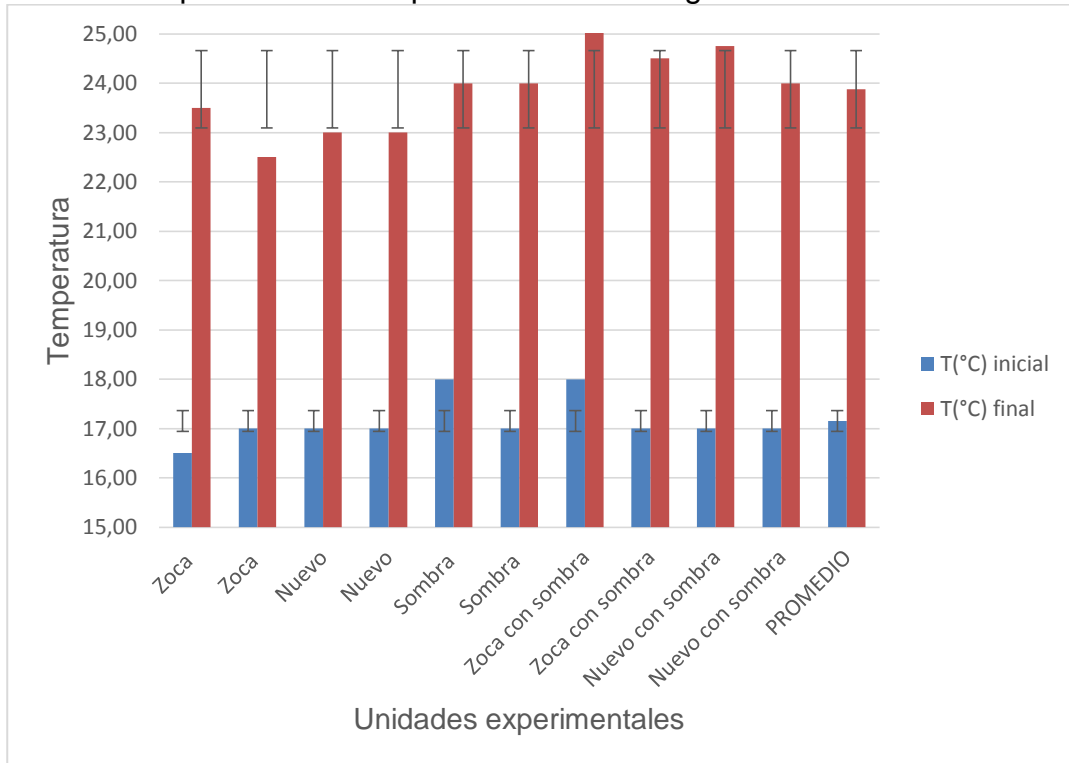
En la gráfica anterior muestra un comportamiento descendente en los °Brix, el proceso inicia con un valor promedio de 17,45 para todas las especies objeto de estudio y finaliza en 12; estos valores están en los rangos máximo de 17 a 19 y mínimo de 12 a 14, reportados por Echeverry y Puerta (2015) para fermentaciones controladas de café entre 18 a 23 °C. Por lo tanto, esta propiedad física, confirma la presencia de azúcares reductores y no reductores.

De acuerdo a las investigaciones de Puerta y Ríos (2011), en la fermentación de todas las unidades experimentales de esta investigación, hubo la formación de etanol, ácido láctico y otros compuestos, debido a la oxidación y degradación de los azúcares por las levaduras y bacterias lácticas y la acidificación. Las cuales ocasionaron los cambios físicos y químicos en el mucílago; además, los azúcares no reductores fueron degradados primero por hidrólisis y luego por fermentación.

En la figura 10 se presenta la variación de temperatura del mucílago durante el proceso de fermentación. El comportamiento de la temperatura fue ascendente iniciando con un valor promedio de 17,15°C y finalizando en promedio en 23,88

°C, no se diferencia al inicio del proceso con respecto a los lotes, esto se debe a que la cereza del café pasa por una clasificación hidráulica, que les permite iniciar el proceso de fermentación en la misma condición de temperatura.

Figura 10. Comportamiento temperatura del mucílago de café



Fuente: esta investigación

El mayor registro de la temperatura final se observa en los lotes con sombra, esto se debe a que las reacciones exotérmicas y bioquímicas tienen un mejor sustrato (mejor calidad en baba que se debe a mayor contenido de azúcares por la madurez de la cereza), lo que quiere decir que hay mayor desarrollo del grano y mejores condiciones para que los microorganismos empiecen con el proceso de fermentación. Puerta (2012), plantea que durante la fermentación se presentan variaciones de temperatura de los granos debido al metabolismo de los microorganismos y producción de energía, estos fenómenos se presentaron con mayor incidencia durante la fermentación de lotes cultivados bajo sombra.

Durante la experimentación, se registró variación de temperatura en diferentes zonas del fermentador, específicamente en el centro y fondo desde el inicio y finalizado el proceso fermentativo. Por lo tanto, el proceso no fue isotérmico, al tiempo que hubo reacciones químicas de carácter exotérmico.

3.2.2 Tiempo de fermentación. Los datos experimentales del tiempo de fermentación se reportan en el Anexo F, y los análisis estadísticos obtenidos del paquete estadístico Minitab 16 y nivel de significancia $\alpha=0,05$, se reportan en el Anexo G. Los valores experimentales analizados con la prueba de normalidad indican que estos siguen una distribución normal, debido a que el valor del estadístico de prueba presenta una probabilidad de 0,150 el cual es mayor que el nivel de significancia 0,05; lo que indica que la distribución de la muestra es normal, por lo cual se empleó un método de análisis de tipo paramétrico Anova.

Así mismo, en la prueba de homogeneidad de varianzas (Anexo G), el p-valor reportado según la prueba de Bartlett es de 0,814, superior al nivel de significancia seleccionado (0,05), por lo que se puede establecer la igualdad de varianza entre los tratamientos.

En el cuadro 15 se reportan los resultados del análisis de la Anova (Anexo G), se tiene que el tiempo de fermentación del mucílago está en un rango de 20,5 a 25,0 horas y es independiente del lugar de procedencia (P-valor > 0,05). En los lotes que tienen sombra el tiempo es menor de 18 a 22 horas, comparado con los lotes a libre exposición (sin sombra) con un promedio de 23 a 27 horas, estos resultados son comparables a los reportados Echeverry y Puerta (2015), para fermentaciones sólidas abiertas de 14 a 18 horas en una temperatura de 20 a 24 °C y de 14 a 24 horas para 13 y 17 °C.

Cuadro 15. Resultados de análisis Anova

Tratamiento	P1	P2	P3	P4	P5
Tiempo	25,0 ± 2,83 ^a	25,0 ± 1,41 ^a	22,5 ± 0,71 ^a	20,0 ± 1,41 ^a	20,0 ± 2,83 ^a

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: esta investigación

3.3 PROCESO DE SECADO

En el cuadro 16, se resume los resultados obtenidos en la revisión el proceso de secado reportado en la lista de chequeo (Anexo C). En la figura 11 se representa el diagrama de bloques del proceso de secado que se realiza actualmente en la finca “Patio Bonito”, este inicia con el café procedente de la fermentación, denominado por Cenicafé como café pergamino húmedo que entra directamente al secador parabólico donde se controla la humedad con el método de gravimétrico que según lo reportado por Cenicafé (2009) está definido en un rango

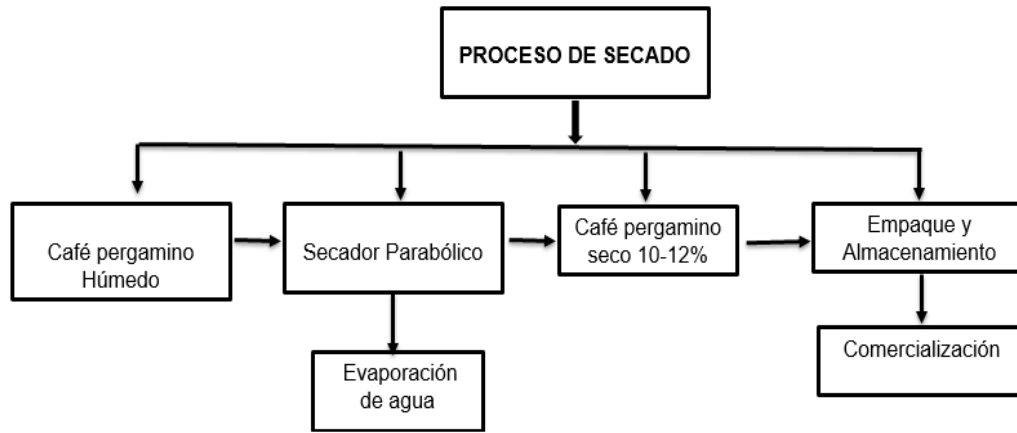
de 10% al 12%, para que el producto final conserve sus características físicas, sensoriales e inocuidad.

Cuadro 16. Observaciones del proceso secado

Ítems evaluados	Observaciones
Proceso de Secado	<p>El proceso se inicia después de la etapa de lavado del café donde se deja escurrir por tiempo de una hora aproximadamente, para llevar los granos a los secadores e iniciar con el secado, se controla con el método de gravimetría y experiencia empírica del color verde azulado del grano.</p> <p>El área no es suficiente para secar la totalidad del grano en época de cosecha, esto hace que se coloquen los granos en patios y finalizar el proceso, afectando la calidad de la almendra.</p>

Fuente: esta investigación

Figura 11. Diagrama de bloques proceso de secado.



Fuente: esta investigación

Este proceso es lento y de mayor cuidado, los granos requieren de un tiempo de 7 a 15 días en los secadores parabólicos; además, se requiere de mano de obra constante para remover los granos al inicio del proceso, evitar el deterioro, el mal olor y homogeneizar el proceso. Además, no se cuenta con un control de la temperatura y se acude al conocimiento empírico para controlar el proceso, se empaqueta y se almacena hasta el momento de su comercialización. Esta es una tecnología de secado alternativa propia para el campo, la cual puede mejorarse, implementando controles de variables críticas como la temperatura y humedad relativa dentro de los sistemas de secado existentes.

3.4 CINÉTICA DEL SECADO DE LA ALMENDRA DEL CAFÉ

Se analiza las curvas de secado y la duración del secado con la infraestructura actual que tiene la empresa. Estas dos variables afectan la calidad final del producto.

3.4.1. Velocidad de secado. Los datos de pérdida de peso en el tiempo y la velocidad constante de secado de la almendra de café para las unidades experimentales definidas en el diseño experimental, se reportan en el Anexo H y en el cuadro 17 se comparan las velocidades obtenidas de las curvas de secado (Anexo I). Se obtienen rangos de velocidad para el secador 1 máximo 0,0868 y mínimo 0,0174 kg agua/hr.m², mientras para el secador 2 valores de 0,1388 y 0,0694 kg agua/hr.m², como se verifica en el periodo de velocidad constante. Se observa que la mayor rapidez de eliminación de humedad se presenta para el secador 2. La pérdida también puede ser causada debido al tipo, forma, tamaño del grano y a las condiciones del aire que lo rodea. Comparando los rangos máximos de ambos secadores se obtiene una diferencia del 37,5% indicando mayor velocidad de evaporación en el secador 2, debido a que los materiales granulados en este caso café la primera fase decreciente no aparece, afectando la cinética de secado tal como lo reporta la literatura en los mecanismos de secado (Geankoplis, 1998).

Cuadro 17. Velocidad de secado en las unidades experimentales

Velocidad de secado Rc (kg agua/hr.m²)			
SECADOR 1		SECADOR 2	
Sitios de procedencia	Rc	Sitios de procedencia	Rc
P1F2S1	0,0347	P1F2S2	0,0694
P2F2S1	0,0174	P2F2S2	0,0800
P3F2S1	0,0520	P3F2S2	0,1060
P4F2S1	0,0521	P4F2S2	0,0800
P5F2S1	0,0580	P5F2S2	0,1388
Réplica		Réplica	
P1F2S1	0,0694	P1F2S2	0,0868
P2F2S1	0,0868	P2F2S2	0,1120
P3F2S1	0,0486	P3F2S2	0,1041
P4F2S1	0,0868	P4F2S2	0,0694
P5F2S1	0,0500	P5F2S2	0,1042

Fuente: esta investigación

Los datos obtenidos de velocidad de secado fueron procesados con el paquete estadístico Minitab 16 y un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Se realizó un análisis para comprobación de supuestos que son la prueba de normalidad de la información, homogeneidad varianzas e independencia. En la Anexo I y de acuerdo al p-valor (0,100), cuyo valor es superior al valor de significancia (0,05) se puede afirmar que la información cumple el supuesto de la normalidad. Con respecto a la igualdad de varianzas (Anexo I), se puede observar que también cumplen este supuesto, dado que el p-valor = 0,331 en la prueba de Barlett es superior al nivel de significancia (0,05).

