

CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL
CAFÉ LA PRIMAVERA

JUAN PABLO CÁRDENAS DIAZ
JUAN DAVID PARDO PINZÓN

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2014

CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL
CAFÉ LA PRIMAVERA

JUAN PABLO CÁRDENAS DIAZ
JUAN DAVID PARDO PINZÓN

ASESOR
Ing. IGNACIO PÉREZ VÉLEZ

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.

2014

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE PREGRADO INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nota de aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo general	12
3.2. Objetivos específicos	12
4. MARCO TEÓRICO	13
4.1. Cafeto	13
4.1.1. Clasificación general de los tipos de café	15
4.1.1.1. Variedad Castillo	17
4.2. Procesos	18
4.2.1. Fertilizantes	18
4.2.1.1. Fertilizantes inorgánicos o químicos	19
4.2.1.2 Fertilizantes orgánicos	19
4.2.2. Recolección de café	19
4.2.2.1. Planeación de recolección del fruto	20
4.2.2.2. Identificar la distribución de la cosecha	20
4.2.2.3. Recolección	20
4.2.3. Beneficio	20
4.2.3.1. Beneficio seco	21
4.2.3.2. Beneficio Húmedo	21
4.2.3.2.1. Despulpado	21
4.2.3.2.2. Remoción del mucílago	22
4.2.3.2.3. Lavado	23
4.2.4. Secado	23
4.2.4.1. Secado al sol	24
4.2.4.1. Secador mecánico	25
4.2.5. Trillado	25
4.2.6. Tostión o torrefacción	25
4.2.7. Molienda de café	26
4.2.8. Extracción café instantánea	27

4.3. Otros productos derivados de la cereza de café	27
4.4. Certificaciones para café	28
4.4.1. Buenas prácticas Agrícolas.....	28
4.4.2. Sellos de calidad.....	28
4.5. Conceptos	32
4.5.1. Definición de proceso estándar.....	32
4.5.2. Definición de producto caracterizado.....	32
4.5.3. Diseño de experimentos	32
4.5.4. Experimento	33
4.5.5. Unidad experimental.....	33
4.5.6. Observación	33
4.5.7. Variable.....	33
4.5.7.1. Variable de respuesta.....	34
4.5.7.2. Variable de predicción	34
4.5.8. Factores controlables.....	34
4.5.9. Factores no controlables o de ruido	34
4.5.10. Factores estudiados	35
4.5.11. Niveles y tratamientos	35
4.5.12. Prueba d de Durbin-Watson.....	36
4.5.12. Métodos y modelos de análisis de resultados	38
4.5.12.1. Análisis de regresión.....	38
5. Diseño Metodológico	39
5.1. Diseño experimental para la caracterización de la etapa de fermentación y secado del café La Primavera	39
5.1.1. Caracterización etapa de fermentación.....	39
5.1.2. Caracterización etapa de secado.....	41
5.2. Definición de variables.....	43
5.3. Procedimiento para toma de muestra y medición.....	44
5.3.1. Definición del tamaño de muestra.....	44
5.3.2. Procedimiento toma de muestras y medición etapa de fermentación.....	44
5.3.3. Procedimiento toma de muestras y medición etapa de secado	45
6. Resultados.....	48
6.1. Metodología y características de producción actual.....	48

6.2. Caracterización de la etapa de fermentación	52
6.3. Caracterización del proceso de secado.....	57
Conclusiones	63
Recomendaciones.....	65
Tabla de Ilustraciones	66
Tabla de tablas	67
Bibliografía	68

Resumen

Con el objetivo de contribuir al conocimiento de algunos factores que afectan la calidad de taza del café se realizó la caracterización de los procesos de fermentación y secado para el café producido en la finca cafetera La Primavera ubicada en el corregimiento de Silvania Cundinamarca, Colombia.

Se garantizó que dicho café cumpliera con la normatividad necesaria para su comercialización. Para esto se evaluó el proceso de fermentación natural mediante la utilización del método mecánico (ECOMILL- CENICAFÉ) como mecanismo para la remoción del mucílago. Se evaluó comparativamente el comportamiento del pH a lo largo del tiempo, controlando factores de temperatura, con el fin de generar un análisis comparativo entre los datos obtenidos en campo y los estudios previos efectuados por CENICAFÉ. Se pudo determinar que debido a condiciones del suelo el café evaluado inició con un pH neutro frente a las muestras evaluadas por CENICAFÉ esto explica el incremento en el tiempo de fermentación, por otro lado se logró determinar el tiempo de duración del proceso para situar el café en un pH ideal de 3,5 teniendo en cuenta una temperatura ambiente de 20° C y una altura que oscila entre los 1.470 – 1.500 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado se evaluó el contenido de humedad del grano de las muestras que cumplieran con el nivel de pH ideal, con el fin de evitar defectos y cumplir estándares de exportación, se replicaron las condiciones de secado a 45°C en un periodo de 19 horas y se realizó un análisis comparativo con el fin de evaluar la veracidad del proceso propuesto por el Centro Nacional de Investigaciones de Café y el café La Primavera. La evaluación del porcentaje de humedad se realizó mediante la aplicación de la norma ISO 6673:2003 Green coffee, determination of loss in mass at 105°C, gracias a la prueba se logró determinar el rango de tiempo en horas que oscila entre 19 horas y 51 minutos y 21 horas y 42 minutos de secado para un café de dichas características.

Palabras clave: Fermentación natural, tiempo de fermentación, pH, temperatura, calidad de café, tiempo de secado.

ABSTRACT

With the aim of contributing to the knowledge of some factors affecting the quality of coffee rate characterizing the fermentation and drying was performed for coffee produced in the Spring coffee farm located in the village of Sylvania Cundinamarca, Colombia.

Ensured that the coffee comply with the necessary regulations for marketing. For this the natural fermentation process was evaluated by using the mechanical method (ECOMILL- CENICAFÉ) as a mechanism for the removal of mucilage. PH behavior over time is comparatively evaluated factors controlling temperature, to generate a comparative analysis of field data and previous studies by CENICAFÉ. It was determined that due to soil conditions coffee evaluated beginning at neutral pH against samples evaluated by CENICAFÉ this explains the increase in the fermentation time, on the other hand is able to determine the duration of the process to bring the coffee an ideal pH of 3.5 considering an ambient temperature of 20 ° C and a height of between 1470-1500 meters above sea level.

Furthermore the grain moisture content of the samples met the ideal pH level, in order to avoid defects and meet export standards was evaluated drying conditions at 45 ° C were replicated over a period of 19 hours and a comparative analysis in order to assess the veracity proposed by the National coffee Research Centre and coffee La Primavera process was performed. Evaluation of moisture was performed by application of ISO 6673: 2003 standard Green coffee, determination of loss in mass at 105 ° C, by testing it was determined the range of time in hours ranging from 19 hours and 51 minutes and 21 hours and 42 minutes drying time for a coffee of those characteristics.

Keywords: natural fermentation, fermentation time, pH, temperature, coffee quality, drying time.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El café La Primavera es el resultado del cultivo, beneficio y torrefacción de un café de origen de corte orgánico producido en el municipio de Silvania en el departamento de Cundinamarca.

El café es cultivado en terrenos montañosos que dificultan las labores de recolección y los suelos en los que se cultivan los cafetos están constituidos principalmente por un manto arcilloso. Esto representa un problema ya que en las temporadas de sequía existe una probabilidad más alta de que se presente erosión, deshidratación de las plantas y en las primeras lluvias pérdida parcial de los suelos a lo largo de las quebradas. Por otra parte el tipo de terreno cuenta con abundantes minerales y nutrientes que constituyen una base adecuada para la alimentación de los cafetos.

Los cafetos se encuentran entrelazados con la flora del bosque lo que contribuye a tener un cultivo orgánico, adicional se utilizan técnicas de producción limpia que buscan preservar las características del ecosistema. Para reducir los problemas de erosión se favorece el cultivo de arvenses que sirven como protección para el suelo de los rayos del sol, además, se cultivan árboles frutales con el fin de mejorar las características de la taza y proporcionar el nivel de sombrero adecuado para que los cafetos se fortalezcan.

La variedad que es producida por Café La Primavera es:

CAFÉ CASTILLO: esta variedad altamente productiva, es el producto del cruzamiento entre la variedad CATURRA y el híbrido DE TIMOR, dando como resultado una variedad compuesta de líneas mejoradas, que difiere de sus predecesores a nivel genético, en una mayor resistencia contra la roya y en mayores niveles de adaptación en su cultivo.

Por ser una variedad compuesta, Castillo tiene una amplia diversidad genética dando como resultado siete variedades: CASTILLO NARANJAL, CASTILLO EL TAMBO, CASTILLO SANTA BÁRBARA, CASTILLO EL ROSARIO, CASTILLO LA TRINIDAD, CASTILLO PARAGUAICITO Y CASTILLO PUEBLO BELLO; estas se adaptan a las principales zonas de cultivo de café en el país. Con respecto a la calidad de la taza se puede decir que es un café homogéneo frente a las variedades arábicas cultivadas en el país, posee un aroma pronunciado entre floral y frutal, de acidez media alta, grano de tamaño grande, cuerpo y amargor suaves.

El café es elaborado con técnicas de beneficio húmedo, proceso por el cual se pasa de tener café cereza a café pergamino listo para el proceso de trillado y tostión, sin embargo cuenta con una cultura de producción específica, que le brinda a dicho producto las características de un café de origen. Empleando metodologías de producción particulares que permiten obtener un café orgánico.

Se realiza el estudio de estos aspectos a estandarizar, con el fin de lograr aumentar su valor comercial, a esto se debe la importancia de implementar una producción con especificaciones estándar, durante la etapa de beneficio para asegurar una calidad del producto en el tiempo.

Al estandarizar la producción se pueden establecer propiedades sensoriales sobre el producto que permitan identificar características específicas de dicho café, esto con el fin de garantizar estándares de calidad sobre el producto.

2. JUSTIFICACIÓN

El cultivo del café se extiende a lo largo de más de 60 países situados entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. En la actualidad el café colombiano se ha posesionado en el mercado internacional como un producto de alta calidad debido a los atributos que le otorga las variedades arábicas que producen un café suave y de mejor calidad que las robustas. Dentro de las actividades que llegan a proporcionar un mejor nivel de calidad de taza está el manejo de abonos, el beneficio, el secado y la torrefacción.

Para este estudio se seleccionó la etapa de beneficio como eje fundamental para el mejoramiento de la calidad de la taza de café, se establecieron las condiciones adecuadas de pH según las guías técnicas para el procesamiento de café y se verificaron según las condiciones ambientales específicas de la zona, esto con el objetivo de determinar niveles de acidez en el café que permitan afectar positivamente las características organolépticas del mismo. De la misma manera se tomó la decisión de controlar el porcentaje de humedad con dos objetivos fundamentales, el primero de ellos eliminar posibles defectos generados por el exceso de humedad en el grano y también el cumplimiento de normatividades de exportación para cafés especiales.

Se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para la evaluación del proceso de beneficio en zonas de altitud, temperatura, humedad relativa y variedades de café similares, así como a la finca donde se realizó el estudio que podrá asegurar una calidad de exportación a lo largo del tiempo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Obtener la caracterización de los procesos de fermentación y secado para el café producido en la finca cafetera La Primavera, ubicada en el corregimiento de Silvania, Cundinamarca. Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ).

3.2. Objetivos específicos

- Analizar los procesos empleados para la elaboración del café La Primavera.
- Rediseñar el proceso de producción en las etapas de fermentación y secado, teniendo en miras altos niveles de calidad en la etapa de beneficio, acorde con los objetivos empresariales de tener café de nivel de exportación.
- Diseñar protocolos operacionales que permitan estandarizar los procesos de producción en la etapa de beneficio para café La Primavera.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Cafeto

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. Existen varias especies de cafeto, principalmente 3 de ellas se cultivan con fines comerciales (R, 1985)

- *Coffea Canephora* (Robusta)
- *Coffea Arábica*
- *Coffea Libérica*

Las variedades Robusta y Arábica representan en la actualidad el 95% del total de la producción de cafeto a nivel mundial, estas variedades crecen de manera apropiada en la zona tórrida, en lugares que reúnen condiciones especiales de suelo, temperatura, altura y radiación solar. En Colombia los cultivos se concentran alrededor de las cordilleras, debido a la riqueza mineral de los suelos (Federación Nacional de Cafeteros).



Ilustración 1 Zonas de producción cafetera en Colombia.
Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros)

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, según la variedad, color en el cual ya se puede considerar como maduro y apto para la recolección.

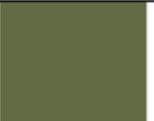
DDA	Muestreo	Fruto	Color medio
182			
189			
196			
203			
210			
217			
224			
231			
238			

Ilustración 2 Forma del cafeto para llegar a café cereza, para recolección.
Fuente: (scielo)

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. Las semillas se encuentran pegadas por sus caras planas y poseen una coloración maderosa (Endospermio).