Finalmente, la independencia de la información recolectada experimentalmente se comprueba gráficamente (Anexo I), estableciendo que no existe ningún patrón sistemático de comportamiento de los datos, por lo que también se cumple este supuesto.

Al realizar el análisis Anova correspondiente (cuadro 18), se puede ver que la interacción entre los sitios de procedencia y tipo de secador al tiempo no tienen efecto significativo sobre la velocidad de secado (p-valor > 0,05), pero de forma individual se puede ver que quien ejerce un mayor efecto significativo sobre la variable de respuesta es el tipo de secador con un p-valor inferior al nivel de significancia ($0,003 < 0,05$), por lo que es importante determinar gráficamente cual es el método de secado que presenta una mayor velocidad en este proceso.

Cuadro 18. Anova

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Procedencia	Fijo	5	P1,P2,P3,P4,P5
Secador	Fijo	2	Parabólico abierto Parabólico con plancha en el piso

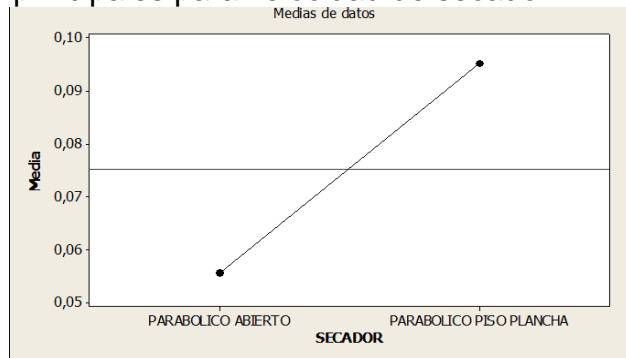
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
PROCEDENCIA	4	0,0011	0,0011	0,0003	0,56	0,699
SECADOR	1	0,0078	0,0078	0,0078	15,69	0,003
PROCEDENCIA*SECADOR	4	0,0024	0,0024	0,0006	1,20	0,368
Error	10	0,0049	0,0049	0,0049		
Total	19	0,0163				

S = 0,0222935 R-cuad. = 69,45% R-cuad.(ajustado) = 41,95%

Fuente: esta investigación

En la figura 12 se puede observar que la mayor velocidad de secado se logra con el método de secado parabólico con plancha en el piso, independiente de la procedencia del café.

Figura 12. Efectos principales para velocidad de secado



Fuente: esta investigación

3.4.2 Tiempo de secado. Los datos experimentales del tiempo de secado se reportan en el Anexo J, estos fueron procesados con paquete estadístico Minitab 16 y nivel de significancia $\alpha=0,05$. Se realizó un análisis para comprobación de supuestos que son la prueba de normalidad de la información, homogeneidad varianzas e independencia. El tiempo de secado en cada una de las unidades experimentales y obtenidas mediante curvas de secado se presentan en el cuadro 19.

Cuadro 19. Duración del secado en las unidades experimentales.

Tiempo de secado (días)			
SECADOR 1		SECADOR 2	
Sitios de procedencia	t (días)	Sitios de procedencia	t (días)
P1FS1	10,64	P1FS2	2,68
P2FS1	14,65	P2FS2	1,960
P3FS1	6,71	P3FS2	3,230
P4FS1	6,63	P4FS2	4,370
P5FS1	6,64	P5FS2	2,900
Réplica		Réplica	
P1FS1	9,15	P1FS2	6,960
P2FS1	5,4	P2FS2	4,19
P3FS1	5,81	P3FS2	4,22
P4FS1	5,3	P4FS2	4,02
P5FS1	8,27	P5FS2	3,78

Fuente: esta investigación

Del análisis estadístico, con la prueba de normalidad (Anexo J), se encuentra que los datos no tienen un comportamiento normal como lo expresa el p-valor (0,034) según la prueba de Shapiro-Wilk ($p\text{-valor} < 0,05$), esto se debe posiblemente a que las observaciones obtenidas tienen mucha variación asociada a una falla en la planeación en el experimento y a la variación de las condiciones del medio ambiente, esto se nota en la variación de los datos obtenidos. La prueba de homogeneidad de varianzas muestra un resultado significativo estadísticamente, al emplear la prueba de Barlett presenta un p-valor de $0,221 > 0,05$ lo que indica que existe igualdad de varianzas, este resultado es el esperado.

El último de los supuestos a ser comprobado es la independencia de los tratamientos, esto se relaciona al cumplimiento de aleatoriedad al momento de tomar la información lo que se constata Anexo I. Los resultados de cada uno de los tratamientos (puntos rojos en las gráficas) no muestran ningún comportamiento sistemático y se encuentran distribuidas aleatoriamente en el espacio.

Como se puede observar, el supuesto que no se cumple es la normalidad, para ello se recurre a una transformación de la información, empleando el método de Box-cox (Anexo I) y con ello se realiza un nuevo Anova como diseño factorial.

A continuación, se muestra la lista de datos transformados (cuadro 20) los cuales son tabulados para realizar el análisis por el método de Anova.

Cuadro 20. Datos transformados

Tiempo de secado (días)			
SECADOR 1		SECADOR 2	
Sitios de procedencia	t (días)	Sitios de procedencia	t (días)
P1FS1	2,36462	P1FS2	0,98582
P2FS1	2,68444	P2SF2	0,67294
P3FS1	1,90360	P3FS2	1,17248
P4FS1	1,89160	P4FS2	1,47476
P5FS1	1,86563	P5FS2	1,06471
Réplica		Réplica	
P1FS1	2,21375	P1FS2	1,94018
P2FS1	1,62924	P2FS2	1,43270
P3FS1	1,75958	P3FS2	1,43984
P4FS1	1,66771	P4FS2	1,39128
P5FS1	2,11263	P5FS2	1,32972

Finalmente, se presenta el análisis por Anova (cuadro 21) de los datos transformados.

Cuadro 21. Anova

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Procedencia	Fijo	5	P1,P2,P3,P4,P5
Secador	Fijo	2	Parabólico abierto Parabólico con plancha en el piso

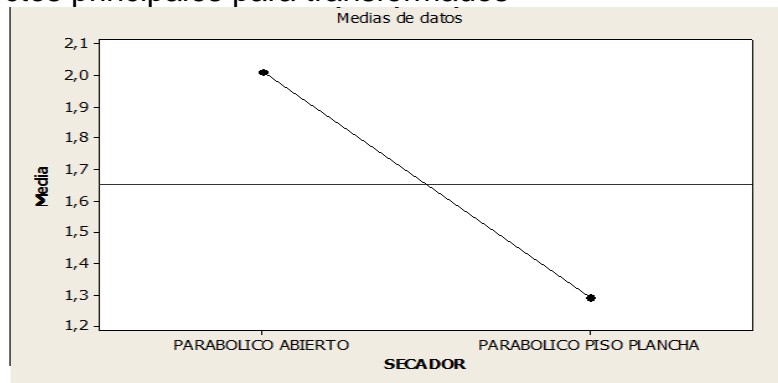
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
PROCEDENCIA	4	0,2595	0,2595	0,0649	0,45	0,773
SECADOR	1	2,5836	2,5836	2,5836	17,79	0,002
PROCEDENCIA*SECADOR	4	0,3412	0,3412	0,0853	0,59	0,679
Error	10	1,4524	1,4524	0,0853	0,59	0,679
Total	19	4,6367				

S = 0,381104 R-cuad. = 68,68% R-cuad.(ajustado) = 40,48%

De acuerdo a lo que se puede observar, con un 95% de confianza no hay un efecto de interacción significativo, sobre la variable de respuesta en este caso el tiempo de secado, esto significa que la relación entre sitios de procedencia y tipo de secador en conjunto no afectan el tiempo de secado. No obstante, se puede ver que de forma individual solo el tipo de secador (p-valor 0,002) es la única variable que afecta el tiempo de secado.

Al verificar este comportamiento en la figura 13, se puede observar que se logra un menor tiempo de secado en el secador parabólico con plancha en el piso, independiente del sitio de procedencia del café empleado en el experimento.

Figura 13. Efectos principales para transformados



Fuente: esta investigación

De acuerdo con esto y teniendo en cuenta la información antes de su transformación (cuadro 19), se podría afirmar que el rango de tiempo en el secador 2 es de 1,96 a 6,96 días, con velocidades de secado entre 0,1388 y 0,0694 kg agua/hr.m², el mínimo se tiene para la unidad experimental P2FS2, que corresponde a un cultivo nuevo de café sin sombra, secador parabólico con plancha en piso y fermentación aerobia, mostrando que las condiciones de operación son más favorables, debido a que la plancha de concreto actúa como un acumulador de calor en el día y mantiene las condiciones de transferencias de calor hacia el grano durante la noche. El máximo valor de tiempo es para P1F2S2 que corresponde a un cultivo de zoca, que comparado con los cultivos de zoca con sombra aún es mayor porque las condiciones ambientales donde se ubica el secado son muy variables.

El rango de tiempo en el secador 1 es de mínimo de 5,3 y máximo 14,65 días, con velocidades de secado entre 0,0868 y 0,0174 kg agua/hr.m², el mínimo se tiene para la unidad experimental P4FS1, que corresponde a un cultivo nuevo de café con sombra, secador parabólico y fermentación aerobia, y el máximo valor es para P2F2S1 que corresponde a un cultivo nuevo. Comparando los resultados de los tiempos de secado entre las unidades experimentales y sus réplicas en cada uno de los secadores se concluye que las condiciones experimentales influyen significativamente en las condiciones de operación del proceso y los tiempos de permanencia del producto en los secadores.

De los datos de la prueba de secado directo experimental (Anexo K) realizado en laboratorio a condiciones ambientales de TBH= 22°C y TBS= 28,5°C, y muestras de café pergamino húmedo en horno a temperatura de 50°C, se obtiene un tiempo de secado de 7,91 horas, que representa la condición de operación límite al que se podría llevar un secador parabólico solar y minimizar los tiempos de secado cuando se tengan altas tasas de producción, teniendo en cuenta que el producto debe ser consumido a la menor brevedad para evitar inconformidades en la calidad del producto final.

3.5 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO.

En el cuadro 22 se especifica las acciones y los sistemas existentes que permiten mejorar las etapas involucradas en el proceso de fermentación natural del mucílago del café y secado de café pergamino. En el cuadro 23 se determinan los sistemas a utilizar para el mejoramiento de los procesos y los costos en la finca "Patio Bonito".

Cuadro 22. Sistemas existentes y acciones de mejora.

Estructuración del Proceso	
Sistemas	Acciones de mejora
Sistema reservorio: tanque de almacenamiento de agua bajo superficie, aprovechando las aguas lluvias en tiempos de invierno y las áreas con la mejor ubicación topográfica.	Mejorar la disponibilidad de fuentes de aguas, Continuar con el sistema de tanques reservorios actuales y ampliar la capacidad de estos con el fin de atender el incremento de las futuras tasas de producción de la empresa.
Lagunas de oxidación biológica Sistemas biofiltración. Sistemas de recirculación de aguas	Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en la etapa de lavado de Fermentación.
Sistemas de energía renovables: uso de sistemas fotovoltaicos.	Mejorar la disponibilidad de la energía, secadores con mejor nivel de tecnificación para el aprovechamiento de la energía solar.
Vincular Técnicos Agropecuarios. Ingenieros Agrónomos Especialista en Café	En la operación del Proceso, incrementar la mano obra calificada a nivel técnico 60%, profesionales 3% y el resto por comunidad de la región. Crear una oficina de calidad e investigación, que se cargue de innovación y mejoramiento continuo.
Paquetes de software de proceso (Super Pro, Excel avanzado), y de mantenimiento. Contratos con Ministerio de Salud Pública y del Medio Ambiente Diseño de procesos eco eficientes en la etapa de recolección que garantice la cantidad requerida en la despulpadora en el menor tiempo posible Sistemas de producción integrados (sistema mixto de red de calefacción centralizado y producción de electricidad).	Sistematizar y Controlar los procesos desde la etapa de pos cosecha (recolección) Realizar manuales de operación de proceso y mantenimiento de máquinas para: recolección, BPM, instructivos de procesos, Programa de desinfección y control Ambiental.