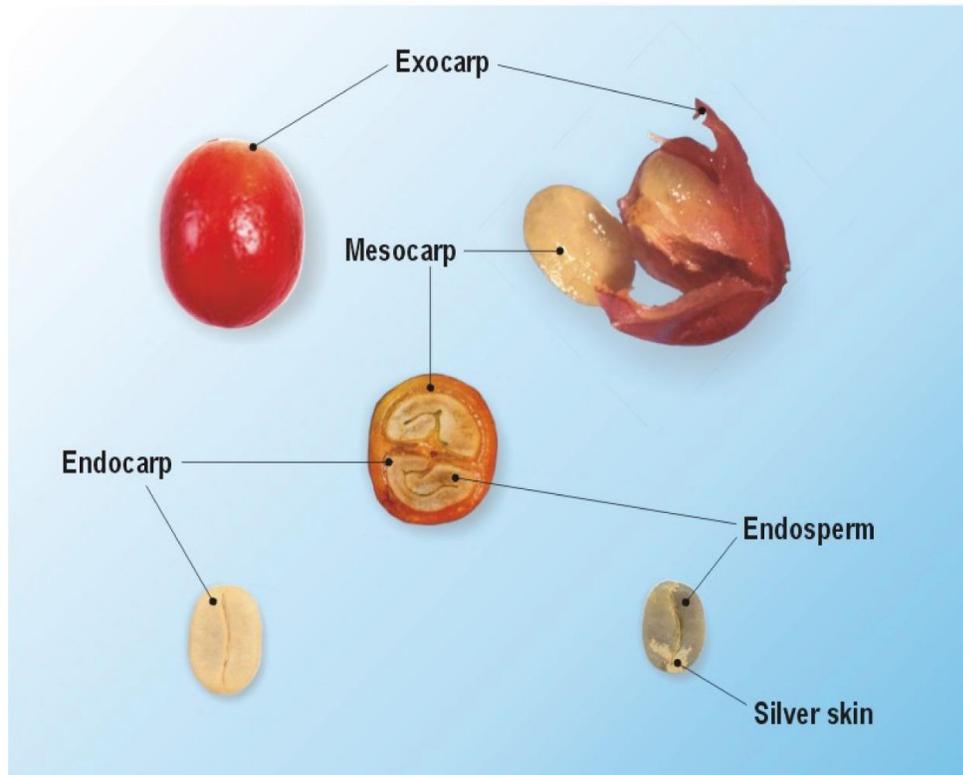


Ilustración 3 Partes de la semilla de café cereza.
Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros)

4.1.1. Clasificación general de los tipos de café

En la producción de café se pueden identificar diferentes géneros de los cuales se destacan la *Coffea Arábica* y la *Coffea Canephora*, estas se encuentran divididas en variedades según sus características como se puede detallar en la siguiente tabla:

Coffea	Variedad	Características
Arábica	Catuai	Es un cruce artificial entre la variedad Caturra y la Mundo Novo en Sao Pablo, Brasil. Es una variedad de porte bajo y alta producción. El tallo principal es grueso, con ramas laterales abundantes las cuales son prolíficas en ramas secundarias lo que le da una gran capacidad productiva. Las hojas nuevas son de color verde claro. Es un arbusto vigoroso y compacto. Tiende a ser de mayor diámetro (ancho) que el Caturra. Los frutos no se desprenden fácilmente de las ramas. El rendimiento del grano es bueno así como la calidad de la bebida.
	Caturra	Esta variedad fue recientemente clasificada, la cual generalmente madura de manera mas rápida, brinda mayor producción de café y es mucho mas resistente a las tradicionales enfermedades. Muchos expertos comentan que esta variedad híbrida de café, brinda tazas de menor calidad que las tradicionales arabica.
	Mundo Novo	Variedad originaria de Brasil, es el resultado de una hibridación natural entre Sumatra y Bourbon. Es un café de porte alto, con gran vigor vegetativo y mucha capacidad de producción. Es una variedad muy vigorosa, con crecimiento lateral muy abundante, formando palmillas. Su maduración es un poco tardía comparada con el Bourbon. Posee un rangos de altitud de 3,500 a 5,500 pies y precipitaciones anuales de 1,200 a 1,800 mm.
	Bourbón	La variedad Bourbon es una mutación de Typica. La forma del arbusto es ligeramente cónica y su parte de intermedio a alto (10 a 12 pies de altura). Los entrenudos del tallo y las ramas son más cortos que en el Typica lo que lo hace tener una capacidad de producción superior. Tiene la tendencia a producir varios troncos y su respuesta a la poda es excelente. La abundancia de ramas es mayor que en el Typica y forman un ángulo más cerrado (45 grados) con el tallo central. Las hojas son más anchas y de borde rizado. Las hojas adultas son de color verde pálido y las nuevas de color verde claro. Se recupera fácil y rápidamente de los efectos de la cosecha. El fruto es más pequeño y corto con relación al Typica, pero aparecen en mayor número. Tiene la tendencia a la caída del fruto con lluvias abundantes durante la cosecha. El rendimiento promedio del grano es inferior al Typica con unas 4.5 libras de café pilado por almud. La calidad de la bebida es buena.
	Typica o pajarito	Esta variedad de café arábigo tiene un aroma pronunciado, entre floral y frutal, de acidez media alta y de mucho cuerpo. Posee un grano de tamaño pequeño.
	Tabi	Variedad derivada de cruzamientos del Híbrido de Timor con las variedades Típica y Bourbon. Es una variedad de grano grande, superior al 80% de café supremo, su producción de excelente calidad. Es ideal para obtención de cafés especiales. Es resistente a la roya.
	Castillo	esta variedad se obtuvo a partir del cruzamiento de la variedad Caturra y el híbrido de Timor. Después de sucesivas generaciones de selección hasta la generación F5, las mejores líneas fueron propagadas y su semilla mezclada para la obtención de esta variedad. Las últimas evaluaciones se realizaron en diferentes lugares de la zona cafetera nacional. La variedad Castillo es una variedad compuesta de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a la de la variedad Caturra y resistente a la roya del café. Las líneas que la componen difieren de los genes de resistencia a la roya que poseen, lo cual le da estabilidad y duración frente a nuevas razas del patógeno. Algunas de estas líneas han mostrado resistencia a la enfermedad de los frutos del café (CBD, por su sigla en inglés), la cual no se encuentra en el país, pero es una amenaza para la caficultura.
	Colombia	La variedad Colombia es muy parecida al Caturra en cuanto al tamaño y forma del árbol, pero tiene una alta resistencia a la roya del café. El cogollo de las plantas es bronceado. La producción es igual o superior a la de Caturra, el tipo de grano y la calidad de la bebida son similares a las otras variedades de café arábigo.
Canephora	Maragogipe	Esta variedad de café arábigo presenta un grano de tamaño grande, con un nivel alto de porosidad. El café de esta variedad tiene la capacidad para adoptar con facilidad el sabor característico que le brinda el suelo de la región en la que es cultivado. Con respecto al sabor de la taza se puede decir que es un café de cuerpo grueso con menor acidez que la de otras variedades de arábigo. Posee un sabor almendrado que lo caracteriza.
	Robusta	Cultivada principalmente en África y Asia. Es un arbusto grande y vigoroso, rebasa los 4 metros de altura. Los brotes de recepa alcanzan los 3.50 metros antes de 3 años. Los cafetos emiten de tres a cinco ejes verticales, con cierta inclinación lateral. Las ramas laterales son largas, con poca ramificación secundaria, hojas de forma variable, entrenudos largos. El fruto es pequeño, casi esférico, agrupándose en nudos "apretados" de 15 a 25 frutos, la pulpa es bastante delgada. Esta variedad se comporta muy bien en las altitudes de 1,500 a 2,500 pies.

Tabla 1 Variedades de café.

Elaboración propia con base en la información obtenida en: (Colombian Coffee), (Ganando MX), (Asociación Nacional del Café), (CENICAFÉ). De las variedades mostradas en la tabla anterior se profundiza en Variedad Castillo Santa Bárbara la cual es cultivada en la finca la primavera.

4.1.1.1. Variedad Castillo

Esta variedad altamente productiva, nace del cruzamiento entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor, dando como resultado una variedad compuesta de líneas mejoradas, que difiere de sus predecesores a nivel genético, en una mayor resistencia contra la roya y en mayores niveles de adaptación en su cultivo (Alvarado, y otros, 2005).

El objetivo buscado para el mejoramiento genético, estableció tres aspectos básicos:

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

La investigación continuada ha permitido obtener nuevos componentes que han mejorado las características iniciales de las variedades, tales como el tamaño del grano, conservando la resistencia a la roya para amortiguar el efecto ocasionado por la aparición cada vez más frecuente de nuevas razas del hongo (Alvarado, y otros, 2005).

Por ser una variedad compuesta, Castillo tiene siete variedades regionales que se adaptan a las principales zonas de cultivo del país estas se detallan de una manera más profunda a continuación:

Estación Experimental	Municipio (Departamento)	Latitud Norte	Altitud m	Lluvia mm/año	Brillo solar Horas/año	Temp °C	Ecotopo* cafetero
Naranjal	Chinchiná (Caldas)	4°58´	1.400	2.656	1.817	20,8	206 A
Rosario	Venecia (Antioquia)	5°56´	1.600	2.504	2.062	20,1	203 A
Trinidad	Líbano (Tolima)	4°55´	1.430	2.128	1.558	20,0	207 B
Santa Bárbara	Sasaima (Cundinamarca)	4°57´	1.450	2.560	1.382	20,3	311 A
Pueblo Bello	Pueblo Bello (Cesar)	10°25´	1.000	2.029	2.388	20,9	402
Paraguaicito	Buenavista (Quindío)	4°23´	1.250	2.119	1.797	21,6	211 A
Manuel Mejía	Tambo (Cauca)	2°25´	1.700	2.003	1.819	18,4	218 A

Tabla 2 Características del café castillo.

Fuente: (Alvarado, y otros, 2005)

“El panel de investigación de Cenicafé, realizó numerosas pruebas: Doblemente ciegas, descriptivas, cuantitativas y sensoriales, sobre muestras de café maduro en comparación con los testigos comerciales Típica, Caturra, Borbón, y Colombia. De los resultados, se destaca que la calidad de la variedad Castillo y la de las otras variedades cultivadas en el país son muy homogéneas.” (Alvarado, y otros, 2005)

Con respecto a la calidad de la taza se puede decir que es un café homogéneo frente a las variedades arábicas cultivadas en el país, posee cuerpo y amargor suave, y un aroma pronunciado para granos medios de tosti3n, entre floral y frutal, de acidez media alta, cuando las muestras se procesan bajo similares y 3ptimas condiciones durante el beneficio, la torrefacci3n y la preparaci3n de la bebida. No se detectan diferencias significativas en la calidad de la bebida.

4.2. Procesos

A continuaci3n se explican las fases del proceso de elaboraci3n del caf3:

4.2.1. Fertilizantes

El uso de fertilizantes es de vital importancia en la producci3n de caf3, aportando nutrientes al terreno necesario para el crecimiento de la planta, la calidad de estos

es el primer eslabón en la producción del café. A través de la adecuada elección del tipo de fertilizante y sus características se pueden obtener mejores resultados en la calidad del fruto. Estos fertilizantes se dividen en dos grupos generales los cuáles son.

4.2.1.1. Fertilizantes inorgánicos o químicos

Los fertilizantes inorgánicos son mezclas químicas que por lo general son de origen mineral, algunos de estos se conocen con el nombre de: fertilizantes minerales convencionales, fertilizantes organominerales, fertilizantes de lenta liberación, abonos foliare y correctores de carencias. Estos son comúnmente utilizados por su fácil manipulación (INFOJARDIN), (eHoW).

4.2.1.2 Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos o abonos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal que luego de su descomposición y tratamiento sirven para dar los nutrientes necesarios a la planta.

En la fabricación de abonos se realiza un proceso de descomposición y mezcla de desechos los cuales pueden ser estiércol, gallinaza, compost, la pulpa del café entre otros. Estos se pueden mezclar y tratar de maneras diferentes por medio de procesos de fermentación, de acuerdo con la necesidad del caficultor (INFOJARDIN).

El uso de estos últimos son los más recomendados para la caficultura ya que ofrece mejores propiedades al cafeto dando como resultado un mejor fruto, sin embargo es complicada su fabricación y de especial cuidado, es necesario adecuar las zonas de tratamiento, aunque en algunas ocasiones requiera de grandes inversiones (INFOJARDIN).

4.2.2. Recolección de café

El inicio del proceso de fabricación da comienzo con la recolección de los frutos, conocidos como café cereza.

La recolección se realiza mediante las siguientes etapas:

4.2.2.1. Planeación de recolección del fruto

Se realiza hasta el momento de la cosecha, se invierten recursos con el fin de obtener un grano de alta calidad, tales como: fertilizantes, cuidado de las arvenses ubicadas alrededor del plato de los cafetos, niveles de sombra sobre los cafetos entre otras. Es por esto que es de vital importancia realizar revisiones continuas a los registros de floración¹.

Del proceso de floración hasta la maduración del fruto hay una duración de ocho meses donde se podrá conocer cuáles son los cafetos aptos para la recolección. Gracias a la variedad climática, en Colombia es muy común ver en un mismo cafeto ramas con frutos en diferentes estados de maduración².

4.2.2.2. Identificar la distribución de la cosecha

La distribución de las cosechas depende del clima y de la ubicación geográfica, para la zona de Cundinamarca se tienen dos cosechas del mismo tamaño en cada semestre del año.

4.2.2.3. Recolección

Una vez programada la recolección, se deben tener los siguientes objetos al momento de empezar: recipientes recolectores, costales y fibra.

La recolección en Colombia se realiza de manera manual, para asegurar una mejor calidad para el producto final, en este proceso sólo se realiza la recolección de frutos maduros, teniendo cuidado de no dejar frutos que puedan permitir el ingreso de la broca a los cultivos.

La recolección se realiza con un procedimiento detallado en el cual se recoge teniendo en cuenta la posición del cafeto, del fruto y la madurez de la cereza.

Luego se empaca en sacos los cuales son llevados al siguiente paso del proceso, el cual es el beneficio.

4.2.3. Beneficio

El beneficio es la etapa del proceso a través de una serie de procedimientos se convierte el café cereza obtenido en la recolección en café pergamino.

¹“Los registros de floración son las planillas donde en cada finca se anotan cuándo ocurrieron las floraciones de los cafetales y que tan abundantes fueron.” (CENICAFÉ, 2004)

² Estados de maduración del fruto son verdes, pintones y maduros. *Ibíd.* p. 132

Existen dos tipos de beneficio los cuales se diferencian en las técnicas de aplicación y los procedimientos que lleva cada uno.

4.2.3.1. Beneficio seco

El beneficio por vía seca consiste en poner el café cereza a sobre madurar en la planta para luego hacer una deshidratación del fruto³ durante aproximadamente 15 – 20 días, este puede ser natural (bajo el sol) o por medio mecánico con el fin de desprender la cáscara del grano y así poder realizar la remoción de la piel seca y el mucílago, obteniendo así el café pergamino. Para este tipo de beneficio es importante hacer una adecuada selección del fruto (Duicela, y otros, 2010).

Este tipo de beneficio es el más sencillo y poco practicado en Colombia ya que se realiza más en la producción de café robusta.

4.2.3.2. Beneficio Húmedo

El beneficio por vía húmeda es el que más se acostumbra a realizarse en Colombia y en los tipos de café de procedencia arábica.