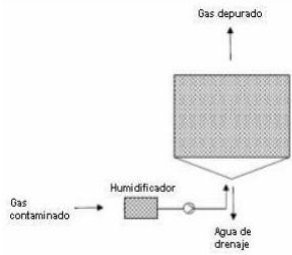
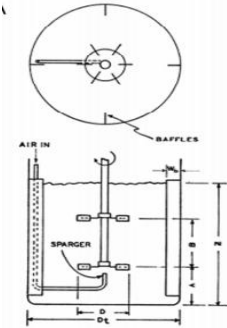
Fuente: esta investigación

Cuadro 22. (Continuación)

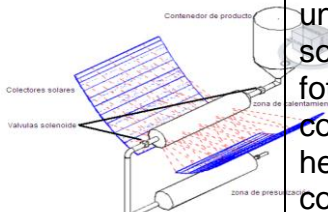
Fermentación	
Sistemas	Acciones de mejora
<p>Implementar técnicas de recolección semimecanizadas</p> <p>Aplicar Técnica de sombrío en los cafetales (Cenicafé 2004).</p> <p>Sistemas de almacenamiento y manejo de granos.</p>	<p>Mejorar las condiciones de cosecha.</p> <p>Atenuar efectos negativos en periodos de sequía prolongados, mantener la fertilidad del suelo y reciclar nutrientes que aportan materia orgánica y reducen erosión.</p>
<p>Técnica de Compostaje y remediadores de suelo.</p> <p>Sistemas de conversión de biomasa para generación de energía térmica y biocombustibles, así autoabastecerse en los propios consumos de energía de la planta "Patio Bonito".</p> <p>Sistemas de generación energética, y los excedentes venderlo a la red pública.</p>	<p>Aprovechamiento de la pérdida de 8 al 10% de la cereza que se pierde en recolección y se deja.</p> <p>Aprovechamiento de la cascara de la cereza y de fluidos semiviscosos como las aguas mieles.</p>
<p>Sistemas de fermentación con reactores instrumentados.</p> <p>Sistemas de enchaqueta miento.</p> <p>Diseño y construcción de materiales anticorrosivos.</p> <p>Calibración de equipos</p> <p>Investigación de complejos enzimáticos y bacterias eficientes.</p>	<p>Operar las etapas de fermentación según el comportamiento de variables físicas de pH= 5,38 a 3,3, °Brix= 17, 45 a 12, la temperatura en el rango de 17,15°C de 23,88°C y tiempo de fermentación de 20,5 a 24,5 horas.</p> <p>Adaptación de bacterias y enzimas benéficas que degraden, disminuyan el tiempo de fermentación.</p>
Secado	
Sistemas	Acciones de mejora
<p>Sistema de instrumentación en secadores.</p> <p>Sistema de medición de flujos.</p> <p>Sistema de ventilación y extractores</p> <p>Sistema de calentamiento con fuentes de energía alternativa y convencional.</p> <p>Sistemas des humidificación.</p>	<p>El secador 2 es el más eficiente de 1,96 a 6,96 días, con velocidades constantes de secado entre 0,08 y 0,087 kg agua/hr.m² y se requiere controlar.</p> <p>Reducir los tiempos del secador parabólico 1 que es de 5,3 a 14,65 días, con velocidades constantes de secado entre 0,0868 y 0,0174 kg agua/hr.m².</p>

Fuente: esta investigación

Cuadro 23. Sistemas y costos del mejoramiento de los procesos

Sistema a usar	Características	Costos (COP)
<p>Sistema reservorio: tanque de almacenamiento de agua bajo superficie</p> 	<p>Tanques australianos Características técnicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Material: Lámina Acceso galvanizada -Recubrimiento: con geomembrana de PVC de 0,7 milímetros reforzada en malla de poliéster. -Instrucciones de armado escrito y video. -Protección Total de la geomembrana, evitando daños y perforaciones por descuidos, accidentes o vandalismo en sus más de 15 años de vida útil. -De fácil limpieza, desinfección y eliminación de sólidos (Mercado libre, s.f.). 	<p>\$2´177.000</p>
<p>Biofiltros y recirculación de aguas.</p> 	<p>Los filtros que utilizarían como empaque (pulpa, mieles, hojas, pasto y material orgánico). El efluente, aguas servidas o residuos líquidos orgánicos, es rociado en la superficie del Biofiltro y escurre por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica, la cual es consumida por la actividad microbológica, oxidándola y degradándola.</p> <p>Los materiales a utilizar son rellenos, equipos, tuberías, equipo electrónico, instalación de equipos, diseño de ingeniería, revestimiento, movilización/ retirada y varios (Fernández, 2010).</p>	<p>\$ 9´079.094</p>
<p>Reactores instrumentados y enchaquetamiento.</p> 	<p>Referencia de reactores con agitadores. Capacidad: Requerida Material: acero inoxidable. Formas de calefacción: calefacción con enchaquetamiento. Combinado de potencia: selección del modelo se hace de acuerdo a la viscosidad del material, relación de líquido-sólido, líquido gravedad específica, sólido peso específico, sólido granularidad, velocidad de rotación. Formas de paletas agitadoras: tipo de paleta plana, tipo de pared inclinada,</p>	<p>\$5´064.265, 72</p>

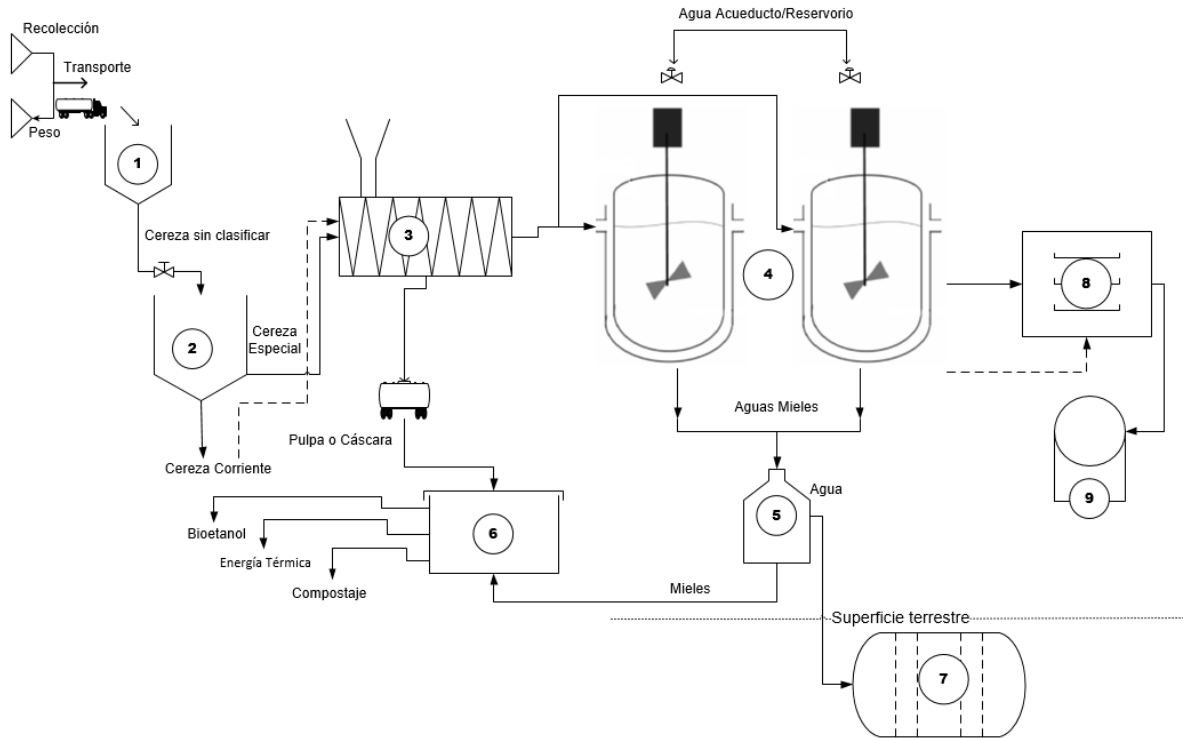
Cuadro 23. (Continuación)

	<p>empujador tipo y tipo compuesto múltiple. Válvula de descarga: válvula de bola con bridas, abierto hacia abajo la válvula de descarga y otros. Tecnología del orificio del tubo: boca de inspección, vidrio de vista, los materiales importados, presión, indicador de puerto, temperatura, boca de llenado (Alibaba.com, s.f).</p>	
<p>Sistemas fotovoltaicos</p> 	<p>Las instalaciones solares fotovoltaicas funcionan de acuerdo con un sencillo principio: constan de paneles solares (módulos fotovoltaicos) individuales, que a su vez contienen células solares individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo). Los costos están calculados en ingeniería de diseño, materiales de estructura, colector, sensores, mecanismo, circuito para seguidor solar y control general (Valderrábano, 2011).</p>	<p>\$2'807.549,036</p>
Total costo		<p>\$19'127 908,76</p>

Fuente: esta investigación

En la figura 14 se presenta el diagrama de proceso con las posibilidades de mejora en fermentación natural del mucílago y secado café pergamino. Se mejoró la etapa de cosecha implementando una tolva de almacenamiento, con el fin de que la cereza una vez recogida llega directamente a este equipo. Se propone eliminar la etapa de lavado manual después de fermentación, de forma que ingrese el agua de lavado directamente al fermentador provisto de dos sistemas de agitación con aspa. En la etapa de disposición final se propone implementar sistemas de aprovechamiento de biomasa, para la generación de la energía térmica o sistema de compostaje y remediación de suelos. En el proceso de secado implementar sistemas de secadores contraflujo, operados con energía solar con sistemas de ventilación y extractores.

Figura 14. Diagrama de mejora del proceso de fermentación y secado



Fuente: esta investigación

Cuadro 24. Nomenclatura del diagrama de mejora del proceso de fermentación y secado

Ítem	Nomenclatura
1	Tolva de Almacenamiento
2	Clasificación de cereza especial y corriente
3	Despulpado mecánico
4	Tanques de Fermentación integrados al sistema de lavado automático
5	Tanque de separación de agua miel
6	Sistema de tratamiento de masa
7	Tanque de almacenamiento subterráneo
8	Sistemas de secado
9	Almacenamiento

Fuente: esta investigación

4. CONCLUSIONES

Se concluye que las condiciones experimentales influyen significativamente en las condiciones de operación del proceso fermentación natural del mucílago de café y secado de café pergamino independientemente de los sitios de procedencia afectan la variabilidad del producto a comercializar.

Las condiciones de operación encontradas para el proceso actual de separación del mucílago en la finca "Patio Bonito" fueron pH inicial de 5,38 y final de 3,30, °Brix inicial de 17,45 y final de 12, temperatura inicial de 17,15°C y final de 23,88°C y tiempo de fermentación en los rangos de 20,5 a 24,50 horas, las cuales hacen que el café comercializado de la finca el 52% sea café especial y 48% sea café corriente.

Las condiciones de operación encontradas para el proceso actual de secado de café pergamino en los secadores parabólicos fueron tiempo y velocidad de secado, con un rango de tiempo en el secador 1 de 5,3 a 14,65 días con velocidades constantes de secado entre 0,0868 y 0,0174 kg agua/hr.m² y el secador 2 con un tiempo de 1,96 a 6,96 días con velocidades constantes de secado de 0,0694 y 0,1388 kg agua/hr.

Se concluye que el secador parabólico con plancha en el piso (S2) es el más eficiente para secar café cultivado con sombrero con una duración estimada de secado de 4,38 días, mientras para el secador parabólico (S1) la duración del secado es de 6,71 días.