*“Este tratamiento de las cerezas de café consiste en la eliminación mecánica del exocarpio en presencia de agua, eliminación de todo el mesocarpio por fermentación seguido por secado para la producción de un café pergamino.”
Tomado de NTC 3314*

Este proceso inicia cuando se realiza la recolección con la adecuada selección de café cereza y una limpieza inicial donde se quitan los desechos del fruto y de este punto se derivan una serie de etapas las cuales se muestran a continuación: (Duicela, y otros, 2010)

4.2.3.2.1. Despulpado

El despulpado consiste en retirar la pulpa que está al rededor del fruto por medio de presión, este procedimiento se realiza con una despulpadora por la cual pasa el café cereza seleccionado y lavado previamente pasa a través de una tolva hacia un tambor el cual al rotar lleva el café hacia un punto donde la presión ejercida hace salir de la pulpa el fruto (CENICAFÉ, 2004), (COOPSOL).

³ El café deshidratado tiene un aspecto quebradizo y con un sonido de la almendra desprendida dentro de la cáscara (Duicela, y otros, 2010).

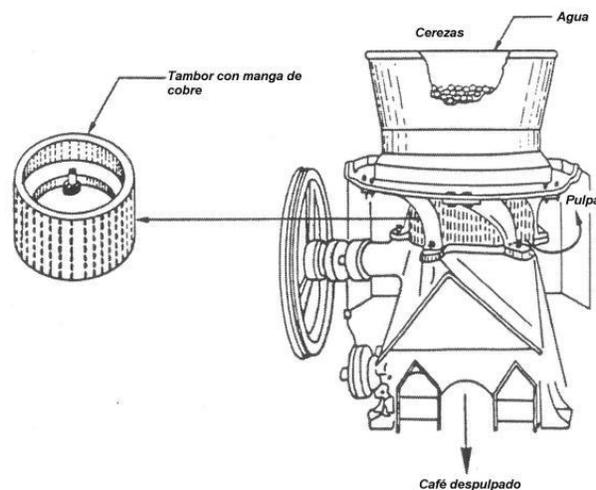


Ilustración 3 Partes principales de una despulpadora tradicional.
Fuente: COOPSOL (COOPSOL)

4.2.3.2.2. Remoción del mucílago

Luego de hacer el despulpado del café cereza, se realiza una operación tecnológica destinada a digerir el mesocarpio mucílagos que se encuentra adherido al pergamino del café, este proceso se denomina como fermentación la cual puede ser natural, mecánica o con ayuda de encimas. (CENICAFÉ, 2004)

Fermentación natural

La fermentación natural consiste en dejar al fruto en un tanque de fermentación donde cae luego del despulpado, con poca agua durante un periodo de 12 a 18 horas donde se homogeniza lentamente, el mucílago se desprende naturalmente del grano. (CENICAFÉ, 2004)

Fermentación mecánica

Funciona por medio de máquinas que retiran rápidamente el mucílago del grano. Existen máquinas de fermentación que funcionan agitando el grano rápidamente con el fin de que la capa caiga, algunas de estas máquinas son de flujo ascendente las cuales consisten en: desmucilagadora tipo ELMU y desmucilagadora de cepillo entre otras. (Asociación Nacional del Café)

Fermentación con enzimas

Este proceso, con el fin de acelerar la fermentación se emplea enzimas y químicos, algunas de las enzimas más utilizadas son Ultrazym-100, Irgazim-100, Benefax y Cofepec entre otros. (Asociación Nacional del Café)

Fermentación en seco

En este caso se deja el café pergamino despulpado, en seco en el tanque o pila hasta que dé punto de fermento (o punto de lavado), a su vez existen máquinas que permiten realizar este tipo de fermentación. Generalmente, la miel degradada se deja escapar continuamente por una pichacha de tamaño adecuado. El proceso resulta más rápido que en los otros sistemas (Anacafé asociación nacional del café).

4.2.3.2.3. Lavado

El lavado se realiza con el fin de quitar en su totalidad el mucílago, este se puede hacer añadiendo agua limpia y filtrando en repetidas ocasiones al tanque de fermentación donde se utilizan aproximadamente por cada kilo de café unos 40-50 litros de agua, o utilizando un canal de correteo el cual es un canal ubicado al lado del tanque o máquina de fermentación por donde el café pasa de tanque al área de secado, mientras se le realiza el lavado mecánicamente (CENICAFÉ, 2004).

4.2.4. Secado

El secado es la etapa del beneficio del café, en donde luego del lavado se deja secar con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino garantizando condiciones óptimas para el posterior proceso de trillado y almacenamiento según condiciones técnicas satisfactorias. Este proceso se puede realizar de diferentes maneras:

4.2.4.1. Secado al sol

Este tipo de secado consiste en dejar el café luego del lavado al sol durante un largo periodo de tiempo que es aproximado de 7 a 15 días según sean las condiciones climáticas, para secar al sol se utilizan diferentes metodologías (CENICAFÉ, 2004).

Secado en patios de cemento: son patios con piso de cemento que tienen una pendiente aproximada del 1%.

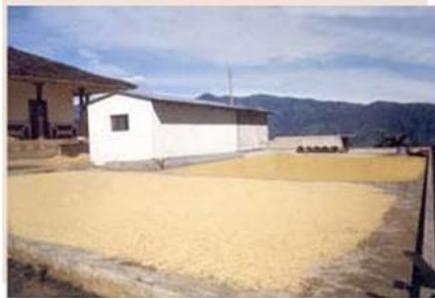


Ilustración 4 Secado en patios de cemento
Fuente (CENICAFÉ, 2004)

Secado en carros o silos: son cajones montados en una estructura que puede ser de madera o de hierro.



Ilustración 5 Secado en carros o silos
Fuente (CENICAFÉ, 2004)

Secado en secador parabólico de CENICAFÉ: estas estructuras en la parte inferior tienen una plancha de cemento cubierta de un techo plástico, usada para pequeños caficultores.



Ilustración 6 Secado en secador parabólico de CENICAFÉ
Fuente: (CENICAFÉ, 2004)

4.2.4.1. Secador mecánico

El secado mecánico se realiza con la ayuda de máquinas, es mucho más rápido pero se corre el riesgo de afectar la calidad del café, las máquinas utilizadas para el secado mecánico envían aire caliente a unos 50°C al fruto, algunas de las máquinas más utilizadas son secador estático sin cámara de presecado, silo-secador de CENICAFÉ y el secador de dos pisos entre otros. (CENICAFÉ, 2004)

4.2.5. Trillado

El trillado es la parte final del proceso de beneficio donde a partir del café pergamino obtenido anteriormente se obtiene el café almendra o verde listo para exportación o tostión según sea el caso. Este proceso consiste en separar del grano el pergamino o cáscara alrededor de la semilla de café, esto se realiza con una máquina de trilla la cual por una acción combinada de fricción y presión por fuerza rotacional hace salir la semilla almendra que por corrientes de aire son evacuadas (Duicela, y otros, 2010).

4.2.6. Tostión o torrefacción

La Tostión o Torrefacción es el último eslabón del proceso de producción del café se realiza exponiendo al café almendra a una alta temperatura un periodo de tiempo determinado, esta es una fase crítica de la producción ya que si se expone el café por mucho tiempo y a una temperatura mayor a la recomendada se

pierden todas las propiedades organolépticas del producto, se realiza en hornos de torrefacción especiales donde sacando una pequeña muestra dado a los cambios físicos que tiene el café se puede por comparación establecer cuando el café ya está listo, los cambios que tiene son: pérdida de peso, color, aumento del volumen, descomposición de la sacarosa, almidones y dextrinas en azúcares, pérdidas de cafeína del grano, generación de dióxido. (Carmona, 2003)

Durante esta etapa existen tres fases claves las cuales son:

1. Fase de secado

Durante esta fase se realizan diferentes procedimientos, el primero es la evaporación del agua existente en el café almendra el cual dura un 80% del proceso, y es la pérdida del 3% de la humedad inicial del fruto, luego el grano se torna amarillo o carmelita y cambia su aroma. (Carmona, 2003)

2. Fase de tosti3n

Durante esta fase el café sufre cambios dentro de la célula que son una producción de membranas responsables del sabor y el aroma, por lo general eso ocurre entre 205 a 120 °C, en esta fase el café presenta una expansión donde se torna de color azulado, luego grisáceo y opaco. (Carmona, 2003)

3. Fase de enfriamiento

Esta es la última fase donde una vez comprobado que la tosti3n terminó se disminuye la temperatura, esto puede ser por inyección de aire o de agua. (Carmona, 2003)

4.2.7. Molienda de café

La molienda de café es un proceso que se le realiza al café tostado que se venderá como café instantáneo, este proceso se utiliza para la extracción de componentes solubles, entre más fina sea la molienda habrá una mayor extracción de estos componentes, por lo general se realiza por medio de discos y de rodillos. (Duarte, 2002)

4.2.8. Extracción café instantánea

Para la producción de café instantáneo se realiza este proceso con el fin de extraer los compuestos aromáticos y se divide en tres fases: humectación, extracción de solubles e hidrólisis.⁴ (Duarte, 2002)

4.3. Otros productos derivados de la cereza de café

En la actualidad se producen los siguientes cafés para su comercialización, definidos por la Norma NTC 3314 (Sector agropecuario. Café y sus productos vocabulario términos y definiciones)

- Café instantáneo

“Extracto de café deshidratado: producto seco, soluble en agua, obtenido exclusivamente del café tostado por métodos físicos, utilizando agua como único agente de extracción”.

- Café instantáneo atomizado

“Café instantáneo obtenido por un proceso en el que el extracto líquido de café es pulverizado en un atmosfera caliente y convertido en partículas secas por evaporación del agua”.

- Café instantáneo granulado

“Café instantáneo obtenido por un proceso en el que partículas secas de café instantáneo se agrupan para formas otras más grande”.

- Café liofilizado

“Café instantáneo obtenido por un proceso en el que el producto en estado líquido se congela y el hielo se elimina por sublimación”.

- Café descafeinado

“Café al cual se le ha extraído la cafeína”.

⁴Reacción ocurrida cuando una sal se disuelve en agua y se disocia en sus iones (Rico)

- Infusión de café

“Bebida que se obtiene tratando con agua el café tostado molido, o agregando agua a un extracto de café, a un café instantáneo o a un café liofilizado”.

4.4. Certificaciones para café

4.4.1. Buenas prácticas Agrícolas

Las buenas prácticas agrícolas son el primer nivel de certificación para el caficultor, se definen de la siguiente manera:

“Buenas Prácticas Agrícolas son todas las acciones involucradas en la producción, el procesamiento y el transporte de productos alimenticios de origen agrícola y pecuario, orientadas a asegurar la higiene y la salud humana y del medio ambiente, mediante métodos ecológicamente más seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles”. (Valencia)

4.4.2. Sellos de calidad

Las certificaciones en cumplimiento de las BPA se hacen con el fin de poder acceder a sellos de calidad que difieren por algunas especificaciones según la norma establecida para el sello adicional al cumplimiento de las BPA, estas especificaciones se sacan por culturas de producción que le dan características especiales al café, a estos se les denomina café especial, las denominaciones de café especial dadas por la Federación Nacional de Cafeteros son las siguientes.

- Cafés de Origen
- Cafés sostenibles
- Cafés de preparación

Para obtener alguna de estas hay que cumplir una serie de especificaciones según las características de la denominación a solicitar y a su vez cada denominación tiene subcategorías a aplicar, que tienen sus propias particularidades que son verificadas por la Federación Nacional de Cafeteros o a través de una entidad certificadora. A continuación se muestra un cuadro resumen de las categorías y subcategorías de los cafés especiales así como el logotipo y la explicación que representa cada una de ellas.

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	DESCRIPCIÓN	LOGOTIPO QUE LOS IDENTIFICA	EJEMPLO DE ALGUNAS MARCAS DE ESTOS CAFÉS EN COLOMBIA
1. CAFÉS DE ORIGEN: Son cafés que provienen de una región o finca, con cualidades únicas, debido a que crecen en sitios especiales. Son vendidos al consumidor final sin ser mezclados con otras calidades o cafés provenientes de otros orígenes. Se clasifican en café regional, cafés exóticos y café de finca	CAFÉS REGIONALES	Son aquellos que provienen de una región específica, reconocida por sus cualidades particulares las cuales deben ser estables y verificables.		 Café Regional Jazmín: producido en Pereira, Risaralda
	CAFÉS EXÓTICOS	Cafés con características de sabor único que se cultivan en condiciones microclimáticas, agroecológicas y socioculturales plenamente delimitadas geográficamente		 Café Exótico Amazónico: producido en seis municipios del departamento de Caquetá
	CAFÉS DE FINCA	Son los provenientes de una finca que tenga producciones mayores a 500 sacos de 60 kilos por año y que cumplen con los mas rigurosos estándares de calidad		
2. CAFÉS SOSTENIBLES: Son cafés cultivados por comunidades que tienen un serio compromiso con la protección del ambiente a través de la producción limpia y la conservación de la biodiversidad de sus zonas. También promueven el desarrollo social de las familias cafeteras que los producen. Los clientes los prefieren porque cuidan la naturaleza y promueven el mercado justo con los países en vía de desarrollo	CAFÉS DE CONSERVACIÓN	Son reconocidos por el manejo ambiental que implementan en su sistema productivo, conservando la biodiversidad, buscando mantener el equilibrio entre la actividad económica y los recursos naturales.		  Estos tres sellos son marcas internacionales de cafés sostenibles de conservación y están siendo producidos en todas las zonas cafeteras del país  Este sello es una marca internacional de cafés sostenibles que promueven relaciones sociales  Café Orgánico Tatamá: producido en Apia, Risaralda 
	CAFÉS QUE PROMUEVEN RELACIONES SOCIALES	Consisten en aquellos cafés producidos entorno a un proyecto productivo, en el cual existe una serie de elementos de desarrollo social y cultural como; el trabajo asociado de varios productores, el mejoramiento de la calidad de vida y la protección del medio ambiente.		
	CAFÉS ORGÁNICOS	Son aquellos cultivados sin agroquímicos. Son comercializados con una certificación expedida por una firma especializada, encargada de inspeccionar y vigilar las prácticas del cultivo, el proceso de trilla, almacenamiento y transporte		
3. CAFÉS DE PREPARACIÓN: Son cafés con una apariencia especial por su tamaño y forma lo que los hace apetecidos en el mercado internacional. También pertenecen a esta categoría los cafés que se buscan de acuerdo a las preferencias de un cliente en particular y se acopian para ofrecer un producto consistente	CAFÉ SELECTO	Son los cafés que resultan de una cuidadosa selección, realizada por solicitud del cliente, siguiendo un protocolo definido		 Algunos de los cafés vendidos bajo la marca del café colombiano Juan Valdez, es un ejemplo de cafés de preparación supremo tipo Premium
	CAFÉ SUPREMO	Son cafés que se ofrecen de acuerdo a una clasificación granulométrica o tamaño de grano como: Europa, Extra Supremo y Premium		
	CAFÉ CARACOL	Son cafés cultivados en zonas de altura, de los cuales se seleccionan aquellos granos en forma de caracol que producen una taza única de alta acidez		