El mejoramiento del proceso de fermentación y secado en términos de diagramas de flujo, de acciones y sistemas a implementar depende de las tecnologías a utilizar, por lo tanto el costeo se estima en \$ 19'127.908,76 considerando las capacidades de inversión de la empresa.

5. RECOMENDACIONES

Implementar la instrumentación de control para los procesos de fermentación natural del mucílago y secado, especialmente en el secador parabólico con plancha considerando que es el más eficiente para conservar la calidad de producto, especialmente para tratar cultivos con sombrero.

Realizar estudios complementarios y exhaustivos de variables ambientales como la humedad relativa, flujos de aire y temperatura del aire que circula dentro y fuera del secador, ya que son variables interfieren en la cinética de secado.

Evaluar diferentes alternativas considerando las acciones y sistemas a implementar propuestos en esta investigación para mejorar cada uno de los procesos de producción de café pergamino seco.

Vigilar que los subproductos líquidos y sólidos generados en las etapas de fermentación (pulpa, mieles y agua de lavado) y secado (material de empaque) sean conducidos a una unidad de transferencia donde sean aprovechados.

BIBLIOGRAFÍA

ALANIZ V, Heydi Noreli y MARTÍNEZ G, Hazell Mercedes. Incidencia de los procesos de beneficiado y factores ambientales en la calidad de café, producido en el departamento de Jinotega, para realizar propuesta de delimitación geográfica de una Denominación de Origen y/o Indicación Geográfica en este Departamento. Sede Regional del Norte. [En línea]. Universidad Nacional de Ingeniería. 2012. p. 8-66. [Citado el 10 de abril de 2015]. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2012/08/protocolo-tesis-jinotega-02-10-2012.pdf>

Alibaba.com. Global trade starts here. [En línea]. [Citado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/jinzong-machinery-stainless-steel-chemical-reactor-vessel-1630257355.html?s=p>

ALMA CAFÉ S.A. Paisaje cultural cafetero. Capital social estratégico. [En línea]. [Citado el 28 de abril de 2016]. Disponible en: <http://paisajeculturalcafetero.org.co/contenido/cafe-de-calidad>

ALARCÓN M, Mario Ricardo. Propuesta de un sistema de secado semi-automatizado de café, para generar un proceso productivo y eficiente en la cooperativa Acatenango. Tesis de grado. [En línea]. Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 2010. p. 65-73. [Citado el 18 de abril de 2015]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0559_MI.pdf

ANACAFÉ.org. La sombra en el cultivo de café. [En línea]. [Citado el 20 de agosto de 2016]. Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Sombra_en_el_cafeto

ARGUELLO B, Robiel y SÁNCHEZ C, Edgar. Diseño y construcción de un silo secador de granos de café con la utilización de un quemador dual de combustible (GAS ACPM). Trabajo de grado. Ingeniería mecánica. Universidad industrial de Santander [En línea] Bucaramanga. 2005 [citado el 15 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6126/2/116921.pdf>

CABRERA, V. Adán. El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Cholula,

Puebla, México.: Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. [En línea]. Junio, 2004. [Citado el 18 de abril de 2015]. Disponible en internet URL: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/Documentos/lim/cabrera_v_a/

CAMPO LUNA, Elías. Tecnología del café. [En línea]. Capítulo 1. 46 p. [Citado el 10 de abril de 2015]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/213956/213956_2-9-1-13.pdf

CÁRDENAS, Enma, *et al.* Control de calidad del café. Manual técnico. Selva central. [En línea] Centro de estudios y promoción de desarrollo- 2013. Disponible en: http://www.desco.org.pe/sites/default/files/publicaciones/files/calidadcafe_VF.pdf

CÁRDENAS D, Juan Pablo y PARDO P, Juan David. Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera. [En línea]. Bogotá. 2014 [citado el 15 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/159/1/CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20LAS%20ETAPAS%20DE%20FERMENTACI%C3%93N%20Y%20SECADO%20%20DEL%20CAF%C3%89%20%20LA%20PRIMAVERA.pdf>

CASTILLO, Rubén, *et al.* Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del café arábico. Informe técnico Portoviejo. [En línea]. Septiembre 14 del 2010. p. 6-10. [Citado el 13 de abril de 2015]. Disponible en: <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/11/2-Arabica-Postcosecha-2010.pdf>

CENICAFÉ. Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método de Gravimet. [En línea]. Septiembre de 2009. Serie de informes técnicos: 387. [Citado el 16 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>

CENICAFÉ. Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central de Colombia [En línea]. Diciembre de 2004. Serie de informes técnicos: 330. [Citado el 16 de Agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0330.pdf>

ECHEVERRY M, José G y PUERTA Q, Gloria Inés. Fermentación controlada del café. Tecnología para agregar valor a la calidad. [En línea]. Abril de 2015. Serie de

informes técnicos: 454. [Citado el 16 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/558/1/avt0454.pdf>

FARFÁN VALENCIA, Fernando. Cafés especiales. Sistemas de producción cafés en Colombia. . [En línea]. Capítulo 10. p. 234-235. [Citado el 10 de abril de 2015]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo10.pdf>

FARFÁN V, Fernando. Buenas prácticas agrícolas en la caficultura. [En línea]. Capítulo 12. p. 14-26. [Citado el 10 de abril de 2015]. Disponible en: <http://jovenesrurales.minagricultura.gov.co/documents/10180/166839/Las+Buenas+Pr%C3%A1cticas+Agr%C3%ADcolas+en+la+caficultura/d3060317-4fea-4843-b5a8-06362801c935;jsessionid=ABCD7B43EA91242301B15E97BAAFFE59.worker0>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Beneficio del café II. Secado del café pergamino. Cartilla 21. [En línea] [Citado el 18 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://documents.mx/documents/cartilla-cafetera-21-beneficio-del-cafe-2.html>

FERNÁNDEZ, Sergio. Evaluación de los costes de construcción y operación de un biofiltro. Trabajo de grado. . [En línea]. Universidad autónoma de Barcelona. 12 de junio 2010. [Citado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_5404/PFC_SergioFernandezSe.pdf

GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Tercera Edición México. Compañía Editorial Continental, S.A de C.V. México, 1998. p. 596 – 605, 613, 614.

Mercado libre. Almacenamiento-de-aguas-lluvias-y-agua-potable. [En línea]. [Citado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-427008283-tanques-para-almacenamiento-de-aguas-lluvias-y-agua-potable-_JM

Ministerio de Agricultura. Manual de buenas prácticas de manufactura en el beneficio bio café oro de Tarrazú s.a. Lineamientos a seguir conducentes a un

programa de buenas prácticas de manufactura (beneficiado). [En línea]. Agosto 2009 – marzo 2010. [Citado el 13 de abril de 2015]. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00205.pdf

Ministerio del Medio ambiente. Como llevar a cabo un diagnóstico ambiental para la identificación y aprovechamiento de oportunidades de producción más limpia en PYME, Guía de consultores Acopi, banco interamericano de desarrollo, abril 2002.

PEÑUELA M, Aida Esther. Estudio de la remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. Trabajo de maestría. [En línea]. Universidad de Manizales Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente. 2010. p. 23-29. [Citado el 5 de abril de 2015]. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1072/1/Pe%C3%B1uela_Martinez_Aida_Esther_2010.pdf

Plan de Desarrollo Municipal. Proyecto de acuerdo por medio del cual se adopta el plan de desarrollo del municipio de Caldono para el periodo 2.012 – 2.015. [Citado el 5 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/caldono%20-pd-2012-2015-.pdf>

PUERTA Q, Gloria Inés. Composición química de una taza de café. [En línea]. Diciembre de 2011. Serie de informes técnicos: 414. [Citado el 18 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>

PUERTA Q, Gloria Inés y Sara Ríos Arias. Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. [En línea].Cenicafé 2011 [Citado el 20 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/documents/2.pdf>

PUERTA Q, Gloria Inés. Factores, procesos y controles en la fermentación del café. [En línea]. Agosto de 2012. Serie de informes técnicos: 422. [Citado el 20 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0422.pdf>

PUERTA Q, Gloria Inés. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. [En línea]. Diciembre de 2010. Serie de informes técnicos: 402. [Citado el

5 de abril de 2015]. Disponible en:
<http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0402.pdf>

PUERTA Q, Gloria Inés. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. [En línea]. Octubre de 2006. Serie de informes técnicos: 352. [Citado el 16 de febrero de 2016]. Disponible en:
http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/2.pdf

VALDERRÁBANO R, Raúl. Concentración de energía solar para el secado de café pergamino. Tesis de grado. [En línea]. Escuela superior de Ingeniería mecánica y eléctrica. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. enero 2011. 25 p. [Citado el 5 de abril de 2015]. Disponible en:
<http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/10062/1/117.pdf>

REBOLLEDO E, Iván Darío y VENTO B, Luis Alberto. Propuesta de agroindustrialización del proceso de beneficio del café en el municipio de la Unión (Nariño), de acuerdo a las características de calidad esperadas por el cliente a nivel internacional. Trabajo de grado. [En línea]. Pontificia universidad Javeriana. Bogotá D.C abril de 2004. [Citado el 25 de abril de 2016]. Disponible en:
<http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis165.pdf>

RESTREPO A, Mariano. El beneficio ecológico del café en Colombia. [En línea]. 2014 [citado el 15 de febrero-2016]. Disponible en:
<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/viewFile/2370/1671>

SAAVEDRA T, Lenindes. Control de calidad del café en el laboratorio. Análisis físico (determinación de rendimiento) [diapositivas]. 26 diapositivas. [En línea]. Bogotá. 2014 [citado el 15 de febrero de 2016]. Disponible en:
<http://es.slideshare.net/loboune/analisis-fisico-del-cafe>

ZAMBRANO S, Javier. Alternativas de tratamiento de mucílago residual producto del beneficiadero del café. Tesis de grado. [En línea]. Universidad industrial de Santander-Bucaramanga. 2012. [Citado el 26 de abril de 2015]. Disponible en:
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7015/2/145122.pdf>

ZAMBRANO F, Diego, *et al.* Paseras solares de bajo costo para secar café. Avances técnicos. [En línea]. Marzo de 2006. Serie de informes técnicos: 345. [Citado el 13 de abril de 2015]. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0345.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Método Fermaestro Cenicafé.

1. Deposite el café despulpado en el recipiente o tanque para realizar la fermentación.

2. Tome una muestra de café despulpado de diferentes partes del tanque.

3. Abra el dispositivo.

4. Deposite en el dispositivo la muestra de café despulpado y llénelo a ras, cuidando que la parte angosta quede llena con los granos de café.

5. Asegure la tapa del dispositivo.

6. Ubique el dispositivo dentro de la masa de café despulpado, de forma que éste se observe a simple vista.

7. Tome el dispositivo del tanque y déjelo caer tres veces sobre la base mayor, desde una altura de 3 cm.

8. Verifique que la masa de café dentro del cono esté en la primera marca.

Fuente: Cenicafé, 2013.

Anexo B. Protocolo método gravimétrico Cenicafé.



Fuente: Cenicafé, 2009.

Anexo C. Lista de chequeo

Razón social: Finca Patio Bonito

Lugar: Vereda la Campiña, Caldono- Cauca

Fecha: Abril del 2016

Ítem a evaluar	Respuesta	Observación
Antes de la cosecha		
¿Con cuántas plántulas de café cuenta actualmente su finca, le permite estimar el volumen de cosecha y el requerimiento de mano de obra?	La finca cuenta aproximadamente con 21.900 plantas de café, que no permiten saber con cuanta producción se va a contar y mano de obra, porque de eso depende muchos factores.	
¿Conoce la capacidad instalada en su empresa para procesar café y la capacidad de las etapas de fermentación y secado?	Si, el beneficiadero cuenta con 1000Kg/ día de capacidad instalada.	
¿Cuáles son las variedades de café que tiene en su finca?	Las variedades son 24,2% Castillo, 27,9% supremo y 47,9% Colombia.	
¿Realiza mantenimiento y calibración de los equipos de beneficio? (fermentación, secado e instrumentos de medida)	Si, mantenimiento y calibración cuando es necesario.	
¿Actualizan los catálogos de las características de calidad de cafés especiales estipulados por los mercados nacionales e internacionales?	No.	
¿Existe abastecimiento de agua limpia para el beneficio?	Si.	
Durante la cosecha		
¿Para realizar el beneficio húmedo del café cuenta con personal capacitado? ¿Existen instructivos de recolección y transporte?	El personal con el que se cuenta con conocimiento empírico y no existen instructivos.	

Fuente: Adaptación de Buenas Prácticas Agrícolas En La Caficultura. (Farfán, s.f.), Guía de consultores elaborada por Acopi Y interamericano de desarrollo, 2002.

Continuación Anexo C.

Ítem a evaluar	Respuesta	Observación
¿Cuenta con un sistema de registro de producción? Documentos de remisión de materia prima y producto terminado. (% café especial)	Se cuenta con apuntes en cuaderno de cosecha y café pergamino a comercializar.	
¿Existen instructivos de los procesos preliminares de adecuación de materia prima antes de la fermentación (etapas de clasificación y despulpado)	No.	
Proceso fermentación y secado		
¿Existen los diagramas de proceso y diagramas de distribución de planta? (tipos de fermentadores y secadores)	No.	
¿Existen programas de limpieza y desinfección del proceso? (instructivos)	No.	Se realiza una limpieza con agua a presión, sin ningún desinfectante.
¿Existen métodos de control de proceso de fermentación que permita un tiempo de finalización del proceso? (variables de proceso: tiempo inicial y final, pH, temperatura y flujos)	No.	El tiempo de fermentación es variable y lo hacen con el método de Fermaestro.
¿Existen métodos de control de proceso de secado? (variables de proceso: que influyen en el aire y en el material a secar)	No.	Solo se tiene en cuenta el color del grano para la finalización del secado.
Manejo de materias primas y producto terminado		
¿Qué subproductos y que residuos se generan durante la adecuación de materia prima y cuál es el manejo?	Con la cáscara se hace abono orgánico y no hay manejo de las aguas mieles.	
¿Son adecuados los sitios de almacenamiento del producto terminado y cuentan los instructivos adecuados? (tener en cuenta todos los ítem de almacenamiento)	Se cuenta con una bodega y no se tienen en cuenta instructivos.	

Fuente: Adaptación de Buenas Prácticas Agrícolas En La Caficultura. (Farfán, s.f.), Guía de consultores elaborada por Acopi Y interamericano de desarrollo, 2002.

Anexo D. Prueba de catación año 2014

Cr. 11 # 71-40 Of. 801
PBX: (571) 212 7363
E-mail: admin@banexport.com
Bogotá D.C. (Colombia)



ANÁLISIS FÍSICO Y PERFIL SENSORIAL

FECHA: 04-09-2014
NOMBRE DEL PRODUCTOR: PAOLA TRUJILLO
CERTIFICACION:
DEPARTAMENTO: CAUCA
VEREDA: LA CAMPIÑA
VARIEDAD: CASTILLO –COLOMBIA
OLOR: CARACTERISTICO
COSECHA :

MUESTRA: #1
ASOCIACION:
CONTACTO:
MUNICIPIO: CALDONO
FINCA: PATIO BONITO
ALTURA: 1700 msn
COLOR: NORMAL – CARACTERISTICO
SECADO: SOL

ANÁLISIS FÍSICO

ANÁLISIS SENSORIAL		
Fragancia/ Aroma:	9,00	chocolate , frutos rojos
Sabor:	8,00	Frutos rojos ,Caramelo
Sabor Residual:	8,00	Achocolatado
Acidez:	10,00	Cítrica
Cuerpo:	8,00	medio alto
Uniformidad:	10,00	
Dulce:	10,00	
Taza limpia:	9,00	
Balance:	9,00	
Impresión Global:	9,00	
Puntaje Total:	88,00	Frutos rojos

Café con notas, muy marcadas a chocolate, frutos rojos, cuerpo medio alto, es un café con mucho carácter sabor residual perdurable y cítrico

JAMES FERNANDEZ
BANEXPORT S.A
James.fernandez@banexport.com
CEL. 3105603444

Anexo E. Datos fermentación del mucílago

°N Lote	Descripción Lote	pH Inicial	pH Final	°Brix Inicial	°Brix Final	T(°C) Inicial	T(°C) Final
1	Zoca	4,95	3,45	12,00	16,00	16,50	23,50
2	Zoca	5,30	3,30	12,00	17,00	17,00	22,50
3	Nuevo	4,95	3,45	12,50	16,50	17,00	23,00
4	Nuevo	5,15	3,40	12,50	16,50	17,00	23,00
5	Sombra	5,45	3,45	12,00	17,50	18,00	24,00
6	Sombra	5,65	3,15	11,50	18,50	17,00	24,00
7	Zoca con sombra	5,45	3,25	12,50	17,00	18,00	25,50
8	Zoca con sombra	5,60	3,15	12,00	18,50	17,00	24,50
9	Nuevo con sombra	5,65	3,20	11,50	18,50	17,00	24,75
10	Nuevo con sombra	5,65	3,15	11,50	18,50	17,00	24,00
	PROMEDIO	5,38	3,30	12,00	17,45	17,15	23,88

Anexo F. Datos experimentales del tiempo de fermentación

a) Datos para lote 1 (P1F2)

REPLICA 1						
Muestra #	LOTE 1 - P1F12			Total Horas= 11h Cereza + 16h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U1R	6pm	0	17	20	5	16
	10pm	4	20	19	5,1	
	1am	7	22	18	4,2	
	10am	17	23	19	3,5	13
Promedio					4,45	14,5
U6R	6pm	0	16	20	4,9	16
	10pm	4	20	19	5,1	
	1am	7	23	18	4,1	
	10am	15	24	19	3,4	12
Promedio		16			4,375	14

REPLICA 2						
Muestra #	LOTE 1 - P1F1			Total Horas= 11h Cereza + 12h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U1R	6pm	0	17	19	5,3	17
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,2	
	6am	12	22	22	3,3	12
Promedio					4,475	14,5
U6R	6pm	0	17	19	5,3	17
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,1	
	6am	12	23	22	3,3	12
Promedio		12			4,45	14,5

b) Datos para lote 2 (P2F2)

REPLICA 1						
Muestra #	LOTE 2 - P2F1			Total Horas= 11h Cereza+ 15h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U2R	4pm	0	17	20	4,8	16
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,2	
	7am	15	23	19	3,5	13
Promedio					4,4	14,5
U7R	4pm	0	17	20	5,1	17
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,1	
	7am	15	23	19	3,4	12
Promedio		15			4,425	14,5

REPLICA 2						
Muestra #	LOTE 2 - P2F1			Total Horas= 11h cereza + 12h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U2R	4pm	0	17	18	5,3	17
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	23	18	4,2	
	4am	12	23	19	3,4	12
Promedio					4,5	14,5
U7R	4pm	0	17	18	5	16
	10pm	4	20	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,1	
	6am	14	23	18	3,4	13
Promedio		13			4,4	14,5

c) Datos para lote 3 (P3F2)

REPLICA 1						
Muestra #	LOTE 3 - P3F1			Total Horas= 11h cereza + 12h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U3R	5pm	0	18	20	5,5	17
	10pm	4	20	18	4,1	
	1am	7	22	18	3,6	
	5am	12	24	19	3,4	12
Promedio					4,15	14,5
U8R	5pm	0	18	20	5,4	18
	10pm	4	20	18	4,2	
	1am	7	22	18	3,7	
	5am	12	24	19	3,5	12
Promedio		12			4,2	15

REPLICA 2						
Muestra #	LOTE 3 - P3F1			Total Horas= 11h cereza + 11h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U3R	6pm	0	17	19	5,7	19
	10pm	4	20	18	4,1	
	1am	7	23	18	3,6	
	5am	11	24	20	3,1	11
Promedio					4,125	15
U8R	6pm	0	17	18	5,6	18
	10pm	4	20	18	4,2	
	1am	7	22	18	3,7	
	7am	12	24	20	3,2	12
Promedio		11			4,175	15

d) Datos para lote 4 (P4F2)

REPLICA 1						
Muestra #	LOTE 4 - P4F1			Total Horas= 11h cereza + 10h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U4R	7pm	0	18	21	5,5	17
	10pm	5	19	19	4,8	
	1am	8	21	18	3,5	
	5am	10	23	24	3,3	12
Promedio					4,28	14,5
U9R	7pm	0	18	21	5,4	17
	10pm	5	19	19	4,8	
	1am	8	18	18	3,6	
	5am	10	24	25	3,2	13
Promedio		10			4,25	15

REPLICA 2						
Muestra #	LOTE 4 - P4F1			Total Horas= 11 h cereza + 8h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U4R	8pm	0	17	21	5,5	18
	10pm	5	21	18	5,1	
	1am	7	22	18	4,2	
	4am	8	24	19	3,2	12
Promedio					4,5	15
U9R	8pm	0	17	21	5,7	19
	10pm	5	21	18	5,1	
	1am	8	23	18	4,1	
	4am	8	25	19	3,1	12
Promedio		8,0			4,5	15,5

e) Datos para lote 5 (P5F2)

REPLICA 1						
Muestra #	LOTE 5 - P5F1			Total Horas= 10h cereza + 12h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U5R	6pm	0	17	19	5,7	19
	10pm	4	20	18	4,5	
	1am	7	21	18	3,6	
	6am	12	24,5	19	3,1	11
Promedio					4,225	15
U10R	6pm	0	17	19	5,6	18
	10pm	4	20	18	4,7	
	1am	7	22	18	3,8	
	6am	12	25	19	3,3	12
Promedio		12			4,35	15

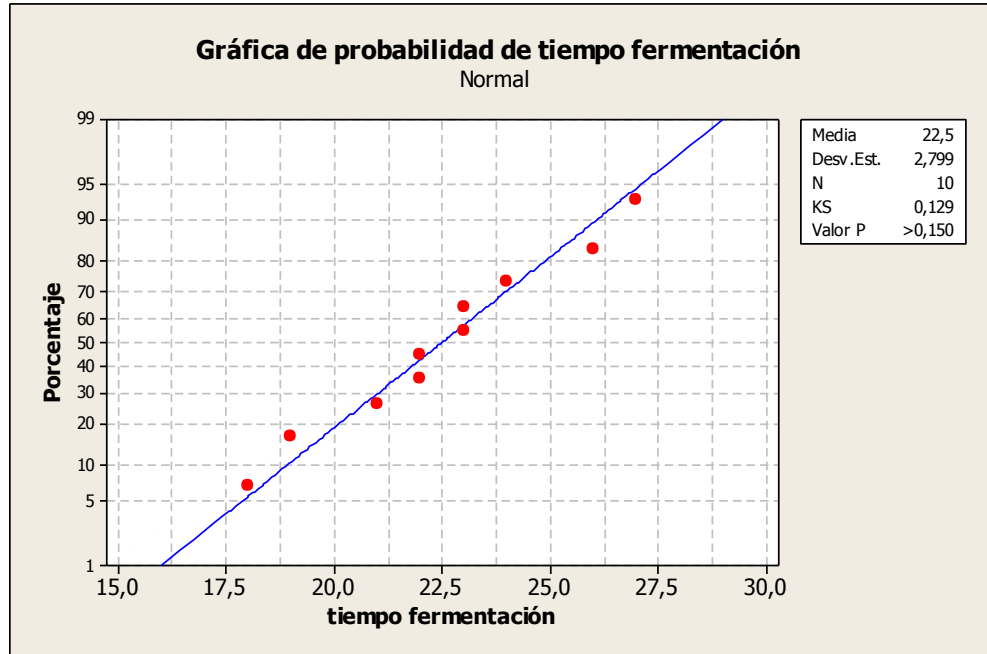
REPLICA 2						
Muestra #	LOTE 5 - P5F1			Total Horas= 11 h cereza + 7h tanques		
	Hora	t fermt (h)	°T fermt (°C)	T amb (°C)	pH	°Brix
U5R	9pm	0	17	19	5,6	18
	11pm	2	20	18	4,1	
	1am	4	22	18	3,6	
	4am	7	24	22	3,2	12
Promedio					4,125	15
U10R	9pm	0	17	19	5,7	19
	11pm	2	20	18	4,2	
	1am	4	22	18	3,7	
	4am	7	24	22	3,1	11
Promedio		7			4,175	15

f) Tiempo Promedio De Fermentación Natural Del Mucílago.