Tabla 3 Categorías y logotipos característicos de los cafés.
Fuente: (Jaramillo, 2007)

También existen sellos de calidad que pueden obtener los productores de café de cada denominación, con el fin de garantizar un mayor nivel de confianza sobre el producto que adquieren sus consumidores, se detallan a continuación:

Rain Forest Alliance

En Colombia solo puede ser otorgado por la Fundación Natura quien verifica el cumplimiento de las normas RAS (Norma con Indicadores para Agricultura Sostenible). (Jaramillo, 2007)

UTZ Certified

Creado por una fundación Europea de vendedores al detal, este se da a fincas con buenas prácticas de la producción de café. Responde al cumplimiento de las BPA, teniendo un especial cuidado al uso de fertilizantes. (Valencia)

EUREPGAP

Este sello fue creado por la unión de entidades Europeas llamado Grupo Europeo de Minoristas por sus siglas EUREP, con el fin de poder asegurar a los consumidores la sanidad de los productos que consumen. Para obtener este sello se debe demostrar el cumplimiento de la norma europea Good Agricultural Practices GAP, enfocadas al cuidado de cultivos. (Valencia)

Café Con criterios Starbucks

Esta distinción es dada por la tiendas de café a nivel mundial Starbucks, gracias a la implementación del programa de proveedor preferido (PPP). Se les otorga a los proveedores que tengan una serie de características de producción responsable que se acoplan al cumplimiento de las BPA y el impacto en cuatro puntos clave de calidad del producto, responsabilidad económica, responsabilidad social y liderazgo ambiental en su producción. (Valencia)

Cafés de Comercio Justo o Fair Trade

Creado por pequeños productores asociados en cooperativas, para asegurar que es un café por el cual se debe pagar un precio mínimo de compra garantizado.

Para obtener este certificado se debe asegurar la calidad de vida que se les da a los trabajadores tanto como la del producto. (Valencia)

Cafés de Sombra o Amigable con las aves Bird Friendly

La organización Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC) es una entidad que estudia el comportamiento de las aves migratorias con relación a los cultivos de café. Este sello de calidad fue creado en 1998, para caficultores con cafés tipo orgánico y de cultivo bajo sombra, que preserven la fauna silvestre y flora silvestre. (Valencia)

Sello de café orgánico

“Es el café producido y procesado en un sistema sostenible (ambiental, técnico y socioeconómicamente viable), en el cual no se utilizan productos químicos de síntesis, de acuerdo con estándares de calidad nacional.” (Valencia)

Para obtener esta certificación y comercializar el café como orgánico se deben demostrar qué tipo de productos usan para su producción a través de una empresa certificadora.

Sello único nacional de alimento ecológico

Este es un sello nacional regido por la Resolución 000148 del 2004. Para poder obtener esta certificación se debe ir al Ministerio de Agricultura Desarrollo Rural con una carta acreditada por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) que certifique por parte de una entidad certificadora el cumplimiento de la resolución. (Valencia)

También existen certificaciones importantes concedidas únicamente por la Federación Nacional de Cafeteros como:

Denominación de Origen Protegida (DO)

Con la cual se certifica que la calidad de ese café es por su procedencia donde se desarrollan iniciativas de valor agregado. (Federación Nacional de Cafeteros)

Indicación Geográfica Protegida (IGP)

Que se distingue por el reconocimiento de la Unión Europea siendo un reconocimiento a la excelencia y cumplimiento de las normas europeas para la exportación de café Colombiano hacia el viejo continente. (Federación Nacional de Cafeteros)

4.5. Conceptos

4.5.1. Definición de proceso estándar

Proviene del análisis de un proceso productivo, en donde se definen los problemas que este presenta y se les da una solución. Se analiza cada operación con el fin de determinar los procedimientos de fabricación más económicos para la cantidad que se desee producir, considerando la seguridad del operador y su interés en el trabajo, estableciendo niveles calidad apropiada y posteriormente dando seguimiento al proceso con el fin de garantizar que el método prescrito se haya puesto en operación (Niebel, 2009).

4.5.2. Definición de producto caracterizado

Metodología por la cual se definen las características generales del producto, por medio de un análisis de calidad, en el cual se determinan propiedades las cuales pueden ser de forma u organolépticas. Para realizar la caracterización de un producto se recomienda tener un proceso estándar con el fin de garantizar una producción uniforme con características homogéneas.

Por lo general estos controles de calidad para alimentos se realizan por medio de un análisis sensorial, herramienta para caracterizar un producto organolépticamente.

Josep Fernández Bujan en su publicación Análisis sensorial, cuaderno de la nueva cultura del vino define el análisis sensorial como:

“El análisis sensorial u organoléptico es una disciplina científica que contempla el uso de los sentidos para estudiar características susceptibles de estimular nuestros órganos sensoriales, tomar datos del mundo exterior e interior, identificarlos, relacionarlos, clasificarlos, sacar conclusiones y decidir de acuerdo con éstas.” (Fernández, 2006)

4.5.3. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa-efecto. (Pulido, y otros)

En otras palabras el diseño estadístico de experimentos se utiliza fundamentalmente para realizar pruebas que permitan analizar el comportamiento de una situación específica, el diseño comienza por determinar cuáles serán las pruebas a realizarse y de qué manera se deben llevar a cabo. Esto con el fin de obtener datos fiables que deberán ser procesados mediante técnicas estadísticas, por último se interpreta la información arrojada por las herramientas estadísticas con el fin de encontrar evidencia que permita responder los interrogantes de la investigación.

4.5.4. Experimento

El experimento permite ampliar sustancialmente la información relacionada a un sistema o proceso. El experimento está ligado a un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio en una o varias propiedades del producto o resultado.

4.5.5. Unidad experimental

La unidad experimental se refiere a la pieza o muestra que se requiere para generar un valor que sea representativo del resultado del experimento o prueba. (Pulido, y otros)

4.5.6. Observación

Una observación es una toma de medida de una variable. Dependiendo del tipo de diseño, las observaciones pueden tomarse a diferentes sujetos o al mismo sujeto de manera secuencial.

4.5.7. Variable

Una variable es una propiedad que puede fluctuar, es decir, es susceptible de adoptar diferentes valores, los cuales pueden medirse u observarse y cuya variación determina un comportamiento determinado en la unidad experimental y por ende en el objeto de estudio.

A continuación se muestra por medio de un diagrama cuáles son los factores o variables preponderantes a tener en cuenta para efectuar un diseño de experimentos sobre un proceso, teniendo:

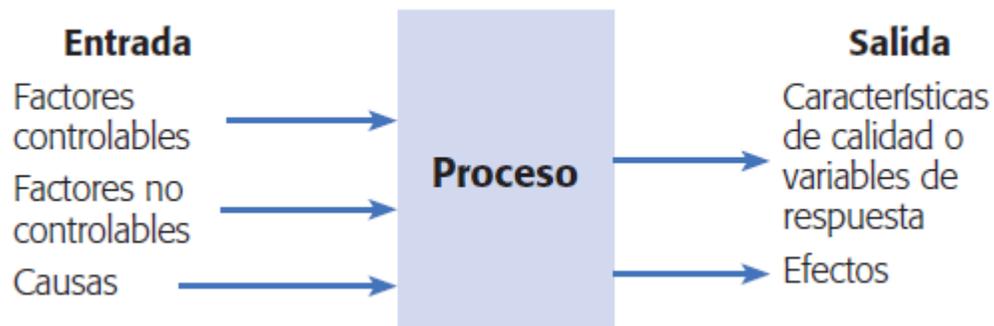


Ilustración 7 Factores y variables predominantes.

4.5.7.1. Variable de respuesta

La variable de respuesta ayuda a entender los efectos ocasionados por cada prueba experimental efectuada sobre el proceso, gracias a esta es posible evaluar características propias del producto como calidad e incluso en algunas ocasiones desempeño del proceso.

4.5.7.2. Variable de predicción

“Es una variable que puede contribuir a la explicación del resultado de un experimento.” (Tomado de NTC-2062-3)

4.5.8. Factores controlables

Son aquellos factores fáciles de controlar ya que están a la mano del investigador, estas pueden ser variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. (Pulido, y otros)

4.5.9. Factores no controlables o de ruido

Son aquellos factores que no están al alcance del investigador, por tanto resultan ser en algunas ocasiones imposibles de mejorar, estos pueden ser variables o característicos de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso. Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable cuando se cuenta con el mecanismo o la tecnología para ello. (Pulido, y otros)

4.5.10. Factores estudiados

Son todas las variables que son sujeto de investigación en el experimento, cada una de ellas debe tener influencia directa sobre las variables de respuesta. Los factores estudiados pueden ser controlables o no controlables. Para que un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado en, al menos, dos niveles o condiciones. (Pulido, y otros)

4.5.11. Niveles y tratamientos

Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño. (Pulido, y otros)

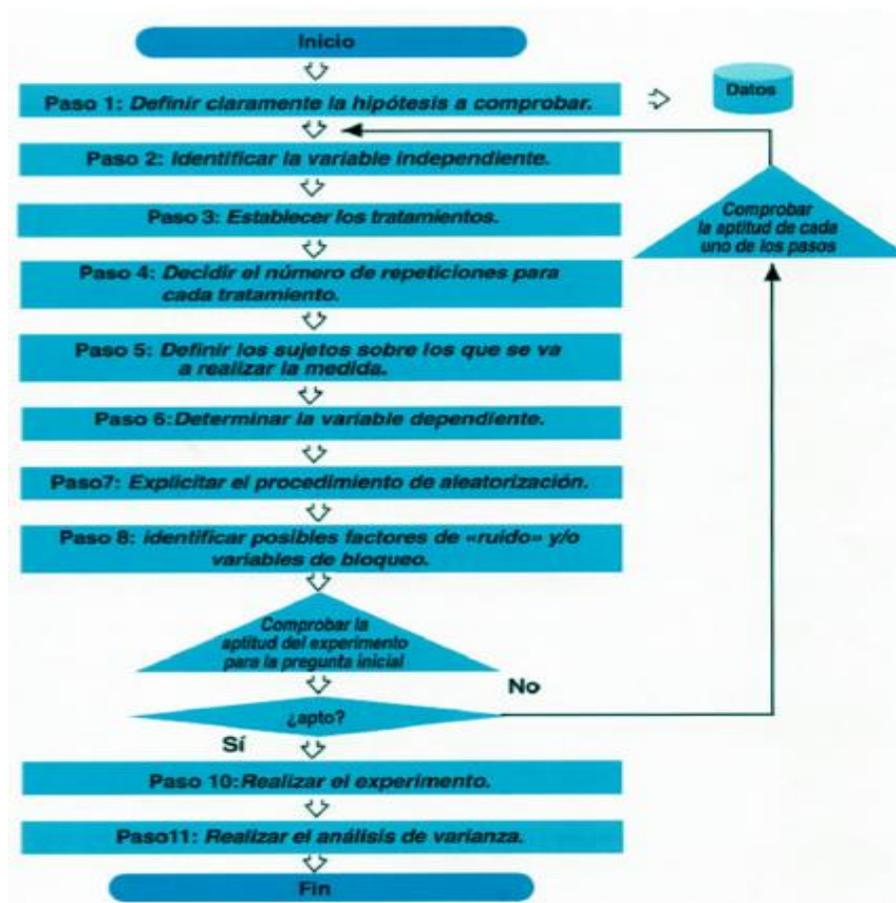


Ilustración 8 Diagrama de flujo para el proceso de diseño de
Fuente: (Funcación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad)

4.5.12. Prueba d de Durbin-Watson

La prueba Durbin-Watson es la prueba más conocida para detectar correlación serial, que se define como la razón de la suma de las diferencias al cuadrado de residuos sucesivos sobre la SCR. Se puede observar que, en el numerador del estadístico d , el número de observaciones es $n - 1$ debido a que se pierde una observación al obtener las diferencias consecutivas. (Gujarati, y otros)

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{u}_t^2}$$

Ilustración 9 Ecuación general para calculo el estadístico d de Durbin-Watson.
Tomado de **(Gujarati, y otros)**

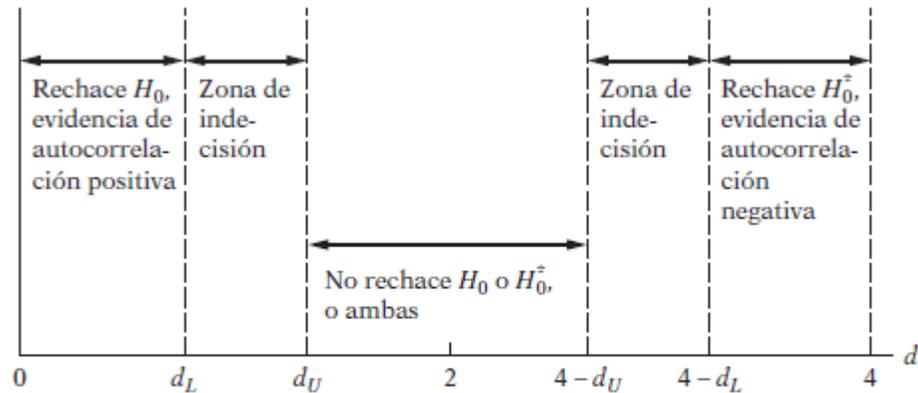
Una gran ventaja del estadístico d es que se basa en los residuos estimados, que se calculan de manera rutinaria en los análisis de regresión. Debido a esta ventaja, es frecuente incluir el estadístico d de Durbin-Watson en los informes de análisis de regresión, es importante observar los supuestos en los cuales se basa:

1. El modelo de regresión incluye el término del intercepto.
2. Las variables explicativas, X , son no estocásticas, es decir, son fijas en muestreo repetido.
3. Las perturbaciones u_t se generan mediante el esquema autorregresivo de primer orden.
4. Se supone que el término de error u_t está normalmente distribuido.
5. El modelo de regresión no incluye valores rezagados de la variable dependiente como una variable explicativa.
6. No hay observaciones faltantes en los datos.