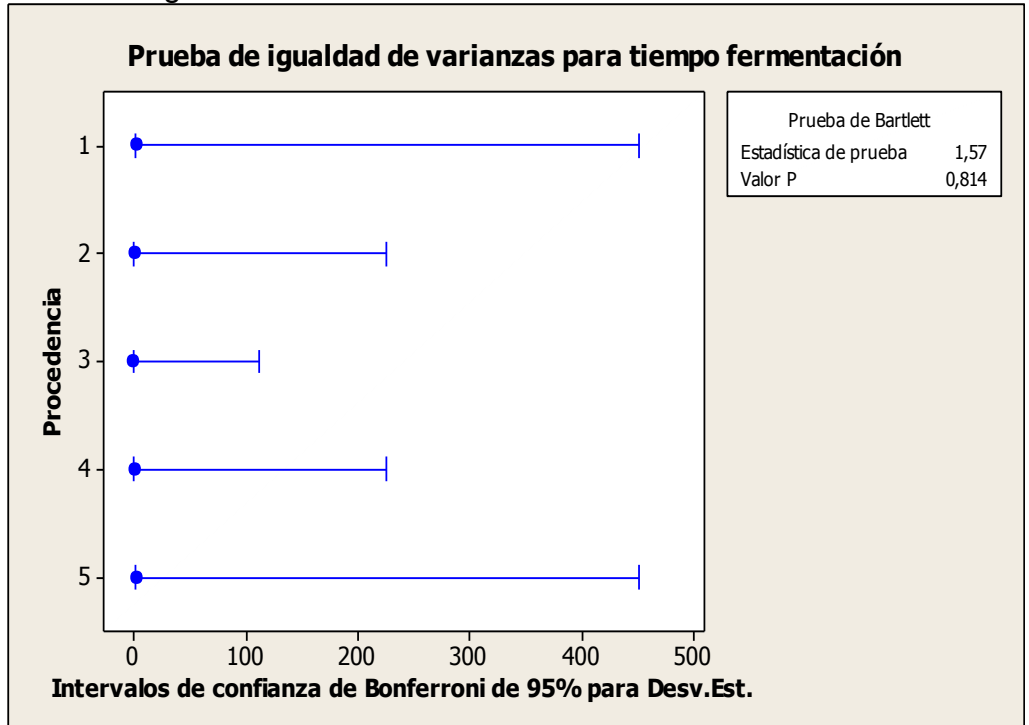
Lote(sitio de procedencia)	Designación diseño	Tiempo fermentación (h)	Designación diseño	Tiempo fermentación (h)
1 Réplica			2 Réplica	
P1= Zoca	U1R , U6 R	27	U1R, U6R	23
P2= Nuevo	U2R, U7R	26	U2R, U7R	24
P3= Sombrío	U3R, U8R	23	U3R, U8R	22
P4=zoca con sombrío	U4R, U9R	21	U4R, U9R	19
P5= Nuevo con sombrío	U5R, U10R	22	U5R, U10R	18

Anexo G. Análisis Estadístico tiempo de fermentación (Minitab 16)

a) Prueba de Normalidad



b) Prueba de igualdad de varianzas



c) ANOVA unidireccional: tiempo fermentación vs. Procedencia

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Procedencia	4	50,00	12,50	3,05	0,126
Error	5	20,50	4,10		
Total	9	70,50			

S = 2,025 R-cuad. = 70,92% R-cuad.(ajustado) = 47,66%

ICs de 95% individuales para la media				
Basados en Desv Est. agrupada				
Nivel	N	Media	Desv Est	-----+-----+-----+-----
1	2	25,00	2,828	(-----*-----)
2	2	25,00	1,414	(-----*-----)
3	2	22,50	0,707	(-----*-----)
4	2	20,0	1,414	(-----*-----)
5	2	20,0	2,828	(-----*-----)

Anexo H. Pérdida de peso en el tiempo, velocidad de secado según el tipo de secador y sitios de procedencia definidos en diseño experimental.

a) Secador 1

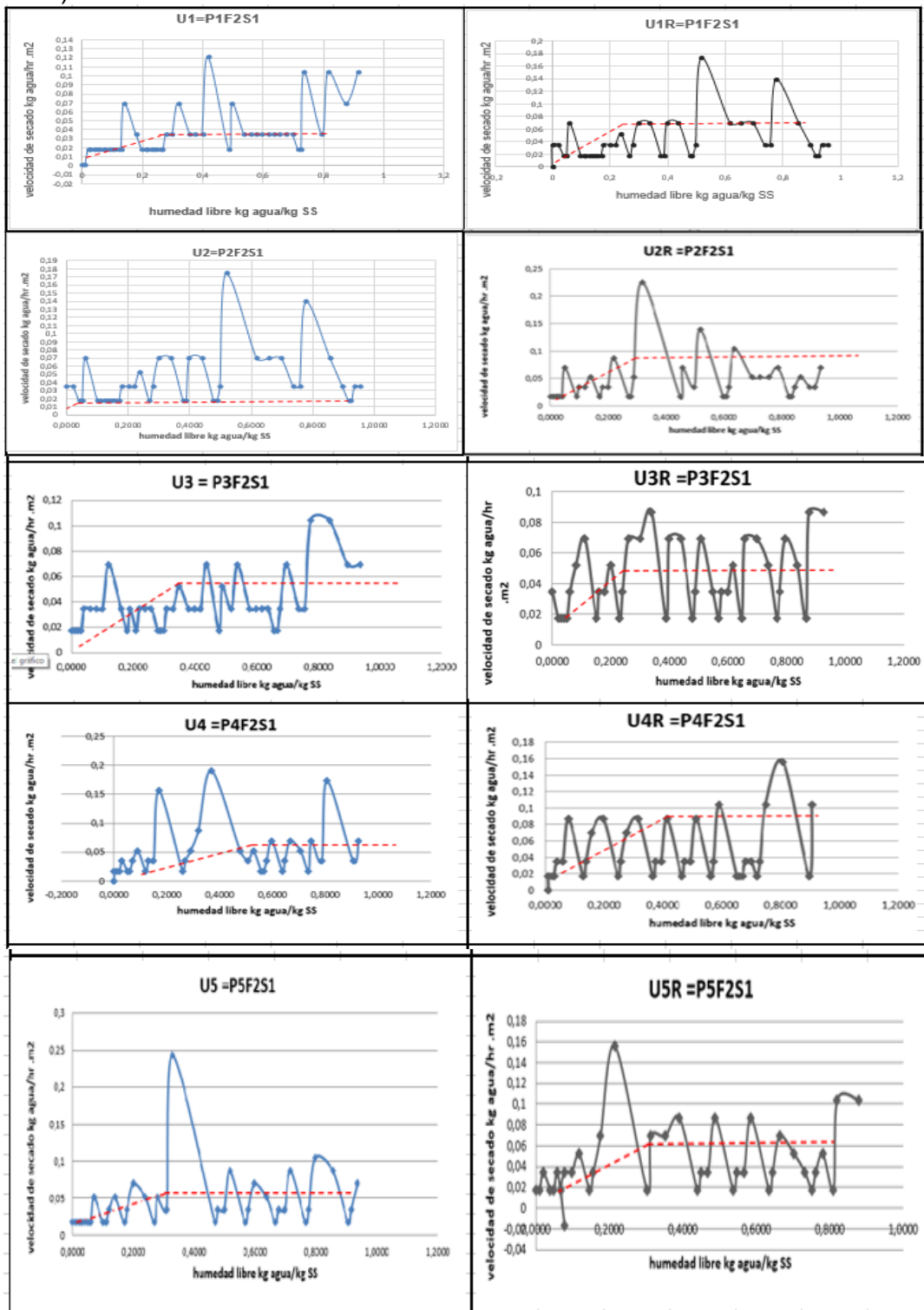
velocidad de secado R (kg agua/hr.m2)										
Secador 1										
t(hr)	U1=P1F2S1	U1R=P1F2S1	U2=P2F2S1	U2R=P2F2S1	U3=P3F2S1	U3R=P3F2S1	U4=P4F2S1	U4R=P4F2S1	U5=P5F2S1	U5R=P5F2S1
0										
4	0,0214	0,0347	0,0347	0,0694	0,0694	0,0868	0,0695	0,1042	0,0694	0,1042
8	0,0143	0,0347	0,0347	0,0347	0,0694	0,0868	0,0347	0,0174	0,0347	0,1042
12	0,0214	0,0174	0,0174	0,0347	0,1042	0,0174	0,1736	0,1563	0,0174	0,0174
16	0,0071	0,0174	0,0174	0,0521	0,1042	0,0521	0,0347	0,1042	0,0868	0,0521
20	0,0214	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0694	0,0695	0,0347	0,1042	0,0347
24	0,0036	0,0694	0,0694	0,0174	0,0347	0,0347	0,0174	0,0174	0,0347	0,0174
28	0,0036	0,1389	0,1389	0,0174	0,0694	0,0174	0,0521	0,0347	0,0174	0,0347
32	0,0071	0,0347	0,0347	0,0694	0,0347	0,0521	0,0695	0,0347	0,0868	0,0521
36	0,0071	0,0347	0,0347	0,0521	0,0174	0,0694	0,0347	0,0174	0,0347	0,0694
40	0,0071	0,0694	0,0694	0,0521	0,0174	0,0694	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347
44	0,0071	0,0694	0,0694	0,0521	0,0347	0,0174	0,0695	0,0174	0,0174	0,0174
48	0,0071	0,0694	0,0694	0,1042	0,0347	0,0521	0,0347	0,1042	0,0521	0,0868
52	0,0071	0,1736	0,1736	0,0347	0,0347	0,0347	0,0174	0,0347	0,0694	0,0347
56	0,0071	0,0347	0,0347	0,0174	0,0347	0,0347	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347
60	0,0071	0,0174	0,0174	0,0174	0,0694	0,0174	0,0521	0,0868	0,0174	0,0174
64	0,0071	0,0174	0,0174	0,1389	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0868	0,0868
68	0,0143	0,0694	0,0694	0,0347	0,0521	0,0694	0,0521	0,0347	0,0347	0,0347
72	0,0036	0,0694	0,0694	0,0694	0,0174	0,0347	0,1910	0,0174	0,0347	0,0347
76	0,0250	0,0174	0,0174	0,0174	0,0694	0,0174	0,0868	0,0868	0,0174	0,0174
80	0,0071	0,0174	0,0174	0,2257	0,0347	0,0694	0,0521	0,0347	0,2431	0,0868
84	0,0071	0,0694	0,0694	0,0521	0,0347	0,0694	0,0347	0,0347	0,0347	0,0694
88	0,0071	0,0694	0,0694	0,0174	0,0347	0,0174	0,0174	0,0174	0,0521	0,0694
92	0,0143	0,0347	0,0347	0,0174	0,0521	0,0868	0,1563	0,0868	0,0174	0,0174
96	0,0071	0,0174	0,0174	0,0868	0,0347	0,0694	0,0347	0,0694	0,0521	0,1563
100	0,0071	0,0521	0,0521	0,0347	0,0347	0,0694	0,0347	0,0347	0,0694	0,0694
104	0,0036	0,0347	0,0347	0,0347	0,0174	0,0347	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347
108	0,0036	0,0347	0,0347	0,0174	0,0174	0,0174	0,0521	0,0868	0,0174	0,0174
112	0,0036	0,0347	0,0347	0,0521	0,0174	0,0521	0,0347	0,0694	0,0521	0,0521
116	0,0036	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347	0,0347	0,0174	0,0347	0,0347	0,0347
120	0,0036	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347	0,0347	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347
124	0,0036	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0174	0,0347	0,0868	0,0174	0,0174
128	0,0036	0,0174	0,0174	0,0694	0,0174	0,0694	0,0174	0,0347	0,0521	-0,0174
132	0,0036	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0521	0,0174	0,0347	0,0174	0,0347
136	0,0071	0,0174	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0174	0,0174	0,0174	0,0174
140	0,0143	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0174	0,0000	0,0174	0,0174	0,0174
144	0,0036	0,0174	0,0174	0,0174	0,0694	0,0174		0,0174	0,0174	0,0347
148	0,0036	0,069	0,069	0,017	0,0347	0,0174		0,000	0,0174	0,0174
152	0,0036	0,0174	0,0174	0	0,0347	0,0174			0,0174	0,0174
156	0,0036	0,0174	0,0174		0,0347	0,0347			0,0174	0
160	0,0036	0,0347	0,0347		0,0347	0			0	0
164	0,0036	0,0347	0,0347		0,0174					
168	0,0036	0,0000	0		0,0174					
172	0,0036				0,0174					
176	0,0036				0,0174					
180	0,0036				0					
184	0,0036									
188	0,0036									

b) Secador 2

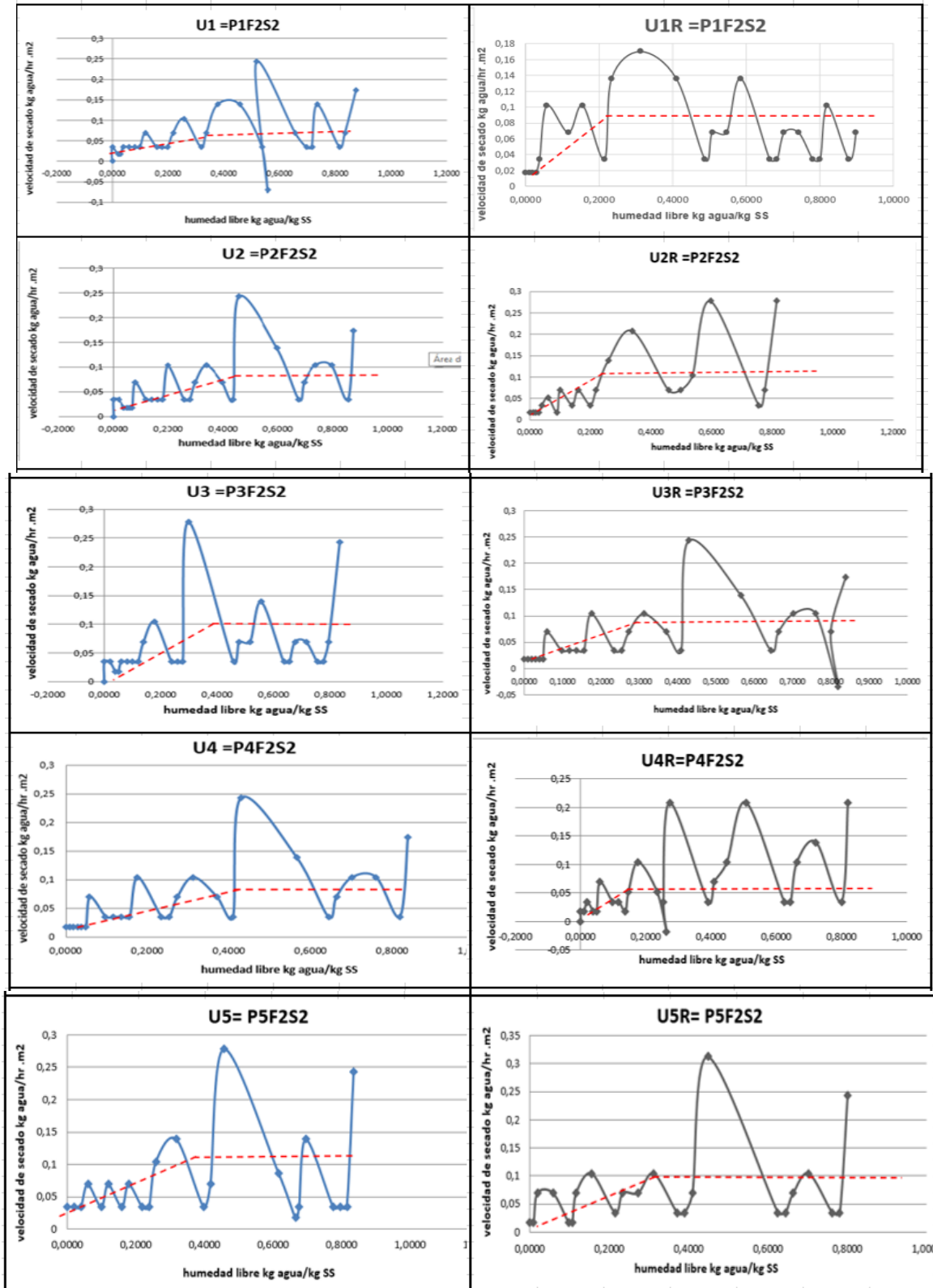
velocidad de secado R (kg agua/hr.m2)										
Secador 2										
t(hr)	U1=P1F2S2	U1R=P1F2S2	U2=P2F2S2	U2R=P2F2S2	U3=P3F2S2	U3R=P3F2S2	U4=P4F2S2	U4R=P4F2S2	U5=P5F2S2	U5R=P5F2S2
0										
4	0,1735	0,0680	0,1736	0,2778	0,2431	0,1736	0,1736	0,2083	0,2431	0,2431
8	0,0694	0,0340	0,0347	0,0694	0,0694	0,0694	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347
12	0,0347	0,1020	0,1042	0,0347	0,0347	-0,0347	0,1042	0,1389	0,0347	0,0347
16	0,1388	0,0340	0,1042	0,2778	0,0347	0,1042	0,1042	0,1042	0,0347	0,1042
20	0,0347	0,0340	0,0694	0,1042	0,0694	0,1042	0,0694	0,0347	0,1389	0,0694
24	0,0347	0,0680	0,0347	0,0694	0,0694	0,0694	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347
28	0,0694	0,0680	0,1389	0,0694	0,0347	0,0347	0,1389	0,2083	0,0174	0,0347
32	0,2428	0,0340	0,2431	0,2083	0,0347	0,1389	0,2431	0,1042	0,0868	0,3125
36	-0,0694	0,0340	0,0347	0,1389	0,1389	0,2431	0,0347	0,0694	0,2778	0,0694
40	0,0347	0,1361	0,0694	0,0694	0,0694	0,0347	0,0694	0,0347	0,0694	0,0347
44	0,1388	0,0680	0,1042	0,0347	0,0694	0,0694	0,1042	0,2083	0,0347	0,0347
48	0,1388	0,0680	0,0694	0,0694	0,0347	0,1042	0,0694	0,0347	0,1389	0,1042
52	0,0694	0,0340	0,0347	0,0347	0,2778	0,0694	0,0347	-0,0174	0,1042	0,0694
56	0,0347	0,1361	0,0347	0,0694	0,0347	0,0347	0,0347	0,0521	0,0347	0,0694
60	0,1041	0,1701	0,1042	0,0174	0,0347	0,0347	0,1042	0,1042	0,0347	0,0347
64	0,0694	0,1361	0,0347	0,0521	0,0347	0,1042	0,0347	0,0521	0,0694	0,1042
68	0,0347	0,0340	0,0347	0,0347	0,1042	0,0347	0,0347	0,0174	0,0347	0,0694
72	0,0347	0,1020	0,0347	0,0174	0,0694	0,0347	0,0347	0,0347	0,0694	0,0174
76	0,0347	0,0680	0,0347	0,0174	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0174
80	0,0694	0,1020	0,0694	0,0174	0,0347	0,0347	0,0694	0,0694	0,0694	0,0694
84	0,0347	0,0340	0,0174	0,0174	0,0347	0,0694	0,0174	0,0174	0,0347	0,0694
88	0,0347	0,0170	0,0174	0,0000	0,0347	0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0174
92	0,0347	0,0170	0,0174		0,0174	0,0174	0,0174	0,0347	0,0347	0,0174
96	0,0347	0,0170	0,0174		0,0174	0,0174	0,0174	0,0174	0,0000	0,0000
100	0,0173	0,0170	0,0347		0,0347	0,0174	0,0174	0,0174		
104	0,0173	0,0000	0,0347		0,0347	0,0174	0,0174	0,0000		
108	0,0347		0,0000		0,0000	0,0174	0,0000			
112	0,0000					0,0000				

Anexo I. Curvas de secado según el tipo de secador y sitios de procedencia definidos en diseño experimental.

a) Secador 1

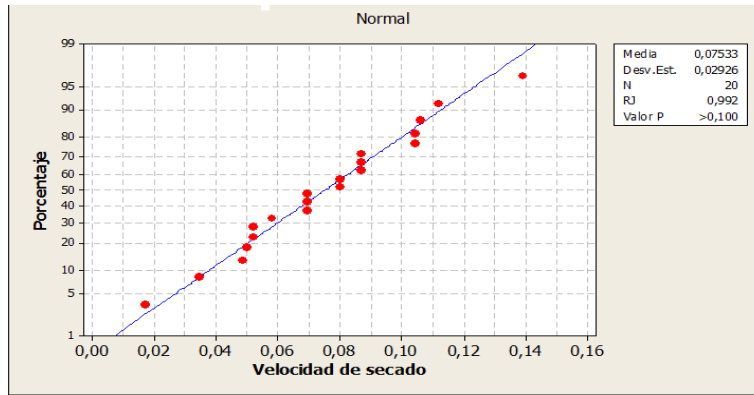


b) Secador 2



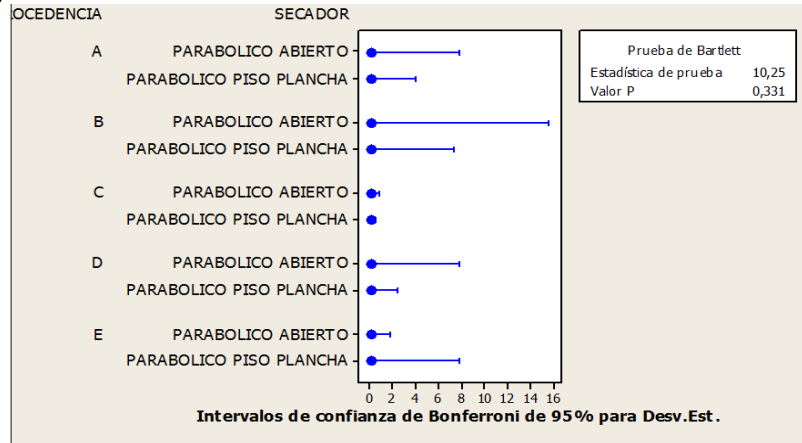
c) Análisis estadístico de velocidad de secado

Gráfica de probabilidad de velocidad de secado



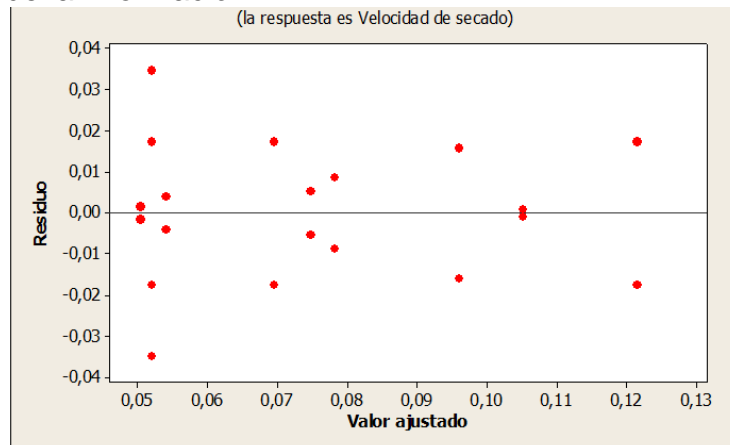
Fuente: esta investigación

Prueba de igualdad de varianzas



Fuente: esta investigación

Independencia de la información.