El muestreo exacto o la distribución de probabilidad del estadístico d dado es difícil de derivar porque, como demostraron Durbin y Watson, tiene una dependencia compleja de los valores presentes de X en una muestra dada. Esta dificultad se entiende porque d se calculó a partir de los u_t , los cuales, por supuesto, dependen de las X dadas. Por consiguiente, a diferencia de las pruebas t , F o X^2 , no hay un valor crítico unico que lleve al rechazo o a la aceptación de la hipótesis nula de que no hay correlación serial de primer orden en las perturbaciones u_i . Sin embargo, Durbin y Watson lograron encontrar un límite inferior d_l y un límite superior d_u tales que si el valor d calculado cae por fuera de

estos valores críticos, puede tomarse una decisión respecto de la presencia de correlación serial positiva o negativa. Además, estos límites solo dependen del número de observaciones n y del número de variables explicativas, y no de los Valores que adquieren estas variables explicativas. Durbin y Watson tabularon estos límites para n , de 6 a 200 y hasta 20 variables explicativas.

El procedimiento de prueba aplicada se explica mejor con ayuda de la siguiente gráfica, la cual muestra que los límites de d son 0 y 4.



Leyendas

H_0 : No hay autocorrelación positiva

H_0^z : No hay autocorrelación negativa

Ilustración 10 Estadístico d de Durbin-Watson tomado de (Gujarati, y otros).

El desarrollo de método requiere de las siguientes fases:

- 1) Estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) del modelo de regresión
- 2) Cálculo de los residuos MCO
- 3) Obtención del estadístico d (experimental) de Durbin-Watson
- 4) Búsqueda de los niveles críticos del contraste
- 5) Aplicación de la regla de decisión

Hipótesis nula	Decisión	Si
No hay autocorrelación positiva	Rechazar	$0 < d < d_L$
No hay autocorrelación positiva	Sin decisión	$d_L \leq d \leq d_U$
No hay correlación negativa	Rechazar	$4 - d_L < d < 4$
No hay correlación negativa	Sin decisión	$4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$
No hay autocorrelación, positiva o negativa	No rechazar	$d_U < d < 4 - d_U$

Tabla 4 Reglas de decisión para el estadístico de Durbin-Watson Tomado de (Gujarati, y otros)

4.5.12. Métodos y modelos de análisis de resultados

4.5.12.1. Análisis de regresión

Grupo de procedimientos asociados con la evaluación de modelos que relacionan las variables de predicción con las variables de respuestas, siendo estas variables continuas, aleatorias y en las que se hace énfasis en modelo predictivo explícito. Adaptado de la norma NTC2062-3

Este tipo de análisis está asociado comúnmente con el proceso de evaluar los parámetros de un modelo supuesto optimizando el valor de una función objetivo, minimizando la suma de las diferencias cuadradas entre las respuestas observadas y las previstas por el modelo. Adaptado de la norma NTC2062-3.

5. Diseño Metodológico

El estudio se divide en dos fases, una exploratoria en la que se realiza un diagnóstico preliminar, en donde se establece los procedimientos que se emplean actualmente para la elaboración del café, de dichos procesos se hará especial énfasis en los procedimientos realizados durante las etapas de fermentación y secado.

Hecho esto se procede a realizar un estudio de caracterización donde se evalúa el comportamiento de las variables más importantes de estas etapas, con el fin de establecer de una manera precisa como estos parámetros afectan y definen el café producido en la finca, teniendo como base los estándares de la Federación Nacional de Cafeteros. Esta herramienta permite garantizar niveles de calidad sobre el producto terminado, pues a partir de la estandarización se espera que las características del producto sean constantes en el tiempo.

5.1. Diseño experimental para la caracterización de la etapa de fermentación y secado del café La Primavera

5.1.1. Caracterización etapa de fermentación

Para la etapa de fermentación la variable a medir es el tiempo de fermentación, el cual tendrá diez categorías definidas como 3, 9,12, 14,16, 17,18, 19, 20 y 21 horas, con estas mediciones se pretende establecer una continuidad en el proceso que permita observar la variación desde puntos iniciales en la fermentación hasta aquellos puntos que resultan fundamentales para la calidad del café, esta variable indicara la duración del proceso. Este factor de estudio se escogió con el fin de encontrar valores preferenciales de pH el cual será la variable de respuesta ya que es un claro indicador de la calidad del café resultante del proceso, la que es medida directamente del mucilago que desprende el café durante la fermentación. Se encuentra que un nivel recomendado por el Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFÉ) de pH esta entre 3,5 y 3,9 (CENICAFÉ, 2004).

De cada una de las categorías de tiempo de fermentación previamente definidas se tomaran tres medidas de pH, para cada una de estas posiciones se determinara el valor promedio que permite establecer el estado de la muestra en determinado instante de tiempo, de estas se tomara una muestra, la cual cumpla con el valor de pH de 3,5. La muestra que cumpla con la condición dada será la que se utilizara para realizar la prueba de secado, con el fin de generar el menor impacto sobre la prueba se toma la decisión de iniciar la etapa de secado en el

instante mismo en que la toma cumpla con las condiciones de pH establecidas anteriormente

Con este procedimiento se obtiene la relación entre el valor del pH y el tiempo de fermentación. Por medio de un modelo de regresión lineal se establecerá un modelo matemático que permita describir el comportamiento del pH según la duración del proceso o tiempo de fermentación, los resultados del modelo se encontrarán detallados en el siguiente modelo de tabla de resultados.

El procedimiento para la toma de las muestras se muestra más adelante.

Muestra N°	Tiempo de fermentación	pH			pH promedio
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabla 5 Tabla de resultados para la caracterización de la etapa de fermentación.

5.1.2. Caracterización etapa de secado

Para la etapa de secado se tomaran las muestras seleccionadas por el nivel de pH según las especificaciones de la etapa anterior, dichas muestras serán expuestas a una temperatura de 45° C en el horno de secado. Se medirá la variable de predicción del tiempo de secado, que tendrá ocho categorías definidas como 2, 3, 5, 6.5, 8, 13, 14 y 17 horas de secado dado a que en las primeras horas en el rango de 2 a 6 se esperan cambios no muy grandes y en el rango de 12 a 19 horas se espera que se presenten los cambios más importantes para la calidad del café. Variable que indicara la duración del proceso. Este factor de estudio es seleccionado con el fin de determinar el porcentaje de humedad, variable respuesta de esta etapa. Siendo este el parámetro más importante de calidad del café resultante, el que es medido en el grano de café durante el secado. Se encuentra que un nivel recomendado de porcentaje de humedad es del 11% ± un porcentaje de error asociado a la medición para exportación (CENICAFÉ, 2004).

Para la medición se puede utilizar diferentes métodos el primero es por el color de la almendra luego de trillar el grano, teniendo la siguiente comparación donde en la ilustración 9 los granos en la sección (A) son granos con un porcentaje de humedad adecuado y los granos de la sección (B) son granos con humedad mayor al 12% (CENICAFÉ, 2004) este método es muy impreciso, otro es con mediciones técnicas las cuales se clasifican en dos tipos, las mediciones directas resultan ser más precisas pero toman un mayor tiempo en cuanto a su determinación, donde se aplica el Método ISO 1446 y el otro es de mediciones indirectas las cuales son derivaciones de las primeras estas resultan ser más imprecisas, donde se aplica el Método ISO 6673. (Jiménez, y otros), también se puede realizar esta medición utilizando el medidor de humedad de grano el cual arroja valores de humedad relativa, entre otros. Se escogió el método establecido en la norma ISO 6673 (traducción NTC 2325).

De cada una de las categorías de secado definidas se tomara una muestra a la cual se le aplicara el proceso establecido en la NTC 2325, con el objetivo de garantizar que las muestras cumplan con el porcentaje de humedad establecido anteriormente.

Con este procedimiento se consigue establecer la relación existente entre el tiempo de secado y el porcentaje de humedad, en este caso se aplica un modelo de regresión lineal simple para obtener un modelo matemático del comportamiento del porcentaje de humedad según la duración del proceso (tiempo de secado) y la temperatura a la cual se realizó el mismo, mostrando los resultados en el siguiente modelo de tabla de resultados.

El procedimiento para la toma de las muestras se muestra más adelante.

5.2. Definición de variables

Para realizar el experimento se presenta a continuación en resumen las características de las variables a utilizar.

Nombre del proceso	Variable	Nombre de la variable	Unidad	Tipo de variable	Descripción
Fermentación	Variable de predicción	Tiempo de fermentación	Min	Continua con escala cardinal por razón, independiente	Duración del proceso de fermentación que inicia desde cuando se termina el despulpado del grano y termina cuando se ha desprendido el mucilago completamente.
Fermentación	Variable de respuesta	Acidez	Ph	Continua con escala cardinal por intervalo, dependiente	Valor de acidez al finalizar el procedimiento de fermentado, tomada del mucilago desprendido, leídas con tiras de color según procedimiento dado por la federación nacional de cafeteros.
Secado	Variable de predicción	Tiempo de secado	Min	Continua con escala cardinal por razón,	Duración del proceso a diferentes temperaturas con el fin de dejar el porcentaje de humedad adecuado en el grano para mejorar su calidad.
Secado	Variable de respuesta	Contenido de agua	%	Continua con escala cardinal por intervalo,	Cantidad de agua dentro del grano, antes de comenzar el proceso de secado y durante el mismo hasta que se llega al porcentaje de. (Definición 3.1 NTC 6046)

Tabla 7 Factores controlables y variables de respuesta.

5.3. Procedimiento para toma de muestra y medición

5.3.1. Definición del tamaño de muestra

Se establece el tamaño de muestra para la etapa de fermentación de 120 ml de mucilago y para la parte de secado de 42 gr de café

Dicho tamaño de muestra se estableció con criterio de experto con base en la definición de la Dra. Luz Patricia Restrepo, Profesora asociada, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá experta en análisis sensorial

5.3.2. Procedimiento toma de muestras y medición etapa de fermentación

Determinación del pH

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno expresada en moles por litro $-\log [H^+]$. El potencial de hidrogeniones es una notación que permite establecer el grado de acidez o alcalinidad de una solución. (greenwood)

Materiales

- pH metro Corning® Scholar 425.



Ilustración 12 Medición química de control de calidad de la fermentación del mucilago del café pH metro. Tomado de (Sigma-Aldrich)

- Agua destilada.

Procedimiento

El método consiste en tomar un pH metro digital el cual reporta valores de 0 a 14 por medio de un par de electrodos el proceso de uso es el siguiente. Adaptado de (Universidad de Murcia) y (Protocolos de pruebas analíticas).

1. Sacar el electrodo de medición del pH metro.
2. Aclarar los mismos con agua destilada y secarlos bien.
3. Introducir los electrodos en la muestra y realizar la lectura en la pantalla del aparato.
4. Aclarar de nuevo con agua destilada, secarlos e introducirlos en sus soportes correspondientes.
5. Repetir el procedimiento según se requiera para la toma de las mediciones.

5.3.3. Procedimiento toma de muestras y medición etapa de secado

Definición de variable

Contenido de agua del café verde: Pérdida en masa que experimenta el café cuando se lleva a equilibrio real con la atmosfera que tiene vapor de agua con presión cero, bajo condiciones tales que se evitan las reacciones que interfieren. (Tomado de norma NTC 6046)

Pérdida de masa a 105 °C: Principalmente agua y cantidades pequeñas de materia volátil que se evaporan, expresadas como porcentaje en masa. (Tomado de norma NTC 2325)

Equipos y elementos (Adaptado de norma NTC 2325)

- Horno DiEs: Horno eléctrico con capacidad de soportar temperaturas de $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Ilustración 13 Horno Utilizado para pruebas de medición de porcentaje de humedad.

- Cápsula: Capsula metálica con altura entre 20 mm y 10 mm.
- Balanza analítica Mettler Toledo PB 602: Balanza con aproximación a 0,001 mg.



Ilustración 14 Balanza analítica.

Procedimiento

Procedimiento adaptado de la norma NTC 2312 para muestreo y de la norma NTC 2325 para preparación de la capsula, preparación de la muestra, determinación del peso y cálculos.

1. Preparación de la cápsula

Seque la capsula durante una hora en el horno, controlando una temperatura de $105\text{ C}^{\circ} \pm 1\text{ C}^{\circ}$.

Luego saque del horno la capsula y deje secara temperatura ambiente en el desecador.

Determina el peso de la cápsula y la tapa con aproximación de 0,1 mg.

2. Preparación de la muestra (Adaptado de norma NTC 2325)

Coloque 10 g de café dentro de la cápsula preparada anteriormente y pese la capsula con una aproximación de 0,1 mg.

3. Determinación del peso (Adaptado de norma NTC 2325)

Coloque en el horno la cápsula a una temperatura de $105\text{ C}^{\circ} \pm 1\text{ C}^{\circ}$, durante $16\text{ h} \pm 0,5\text{ h}$.

Luego saque la cápsula, póngala a secar en el desecador hasta llegar a temperatura ambiente y pese con aproximación de 0,1 g.

4. Calculo de resultados (Adaptado de norma NTC 2325)

Para el cálculo de los resultados se encontrara la pérdida de masa, w , expresada como porcentaje en masa, que por definición es el porcentaje de agua de la muestra inicial.

$$w = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \right) (100\%)$$

Donde

w = pérdida de masa expresada en porcentaje en masa.

m_0 = masa en gramos, de la cápsula

m_1 = masa en gramos, de la cápsula y la muestra de ensayo antes del secado.

m_2 = masa en gramos, de la cápsula y la muestra de ensayo después del secado.

6. Resultados

6.1. Metodología y características de producción actual

Durante la fase exploratoria se encontraron las condiciones de producción de la beneficiadora de la finca La Primavera, ubicada en Silvania Cundinamarca, Colombia, a una altitud que oscila entre 1.200 y 2700 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 20.5 ° C y humedad relativa del 80%. El café que se cultiva es de la variedad Castillo Santa Bárbara. (Alcaldía de Silvania - Cundinamarca)

La recolección se realiza según el pepeo de los diferentes sectores de siembra dispuestos en la finca de manera manual, luego de esto el café recolectado es llevado directamente a la beneficiadora para iniciar el proceso de despulpado en la Eco Mill 3000, donde tras pasar por despulpadora, pasa al tanque de fermentación en seco, donde permanece un periodo de 18 horas, posteriormente es lavado en unos tanques que hacen parte del diseño de la beneficiadora.