Fuente: esta investigación

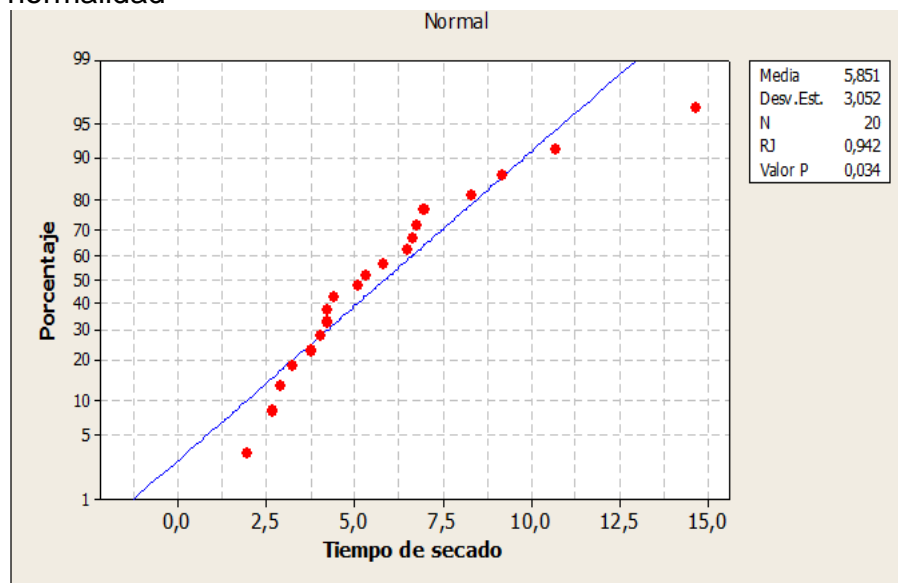
Anexo J. Los datos experimentales del tiempo de secado

a) Datos recolectados experimentalmente

Sitios de procedencia	1 RÉPLICA	2 RÉPLICA
	Total tiempo (hr)	Total tiempo (hr)
P1F2S1	204	168
P1F2S2	161	104
P2F2S1	180	152
P2F2S2	140	88
P3F2S1	162	160
P3F2S2	104	112
P4F2S1	108	148
P4F2S2	108	104
P5F2S1	108	160
P5F2S2	98	96

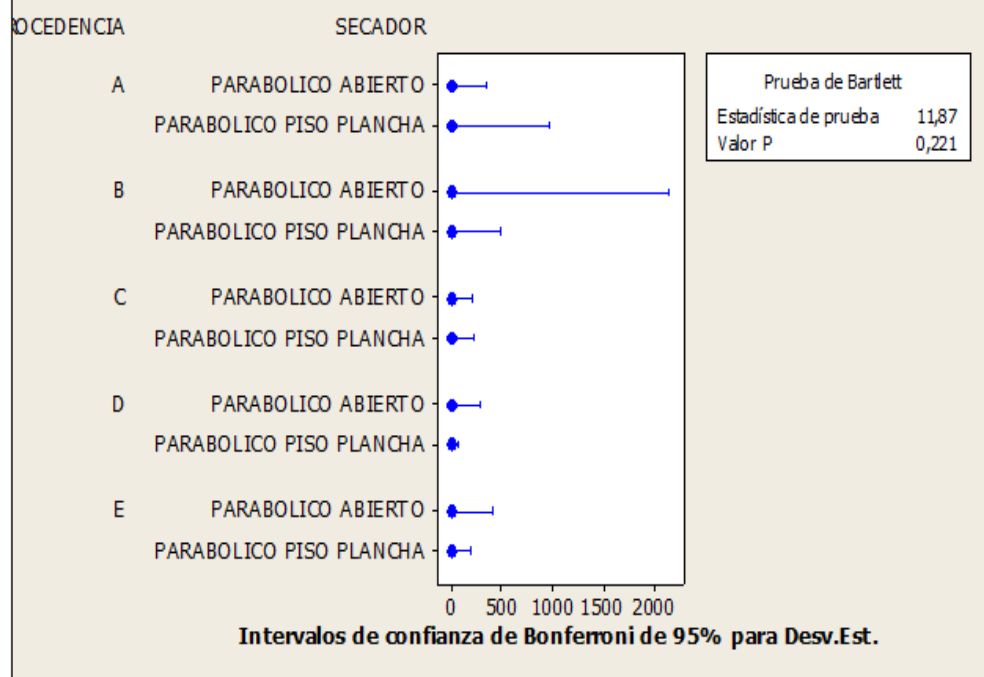
b) Análisis estadístico de la información

Prueba normalidad



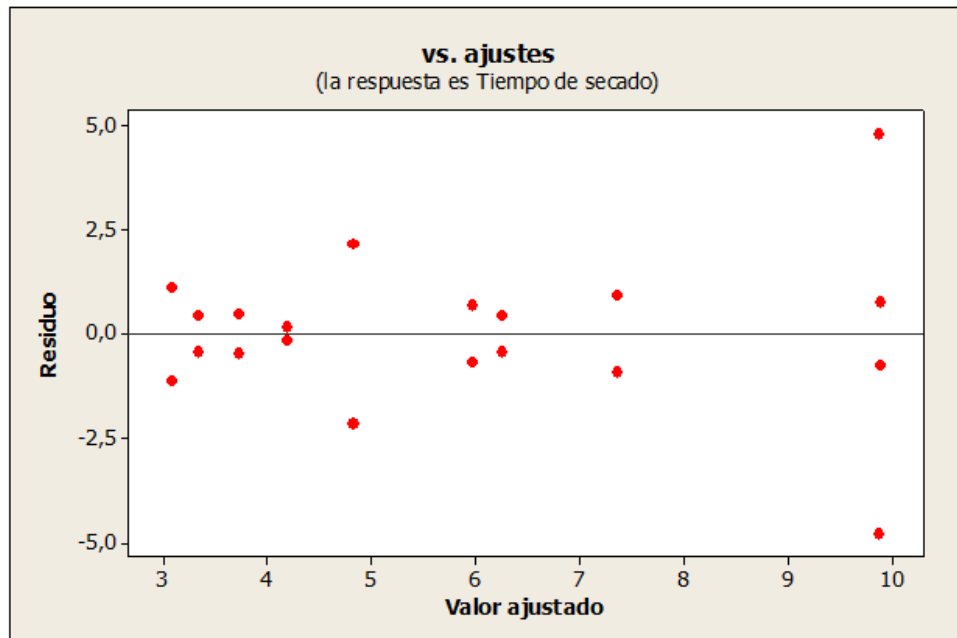
Fuente: esta investigación

Prueba de homogeneidad de varianzas



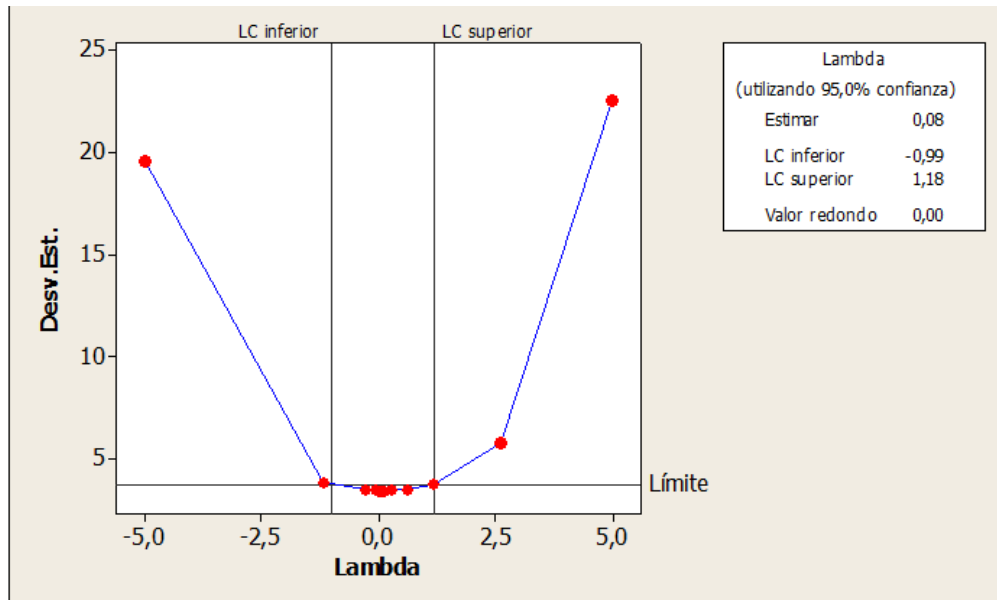
Fuente: esta investigación

Independencia de tratamientos



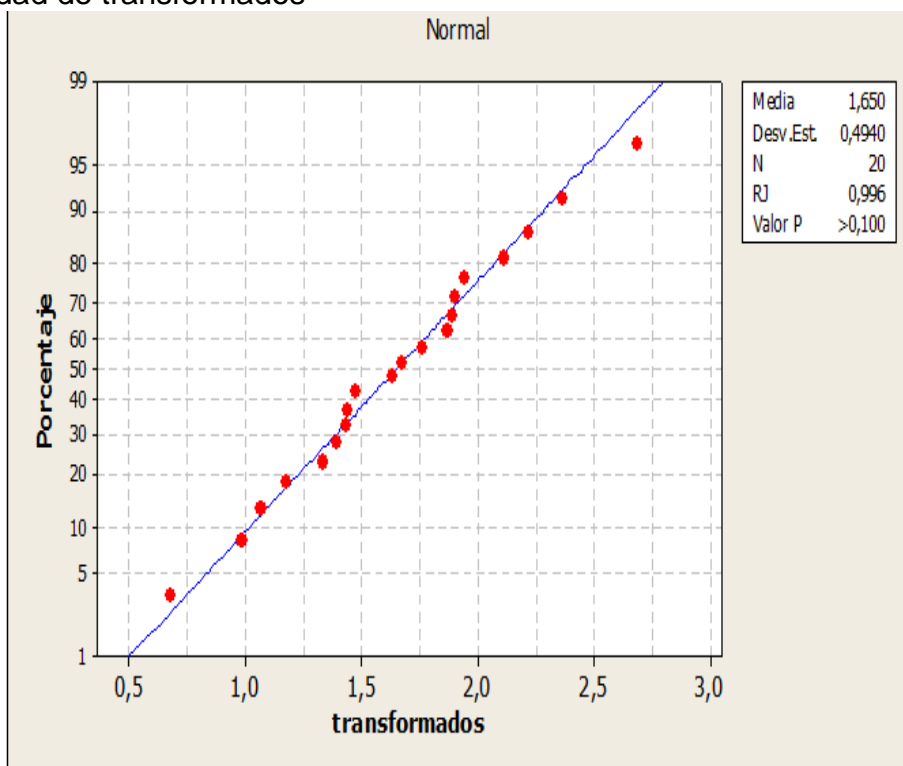
Fuente: esta investigación

Método de Box-cox



Fuente: esta investigación

Probabilidad de transformados



Fuente: esta investigación

Anexo K. Datos de la prueba de secado directo experimental realizado en laboratorio

Masa (kg)	XL (kg agua/kg SS)	ΔX (kg agua/kg SS)	Δt (hr)	$(\Delta X/\Delta t)$ (kg agua/kg SS*hr)	R (kg agua/hr.m2)
0,22238	0,8238				
0,20828	0,6853	-0,1385	0,17	-0,83120	1,5495
0,20304	0,6338	-0,0515	0,17	-0,309	0,5758
0,2003	0,6069	-0,0269	0,17	-0,162	0,3011
0,1979	0,5833	-0,0236	0,17	-0,141	0,2637
0,19788	0,5831	-0,0002	0,17	-0,001	0,0022
0,19278	0,5330	-0,0501	0,17	-0,301	0,5604
0,19007	0,5064	-0,0266	0,17	-0,160	0,2978
0,18859	0,4918	-0,0145	0,17	-0,087	0,1626
0,18662	0,4725	-0,0194	0,17	-0,116	0,2165
0,1845	0,4517	-0,0208	0,17	-0,125	0,2330
0,1827	0,4340	-0,0177	0,17	-0,106	0,1978
0,18068	0,4141	-0,0198	0,17	-0,119	0,2220
0,1746	0,3544	-0,0597	0,50	-0,119	0,2227
0,16839	0,2934	-0,0610	0,50	-0,122	0,2275
0,16421	0,2523	-0,0411	0,50	-0,082	0,1531
0,15743	0,1857	-0,0666	0,50	-0,133	0,2484
0,1517	0,1294	-0,0563	0,67	-0,084	0,1574
0,13989	0,0134	-0,1160	0,67	-0,174	0,3245
0,1389	0,0036	-0,0097	0,25	-0,039	0,0725
0,13873	0,0020	-0,0017	0,17	-0,010	0,0187
0,13853	0,0000	-0,0020	0,17	-0,012	0,0220
0,13853	0,0000	0,0000	0,75	0,000	0,0000
0,13853	0,0000	0,0000	0,25	0,000	0,0000