Tras el beneficio el café fermentado es llevado al silo secador con el que se cuenta dentro del proceso, esta máquina resulta ser bastante eficiente para orear sin necesidad de manipular el café, este se queda hasta su secado final al interior de la máquina, el cual está actualmente fijado en 12 horas. Dentro de los beneficios del uso de esta tecnología está su secado uniforme, orea y seca a la vez.

Las características de la beneficiadora se presentan en la tabla 8, donde se ven los principales materiales y equipos que se emplean en el proceso y su descripción.

Equipo/Material	Descripción/Marca
Despulpado	Modulo de Producción Eco mill 3000, que cuenta para la etapas de despulpado con una despulpadora estrella para despulpado sin agua de acero inoxidable; en fermentación un taque de acero inoxidable para fermentación sin agua y una lavadora de bajo consumo de agua.
Fermentación	
Lavado	
Secado	silo-secador circular, con camaras de secado auxiliares. Dentro de los beneficios del uso de esta tecnología esta su secado uniforme, oreo y se ca a la vez.

Tabla 8 Equipo utilizado en la beneficiadora de la Finca la Primavera.

A continuación se muestra las diferentes etapas del beneficio, en la beneficiadora de la finca la primavera.



Ilustración 15 Despulpadora de la Finca La Primavera.



Ilustración 16 Tanque de fermentación de la Finca La Primavera.



Ilustración 17 Tanque para lavado de la Finca La Primavera.



Ilustración 18 Silo-secador de CENICAFÉ utilizado en la Finca La Primavera.



Ilustración 19 Silo secador.

En la actualidad el proceso se realiza con los parámetros mínimos dados por CENICAFÉ en los tiempos de fermentación y secado, la beneficiadora se utiliza según los pepeos obtenidos ya que se encuentran terminando de definir la distribución de las cosechas y adicionalmente el proceso actual de beneficio fue adecuado recientemente lo que resalta aún más la importancia de este estudio.

6.2. Caracterización de la etapa de fermentación

De acuerdo con lo mencionado en este estudio se analizó el comportamiento del pH durante el proceso de fermentación, se pudo establecer que este muestra una tendencia decreciente, esto indica un aumento en la acidez generado por la fermentación de los azúcares y pectinas provenientes del mucílago. Como se puede evidenciar en la gráfica el proceso tubo comienzo con valores cercanos a los 7.13, al compararla con las gráficas del estudio “*Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural*” de Aida Esther Peñuela-Martínez , Carlos Eugenio Oliveros-Tascón y Juan Rodrigo Sanz-Urbe publicado en el año 2010 por CENICAFÉ se puede apreciar una diferencia sustancial en el pH de inicio de la prueba esto se debe a condiciones asociadas a las características del suelo, los valores típicos del experimento efectuado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café se acercan a 5.19. Desde el comienzo de la prueba se pudo apreciar que existe una amplia similitud entre las tendencias para cada una de las curvas, esto permite verificar que a pesar de las diferencias en factores externos como la altura, condiciones ambientales y de suelos el comportamiento de los datos es muy similar.

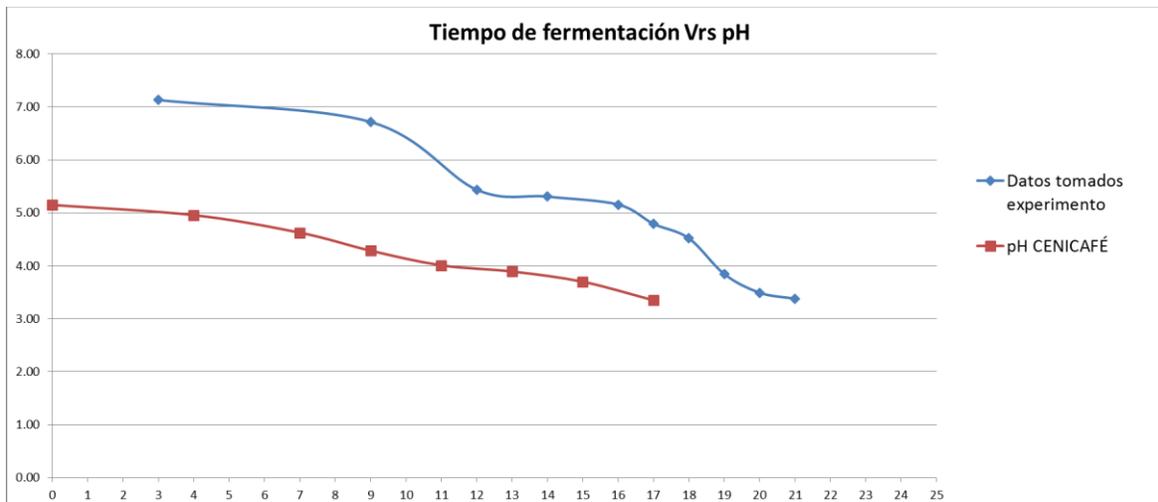


Ilustración 20 Gráfica comparativa de tiempos de fermentación y pH obtenidos durante el experimento y de CENICAFÉ

Se realizó un análisis comparativo más profundo entre ambos métodos de fermentación natural, comparando de esta manera el proceso por vía seca en la Eco Mill 3000 y por vía húmeda desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café. Se emplearon herramientas estadísticas para el procesamiento de datos como lo es la regresión lineal para determinar patrones entre rapidez asociados a el descenso del pH en función del tiempo.

A continuación se presentan los datos de investigación y los pertenecientes al estudio de CENICAFÉ.

Tiempo de fermentación (Horas)	pH			pH promedio
3	7.22	7.12	7.05	7.13
9	6.68	6.74	6.73	6.72
12	5.46	5.41	5.44	5.44
14	5.30	5.29	5.33	5.31
16	5.16	5.13	5.18	5.16
17	4.72	4.82	4.84	4.79
18	4.50	4.55	4.51	4.52
19	3.81	3.88	3.85	3.85
20	3.45	3.51	3.52	3.49
21	3.35	3.40	3.39	3.38

Tabla 9 Valores y valores promedio de la medición del pH a diferentes horas de fermentación natural por vía seca.

Tiempo de fermentación (Horas)	pH CENICAFÉ
0	5.15
4	4.96
7	4.63
9	4.29
11	4.01
13	3.89
15	3.70
17	3.35

Tabla 10 Valores de pH a diferentes horas en fermentación natural por vía húmeda tomados de CENICAFÉ

Al realizar el procesamiento de los datos experimentales de las muestras tomadas en la finca de La Primavera se encontró que la relación entre la variable respuesta (pH promedio) y la variable dependiente (tiempo de fermentación) no presentan auto correlación, se llegó a esta conclusión después de efectuar el test de Durbin-Watson el cual permite evaluar si existe auto correlación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple. Con ello se pretendía ver si los valores presentan algún tipo de dependencia en cuanto al orden de obtención. Si fuera así se estaría incumpliendo una de las condiciones del modelo de Regresión lineal (normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de los datos) las estimaciones de los parámetros del modelo (los coeficientes del modelo) no tienen los criterios de calidad que se suponen.

Se realiza la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0: \rho = 0 - \text{No hay autocorrelación (+o-)}$$

$$H_0: \rho \neq 0$$

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{u}_t^2}$$

Tomado de (Gujarati, y otros)

$\hat{u}_t =$ residuo en el tiempo t

$d < d_l =$ Rechazamos H_0

$d < d_u =$ No rechazamos H_0

$d_l < d < d_l =$ rechazamos H_0

Al efectuar la prueba de hipótesis se obtuvo los siguientes valores:

$$p = 1.604$$

$$k' = 1$$

$$n = 10$$

$$d_l = 0.879$$

$$d_u = 1.320$$

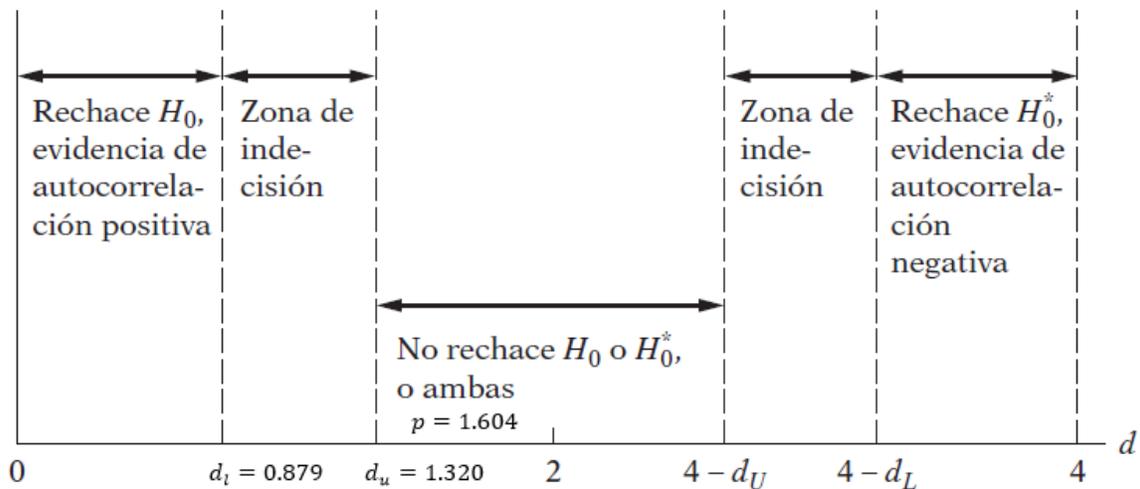


Ilustración 21 Valor del estadístico d de Durbin-Watson
Tomado de (Gujarati, y otros)

Al analizar los datos se puede ver como el valor de p se ubica en la región de no rechazo de H_0 , por lo tanto es posible concluir que no existe auto correlación positiva de primer grado entre la variable respuesta (pH promedio) y la variable dependiente (tiempo de fermentación), por esta razón se procede encontrar la ecuación que permite describir el comportamiento de los datos.

A continuación se presenta la ecuación que representa las condiciones en las instalaciones de la finca La Primavera.

$$y = 8.2171 - 0.2174x$$

Donde

$y = pH$ promedio

$x =$ Tiempo de fermentación

De la misma forma se procesaron los datos del estudio del Centro Nacional de Investigaciones de Café, los cuales cumplieron los criterios de la regresión lineal. Al realizar dicha regresión se obtuvo la siguiente ecuación que representa el comportamiento de los datos.

$$y = 5.2791 - 0.10868x$$

Donde

$y = pH$ promedio

$x =$ Tiempo de fermentación

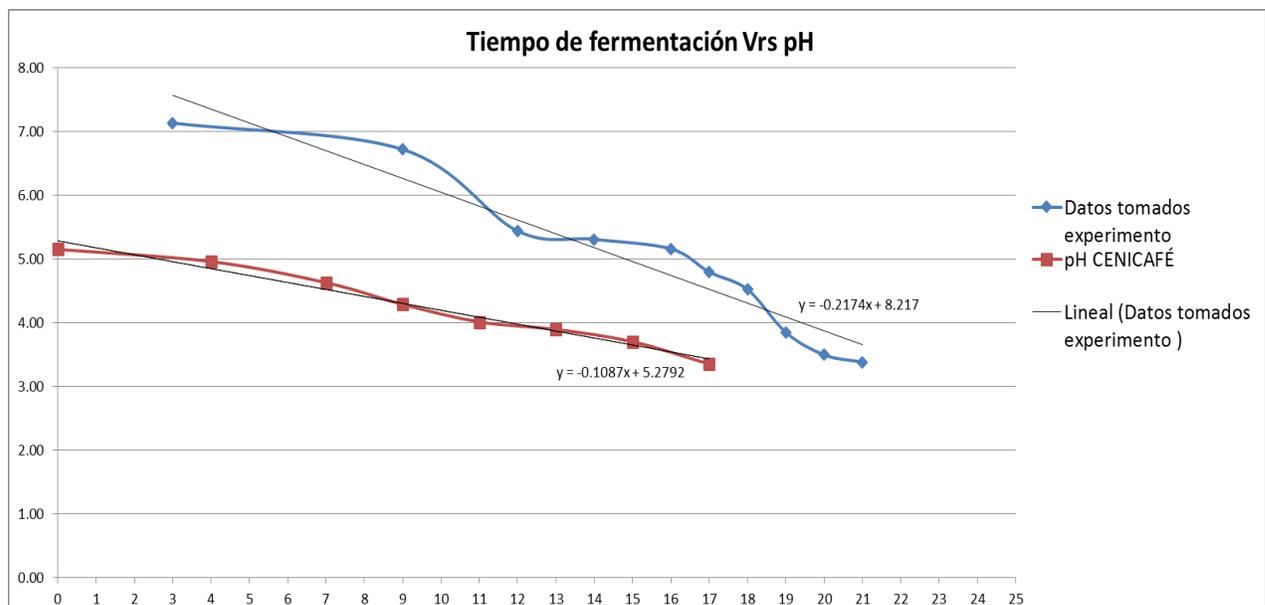


Ilustración 22 Gráfico de tiempo de fermentación Vrs pH de la finca la primavera y CENICAFÉ, con línea de tendencia

Teniendo en cuenta lo anterior para poder realizar correctamente la comparación entre las rectas obtenidas, se observó el valor de las pendientes de cada una de las pruebas, para los datos tomados al interior de la finca La Primavera se tiene un valor de la pendiente de $|-0.21174|$ y para el Centro Nacional de Investigaciones de Café se tiene un valor de $|-0.10868|$, se puede afirmar que debido al tipo de proceso que se realiza en la finca La Primavera se realiza a una mayor velocidad a comparación del proceso realizado en CENICAFÉ por fermentación natural por vía húmeda, esto dado a que por cada aumento en una unidad de tiempo de fermentación hay un mayor cambio en el pH del café en producción (0.10306).

Esto quiere decir que en términos de costos y ahorro del tiempo de procesamiento es mucho mejor realizar la fermentación natural por vía seca.

Teniendo en cuenta la regresión lineal de los datos de la Finca la Primavera, se realizó una estimación de las horas de fermentación necesarias para obtener un pH de 3.5, recomendado por CENICAFÉ.

Esta estimación se realizó despejando de la ecuación de regresión lineal encontrada para la finca, el valor de horas de fermentación (x), de la siguiente manera.

$$x = \frac{y - 8.2171}{-0.2174}$$

Tomando como (y) el valor de pH del café luego de (x) horas de fermentación, remplazando $y = 3.5$, obtenemos que el tiempo de fermentación estimado para obtener el pH recomendado es de 21.698 horas aproximadamente veintiún horas y cuarenta y dos minutos, al mismo tiempo se realizó el mismo procedimiento para el valor de pH de 3.9 dando como resultado 19.858 aproximadamente diecinueve horas y cincuenta y un minutos, por tanto se establece que la duración del proceso en miras de obtener el pH adecuado este entre 19.858 y 21.698 horas.

6.3. Caracterización del proceso de secado

De la misma forma que en el proceso de fermentación se efectuó para la etapa de secado un análisis comparativo de la información obtenida de manera experimental en la finca La Primavera y la extraída del artículo científico titulado “Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café” elaborado por Julieth Milena Jurado, Esther Cecilia Montoya, Carlos Eugenio Oliveros y Javier García en el año 2009 para el Centro Nacional de Investigaciones de Café. Al realizar una inspección gráfica de los datos se pudo identificar la existencia de una tendencia similar entre ambas curvas, esto teniendo en cuenta que se empleó el mismo proceso desecado por silo secador.

Se pudo establecer a primera vista que el comportamiento del café durante el secado en silo secador no se ve afectado significativamente por los cambios en los aspectos ambientales circundantes al proceso como lo son la altura, la temperatura o la humedad del ambiente.

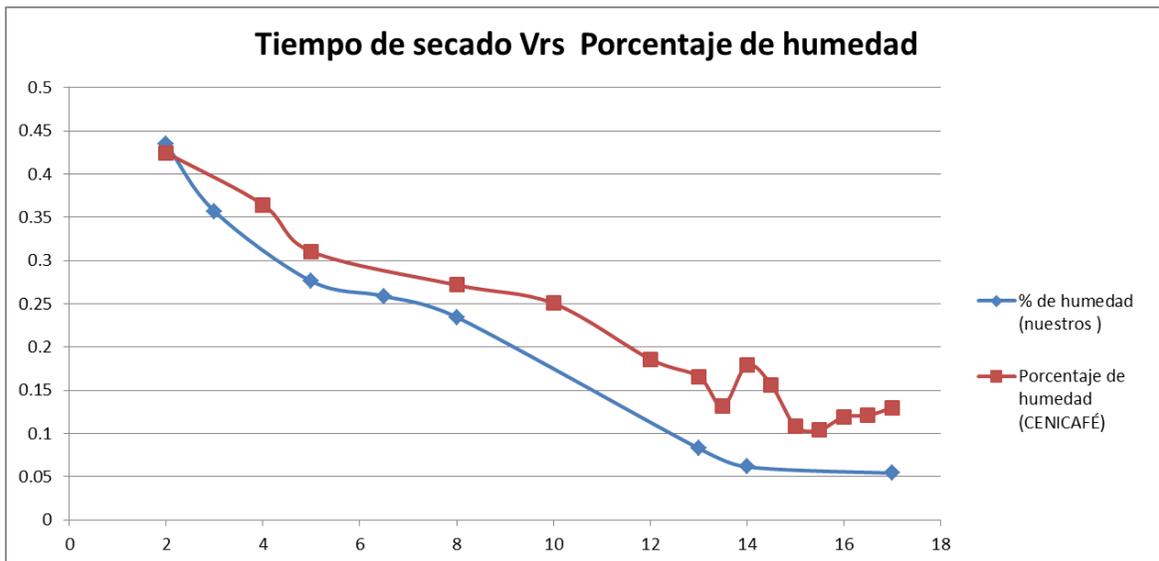


Ilustración 23 Gráfica comparativa de tiempos de secado y porcentaje de humedad obtenidos durante el experimento y de CENICAFÉ

Se procedió a realizar un análisis detallado de los datos de ambas fuentes con el fin de establecer criterios sólidos que permitieran determinar el estándar de proceso para la manipulación del silo secador y asegurar la fiabilidad de la prueba efectuada en la finca La Primavera. Se aplicó el mismo tratamiento estadístico que a la prueba de fermentación con el fin de garantizar que los datos pudiesen ser analizados mediante la aplicación de regresiones lineales, esto con el fin de determinar patrones de rapidez asociados a la reducción del porcentaje de humedad en función del tiempo.

A continuación se presentan los datos de investigación y los pertenecientes al estudio de CENICAFÉ.

Tiempo de secado (Horas)	% de humedad
2	43.43%
3	35.67%
5	27.61%
6.5	25.87%
8	23.44%
13	8.29%
14	6.14%
17	5.40%

Tabla 11 Valores de porcentaje de humedad a diferentes horas en secador de silos durante el experimento

Tiempo de secado en horas (CENICAFÉ)	Porcentaje de humedad (CENICAFÉ)
2	42.46%
4	36.43%
5	31.02%
8	27.16%
10	25.04%
12	18.59%
13	16.58%
13.5	13.14%
14	17.90%
14.5	15.64%
15	10.86%
15.5	10.41%
16	11.92%
16.5	12.08%
17	12.98%

Tabla 12 Valores de porcentaje de humedad a diferentes horas en secador de silos de CENICAFÉ

En el caso de los datos tomados en la finca La Primavera y los de CENICAFÉ correspondientes al proceso de secado, se determinó que para el test de Durbin-Watson se aceptaba H_0 , indicando la ausencia de correlación, de esta manera se verificó el cumplimiento de uno de los criterios de la regresión lineal.

A continuación se muestran los valores arrojados al aplicar el test Durbin-Watson y su evaluación grafica al efectuar la prueba de hipótesis para los datos de la finca La Primavera y el Centro Nacional de Investigaciones de Café:

Datos finca cafetera La Primavera

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 1.3691 \\
 k &= 1 \\
 n &= 8 \\
 d_l &= 0.763 \\
 d_u &= 1.332
 \end{aligned}$$

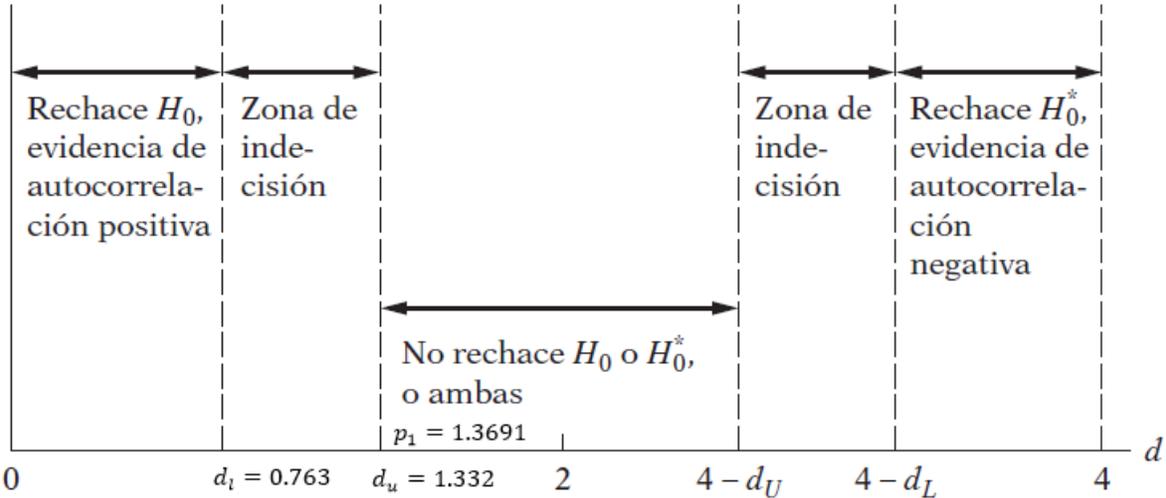


Ilustración 24 Valor del estadístico d de Durbin-Watson secado datos Finca la Primavera
Tomado de (Gujarati, y otros)

Datos Centro Nacional de Investigaciones de Café

$$p_2 = 1.5069$$

$$k' = 1$$

$$n = 15$$

$$d_l = 1.077$$

$$d_u = 1.361$$

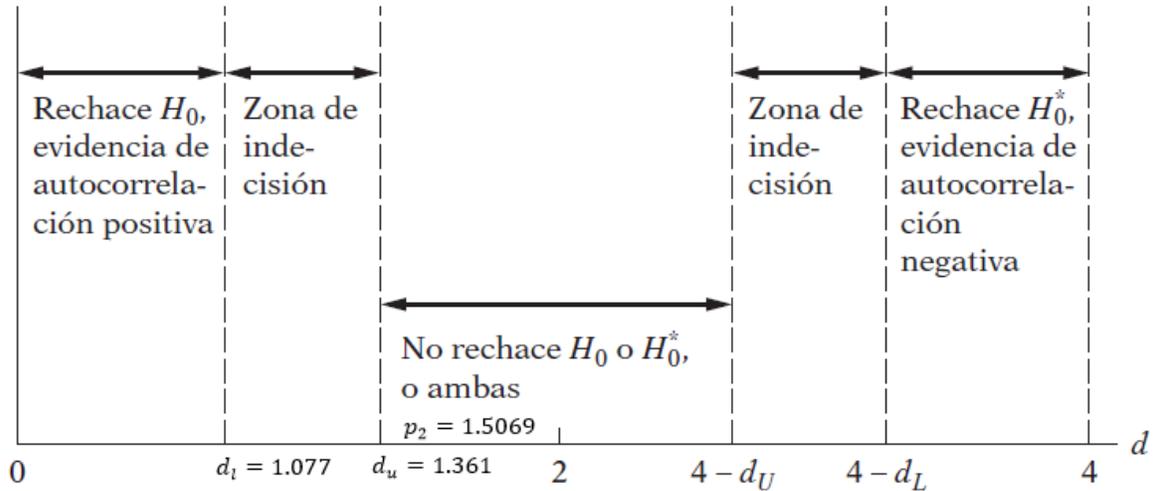


Ilustración 25 Valor del estadístico d de Durbin-Watson secado CENICAFÉ
Tomado de (Gujarati, y otros)

Teniendo en cuenta los criterios de la regresión lineal se determinó la siguiente recta de regresión

$$y = 0.4352 - 0.02515x$$

Donde

y = % de humedad del grano
 x = Tiempo de secado (Horas)

Con respecto a los datos del estudio del Centro Nacional de Investigaciones de Café, se puede decir que estos cumplen con los criterios de la regresión lineal. Al realizar dicha regresión se obtuvo la siguiente ecuación que representa el comportamiento de los datos.

$$y = 0.4391 - 0.02025x$$

Donde

$y = \%$ de humedad del grano Cenicafé
 $x =$ Tiempo de secado Cenicafé (Horas)

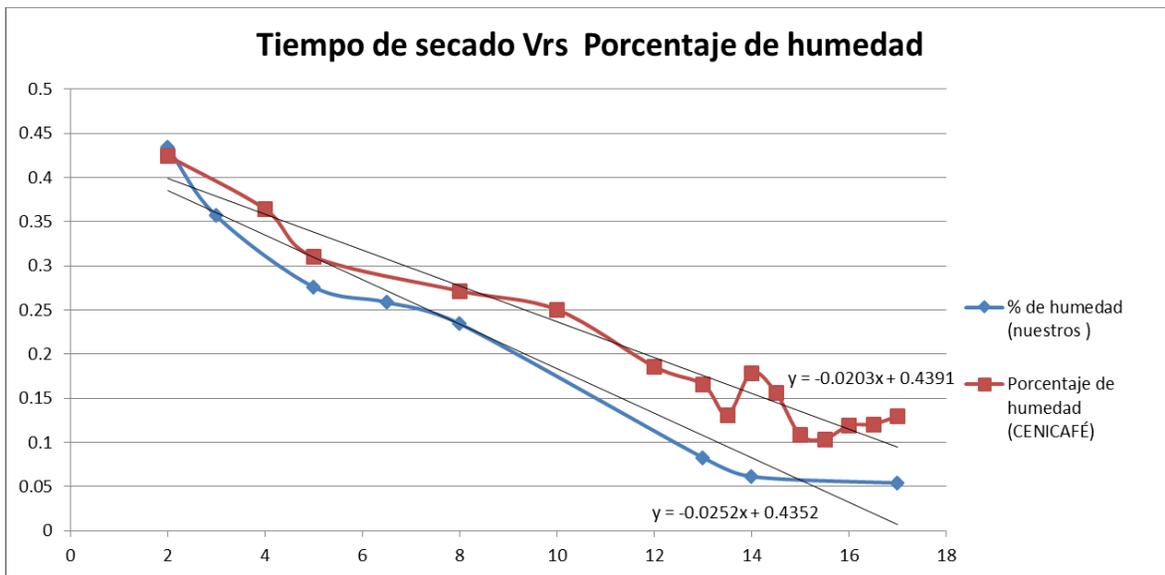


Ilustración 26 Tiempos de secado Vrs Porcentaje de humedad para los datos tomados en la finca La Primavera y los datos de CENICAFÉ

Al realizar un análisis comparativo entre las pendientes arrojadas por las rectas de tendencia, se puede observar que los valores de las pendientes son bastante similares, esto se debe a que los métodos empleados para el secado del café son los mismos (silo secador), el valor de la pendiente de la finca La primavera es de $|-0.0252|$ y para el Centro Nacional de Investigaciones de Café se tiene un valor de $|-0.0203|$, al realizar la diferencia entre ambas medias (0.0049) se puede esperar que las pendientes sean iguales por lo que se realizó la prueba de hipótesis para estimar si las pendientes de las rectas son las mismas.

Donde la hipótesis nula $H_0: \beta = \beta_0$ donde β es la pendiente de la recta de regresión obtenida para la Finca La Primavera y β_0 es la pendiente de la regresión obtenida a partir de los datos de CENICAFÉ y la hipótesis alternativa $H_1: \beta \neq \beta_0$.

El estadístico de prueba utilizado es:

$$t_{calculado} = \frac{|\beta - \beta_0|}{\text{Error estandar de la pendiente } \beta}$$

Remplazando los valores de

$$\beta = -0.02515$$

$$\beta_0 = -0.02015$$

$$\text{Error estandar de la pendiente } \beta = 0.00234796327914262$$

Se obtiene que $t_{calculado} = 2.1295$, y al ver la tabla t-Student con $t_{(0.025,6)} = 2.447$, ya que $t_{calculado} < t_{(0.025,6)}$ podemos aceptar H_0 por tanto se puede afirmar que las dos pendientes son iguales como ya se había mencionado.

Sin embargo a pesar de esto se puede ver que el comportamiento de las gráficas dentro de los intervalos de tiempo difieren de gran manera, es recomendable verificar las características organolépticas del café de la finca La Primavera debido a que no es posible establecer si el comportamiento de la gráfica tomada por CENICAFÉ se deba a anomalías, parámetros de funcionamiento del silo secador o condiciones ambientales.

Tras el análisis del método de producción de la finca La Primavera se pudo ver que el sistema de silo secador es el más recomendado dado a que se asegura una mayor homogeneidad en el secado y rapidez en el mismo en comparación con otros métodos de producción.

Con el análisis de la recta de regresión obtenida para la Finca se logró estimar un aproximado de horas de secado para cumplir con lo recomendado de porcentaje de humedad, realizando el mismo procedimiento que en la etapa de fermentación se obtuvo que para tener un porcentaje de humedad el 10% es necesario procesar durante 13.328 horas, trece horas y veinte minutos y para obtener un porcentaje de humedad del 12% se necesitan 12.533 horas, doce horas y treinta y dos minutos por lo que se establece que la duración del proceso de secado debe ser entre 12.533 y 13.328 horas.

Conclusiones

El proceso de fermentación natural en vía seca, bajo las condiciones ambientales de la finca cafetera La Primavera ubicada en el municipio de Silvania, Cundinamarca. Aplicando los métodos establecidos por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ) para la etapa de beneficio de un café de la variedad Castillo Santa Bárbara, permitió concluir lo siguiente:

- Se estableció un procedimiento para lograr la medición del pH según el tiempo de fermentación con el fin de realizar control de calidad en el proceso de fermentación natural en vía seca.
- Se estableció un procedimiento para lograr la medición del porcentaje de humedad del grano por medio de la utilización de un aprueba destructiva, con el fin de cumplir con las condiciones establecidas para la exportación de un café de alta calidad.
- Se realizó la validación del sistema de producción actual de la finca La Primavera con los procedimientos establecidos por el Centro Nacional de Investigaciones de Café para determinar su viabilidad, encontrando que son procesos rentables desde el punto de vista de las economías de escala y ahorros de tiempos de producción.
- Se determinaron los rangos de operación del proceso de fermentación natural por vía seca para la maquina Eco Mill 3000 dando como resultado un rango entre 19 horas y 51 minutos y 21 horas y 42 minutos para llegar a un valor de pH que oscila entre 3,5 y 3,9 valores recomendados según el Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Se determinaron los rangos de operación del proceso de secado en silo secador dando como resultado un rango entre 12 horas y 32 minutos y 13 horas y 20 minutos para llegar a un valor de porcentaje de humedad en grano que oscila entre 10% y 12% valores recomendados según el Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Se estableció la caracterización del proceso de fermentación natural por vía seca, desarrollado en la maquina Eco Mill 3000, según parámetros recomendados por el Centro Nacional de Investigaciones de Café.

- Se estableció la caracterización del proceso de secado en silo secador, según parámetros recomendados por el Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Se desarrollaron modelos de regresión lineal para realizar el análisis del comportamiento de los datos, con miras a rediseñar y establecer los tiempos de procesamiento del café en cada una de las etapas del beneficio analizadas.

Recomendaciones

Con el desarrollo de esta investigación se abrieron posibilidades de investigación en varias etapas de la producción del café, por esto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Es importante que se realice un seguimiento que permita evaluar los parámetros de arranque para el cultivo, beneficio y evaluación del café debido a que muchas de las guías técnicas desarrolladas por el Centro Nacional de Investigaciones de Café fueron elaboradas bajo condiciones de humedad, temperatura, precipitaciones, suelos, elevación o incluso procesos diferentes que pueden llegar a impactar la calidad del café que se elabora.
- Es recomendable validar mediante métodos de análisis sensorial la calidad de taza para el café elaborado en la finca La Primavera, con el objetivo de establecer de una manera más clara los parámetros que aportan la cultura de producción y el proceso de beneficio sobre el mismo.
- Se recomienda realizar un análisis comparativo entre el método de beneficio artesanal desarrollado anteriormente para el café y el proceso actual, con el fin de validar en qué medida se ha logrado mejorar la calidad de taza del café La Primavera.
- Empezar investigaciones con el fin de establecer el efecto generado por el manejo de abonos, arvenses y cultivos de diversas plantas, para identificar cómo podría verse impactada la calidad de taza del café.
- Empezar investigaciones que permitan verificar los efectos de la implementación de métodos de secado que permitan un secado más homogéneo sobre el grano.

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Zonas de producción cafetera en Colombia.....	13
Ilustración 2 Forma del cafeto para llegar a café cereza, para recolección.	14
Ilustración 3 Partes principales de una despulpadora tradicional.	22
Ilustración 4 Secado en patios de cemento.....	24
Ilustración 5 Secado en carros o silos.....	24
Ilustración 6 Secado en secador parabólico de CENICAFÉ.....	25
Ilustración 7 Factores y variables predominantes.	34
Ilustración 8 Diagrama de flujo para el proceso de diseño de.....	35
Ilustración 9 Ecuación general para calculo el estadístico d de Durbin-Watson. Tomado de (Gujarati, y otros).....	36
Ilustración 10 Estadístico d de Durbin-Watson.....	37
Ilustración 11 porcentaje de humedad en grano secado.....	42
Ilustración 12 Medición química de control de calidad de la fermentación del mucilago del café pH metro.	44
Ilustración 13 Horno Utilizado para pruebas de medición de porcentaje de humedad.....	46
Ilustración 14 Balanza analítica.....	46
Ilustración 15 Despulpadora de la Finca La Primavera.	49
Ilustración 16 Tanque de fermentación de la Finca La Primavera.	50
Ilustración 17 Tanque para lavado de la Finca La Primavera.	50
Ilustración 18 Silo-secador de CENICAFÉ utilizado en la Finca La Primavera.	51
Ilustración 19 Silo secador.	51
Ilustración 20 Gráfica comparativa de tiempos de fermentación y pH obtenidos durante el experimento y de CENICAFÉ.....	52
Ilustración 21 Valor del estadístico d de Durbin-Watson.....	54
Ilustración 22 Gráfico de tiempo de fermentación Vrs pH de la finca la primavera y CENICAFÉ, con línea de tendencia.....	55
Ilustración 23 Gráfica comparativa de tiempos de secado y porcentaje de humedad obtenidos durante el experimento y de CENICAFÉ.....	57
Ilustración 24 Valor del estadístico d de Durbin-Watson secado datos Finca la Primavera.....	59
Ilustración 25 Valor del estadístico d de Durbin-Watson secado CENICAFÉ.....	60
Ilustración 26 Tiempos de secado Vrs Porcentaje de humedad para los datos tomados en la finca La Primavera y los datos de CENICAFÉ.....	61

Tabla de tablas

Tabla 1 Variedades de café.....	16
Tabla 2 Características del café castillo.....	18
Tabla 3 Categorías y logotipos característicos de los cafés.	29
Tabla 4 Reglas de decisión para el estadístico de Durbin-Watson.....	37
Tabla 5 Tabla de resultados para la caracterización de la etapa de fermentación.....	40
Tabla 6 Tabla de resultados para la caracterización de la etapa de secado.	42
Tabla 7 Factores controlables y variables de respuesta.	43
Tabla 8 Equipo utilizado en la beneficiadora de la Finca la Primavera.	49
Tabla 9 Valores y valores promedio de la medición del pH a diferentes horas de fermentación natural por vía seca.	53
Tabla 10 Valores de pH a diferentes horas en fermentación natural por vía húmeda tomados de CENICAFÉ.....	53
Tabla 11 Valores de porcentaje de humedad a diferentes horas en secador de silos durante el experimento.....	58
Tabla 12 Valores de porcentaje de humedad a diferentes horas en secador de silos de CENICAFÉ.....	58

Bibliografía

Federación Nacional de Cafeteros. Café de Colombia. *Café de Colombia, Indicaciones geográficas para el café de Colombia*. [En línea]

http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/igpdo/indicaciones_geograficas_para_cafe_de_colombia-1/.

Alcaldía de Silvania - Cundinamarca. Alcaldía de Silvania - Cundinamarca. *Alcaldía de Silvania - Cundinamarca*. [En línea] <http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml>.

Alvarado, Gabriel Alvarado, Suárez, Huver Elías Posada y Guerrero, Hernando Alfonso Cortina. 2005. Federación Nacional de Cafeteros, Avances Tecnicos Cenicafé. *Cartilla 377, Castillo : Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. [En línea] julio de 2005. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/401/1/avt0337.pdf>.

Anacafé asociación nacional del café . Anacafé asociación nacional del café . *Anacafé asociación nacional del café* . [En línea] Anacafé asociación nacional del café . [Citado el: 18 de 11 de 2014.]

http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Mucilago.

Asociación Nacional del Café . Caficultura variedades de cafeto. [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]

https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_VariedadesCafeto.

—. Remoción del mucílago. [En línea] [Citado el: 3 de Mayo de 2014.]

https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Mucilago#Método_enzimático.

Carmona, Paula Andrea López. 2003. *Mejoramiento de rendimiento en el proceso de extracción de café de la empresa DECAFÉ S.A., Manizales : Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2003.*

CENICAFÉ . 2004 . Cartilla 19, Recolección de café . [En línea] 2004 . [Citado el: 3 de Mayo de 2014.]

http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_19_recoleccion_de_cafe.pdf.

—. La variedad castillo . [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]

http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/planta/la_variedad_castillo.

CENICAFÉ. 2004. Cartilla 20 beneficio del café 1:despulpado remoción del mucilago y lavado. [En línea] 2004.

http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_20_beneficio_del_cafe.pdf .

—. **2004.** Cartilla 21 beneficio del café 2:secado. [En línea] 2004. [Citado el: 4 de Mayo de 2014.] http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21_Secado_del_cafe.pdf.

Colombian Coffee. El café en Colombia . [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]

<http://www.gbcoffee.com/historia/historia.html>.

COOPSOL. Técnicas y sistemas de despulpado . [En línea] [Citado el: 3 de mayo de 2014.] <http://escoopsol.wordpress.com/seccion-1-en-la-finca/1-2-el-beneficio-humedo/1-2-2-tecnicas-y-sistemas-de-despulpado/>.

Duarte, Yenni Alexandra prieto. 2002. *Caracterización física del café semitostado*. Bogotá D.C : Fundación Universidad de América, 2002.

Duicela, Luis Alberto, y otros. 2010. *INFLUENCIA DE MÉTODOS DE BENEFICIO SOBRE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ ARÁBIGO*. Portoviejo : Consejo Cafetero Nacional , 2010.

eHow. Abonos . [En línea] [Citado el: 1 de Mayo de 2014.]
http://www.ehowenespanol.com/tipos-fertilizantes-quimicos-hechos_95522/.

Federación Nacional de Cafeteros. Un café sobresaliente. [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]
http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/un_cafe_sobre_saliente/.

Federación Nacional de Cafeteros . El arbol y el entorno . [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]
http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/.

Fernández, Josep Bujan. 2006. Análisis sensorial. *Análisis sensorial, cuadernos de la nueva cultura del vino*. Barcelona : Freixent, 2006.

Funcación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad . FUNDIBEQ. [En línea] [Citado el: 6 de Mayo de 2014.]
<http://www.fundibeq.org/opencms/opencms/PWF/home/index/index.html>.

Ganando MX. Café de alta calidad . [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]
http://www.ganando.mx/cafe/cafe_variedades.php.

greenwood. www.greenwood. [En línea]
http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.greenwood.wa.edu.au%2Fresources%2FChemistry%2520B%2520WestOne%2Fcontent%2Fcell_01_water_in_our_environment%2Fimages%2FAW10.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.greenwood.wa.edu.au%2Fresources%2FChemistry%2520B%2520WestOne%2Fcontent%2Fcell_01_water_in_our_environment%2Fimages%2FAW10.jpg

Gujarati, Damodar N. y Porter, Dawn C. *Econometría* . s.l. : Mc-GrawHill Education.

INFOJARDIN. Tipos de abonos . [En línea] [Citado el: 1 de Mayo de 2014.]
http://articulos.infojardin.com/articulos/Tipos_de_abonos.htm.

Jaramillo, Andrea Muños. 2007. *Diseño de una guía de señeción del sello para cafés sostenibles* . Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.

Niebel, Benjamin W. 2009. *Ingeniería industrial: Métodos estándares y diseño del trabajo* . s.l. : Mc graw hill , 2009.

Protocolos de pruebas analíticas. *Protocolos de pruebas analíticas*.

Pulido, Humberto Gutiérrez y Salazar, Román de la Vara. *Análisis y diseño de experimentos*. s.l. : McGraw-Hill Interamericana.

R, Clarke. 1985. *Coffe chemistry Vol 1*. Gran Bretaña : Gran Bretaña, 1985.

Rico, Belén. Estudio Cualittivo de la Hidrólisis. [En línea] [Citado el: 5 de Mayo de 2014.]
http://www.educa.madrid.org/web/jes.isidradeguzman.alcala/departamentos/fisica/temas/acido_bases/hidrolisis.html.

scielo. [En línea] [Citado el: 17 de Abril de 2014.]
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000200020.

Sigma-Aldrich. Sigma-Aldrich. *Sigma-Aldrich*. [En línea]
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z407275?lang=en®ion=CO>.

Suárez, María Nuncia Medina. Las Variables. *La investigación aplicada a proyectos volumen I.* Bogotá : Ediciones Ántropos.

ucpcorl . [En línea] [Citado el: 10 de Mayo de 2014.]

<http://www.ucpcorl.com/es/product/3/>.

Universidad de Murcia. *Practica técnicas analíticas en carne y productos cárnicos .*

Valencia, Fernando Farfán. capitulo 10,cafés especiales. *capitulo 10,cafés especiales.*

[En línea]

<http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo10.pdf>.

—. Capitulo 12, Las buenas practicas agrícolas en la caficultura. [En línea]

<http://www.cenicafe.org/es/documents/buenasPracticasCapitulo12.pdf>.