



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de Enero 2020

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva

Los suscritos:

Yudy Alejandra Cadena Flórez, con C.C. No. 1077859274,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE CAFÉ PERGAMINO HUMEDO, COMPARANDO LA EFICIENCIA ENTRE LAS MAQUINAS CENTRIFLUX Y LA ELECTROBOMBA SUMERGIBLE, EN LA CENTRAL DE SECADO DE LA COOPERATIVA COOCENTRAL EN EL MUNICIPIO DE GARZON – HUILA.

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de : INGENIERO AGRICOLA

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores" , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Yulpa Ormaza F.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA						
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Análisis del proceso de transporte de café pergamino húmedo, comparando la eficiencia entre las maquinas Centriflux y la electrobomba sumergible, en la central de secado de la cooperativa Coocentral en el municipio de Garzón - Huila.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CADENA FLOREZ	YUDY ALEJANDRA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MARTINEZ WALLEZ	JUAN CARLOS

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019 NÚMERO DE PÁGINAS: 76

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas__Fotografías X Grabaciones en discos____Ilustraciones en general__Grabados____
Láminas__Litografías__Mapas__Música impresa__Planos__Retratos__ Sin ilustraciones
Tablas o Cuadros X

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1 <u>Recurso hídrico</u>	<u>Water resource</u>
2. <u>Variables</u>	<u>Variables</u>
3 <u>Humedad superficial</u>	<u>Surface moisture.</u>
4 <u>Verticales cilíndricas</u>	<u>Cylindrical verticals</u>
5 <u>Multidireccional</u>	<u>Multidireccional</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La cooperativa Coocentral en su planta de secado del municipio de Garzón Huila, suspende el uso de electrobombas sumergibles usadas para el proceso de transporte de café pergamino húmedo a los equipos de secado principalmente debido a la alta demanda del recurso hídrico y adquiere la máquina centrífuga y transportadora Multidireccional de flujo continuo - Centriflux. El proyecto evaluó que sistema de transporte es más eficiente; para esto se analizaron variables de duración de transporte de café a los equipos de secado, volumen de líquido eliminado, humedad, conformación física del grano de café antes y después de ser transportado, y tiempos de secado del café en verticales cilíndricas, haciendo uso del equipo Centriflux como transportador. Una vez se obtuvieron los resultados se compararon con datos estadísticos de la ingeniera Lida Vanessa Torres, la cual realizó su proyecto de grado en la planta haciendo uso de las electrobombas sumergibles. Los resultados indicaron que el equipo Centriflux es más eficiente ya que transporta 182,9 kg de café pergamino húmedo por minuto y las electrobombas 81,3 kg/min, adicionalmente le ocasiona un 0,26 % de daño a la estructura del grano, lo que indica que la pérdida económica es despreciable; además, el equipo le extrae 1,20 % de humedad superficial al grano. En cuanto a la duración de secado se encontraron datos semejantes y menor duración usando el equipo Centriflux como



transportador, valores que se le atribuyen a que el equipo reduce la humedad al café en su proceso de centrifugación.

ABSTRACT: (MAXIMO 250 PALABRAS)

The Coocentral cooperative in its drying plant in the municipality of Garzón Huila, suspends the use of submersible electropumps used for the process of transporting wet parchment coffee to drying equipment mainly due to the high demand of the water resource and acquires the centrifuge and conveyor multidirectional continuous flow - Centriflux. The project assessed that the transport system is more efficient; for this we analyzed variables of transport duration of coffee to drying equipment, volume of liquid removed, moisture, physical shaping of the coffee bean before and after being transported, and coffee drying times in cylindrical verticals, making use of Centriflux equipment as a conveyor. Once the results were obtained they were compared with statistical data from engineer Lida Vanessa Torres, who carried out her degree project at the plant using submersible electropumps.

The results indicated that the Centriflux equipment is more efficient as it carries 182.9 kg of wet parchment coffee per minute and the electropumps 81.3 kg/min, additionally causing 0.26% damage to the grain structure, indicating that the economic loss is negligible; In addition, the equipment extracts 1.20% of surface moisture from the grain. Similar data and shorter duration were found in terms of drying time using centriflux equipment as a carrier, values that are attributed to the equipment reducing moisture to coffee in its centrifugation process.

APROBACION DEL PROYECTO DE GRADO

Nombre Jurado: CLAUDIA MILENA AMOROCHO

Firma:

Nombre Jurado: LEONARDO CAMERO

Firma:

lada mieducación

rá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

PASANTÍA SUPERVISADA

ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO,
COMPARANDO LA EFICIENCIA ENTRE LAS MÁQUINAS CENTRIFLUX Y LA
ELECTROBOMBA SUMERGIBLE, EN LA CENTRAL DE SECADO DE LA
COOPERATIVA COOCENTRAL EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA.

YUDY ALEJANDRA CADENA FLOREZ

Código: 20122114201

PASANTE

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
GARZON HUILA

2019

PASANTÍA SUPERVISADA

ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO,
COMPARANDO LA EFICIENCIA ENTRE LAS MÁQUINAS CENTRIFLUX Y LA
ELECTROBOMBA SUMERGIBLE, EN LA CENTRAL DE SECADO DE LA
COOPERATIVA COOCENTRAL EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA.

YUDY ALEJANDRA CADENA FLOREZ

PASANTE

ING. JUAN CARLOS MARTINEZ WALLEZ
SUPERVISOR DE PASANTÍA

FERNEY MACIAS
COORDINADOR PARQUE INDUSTRIAL
COOPERATIVA COOCENTRAL

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERIA AGRÍCOLA
GARZON, HUILA
2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

El informe final de pasantía titulado “ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO, COMPARANDO LA EFICIENCIA ENTRE LAS MAQUINAS CENTRIFLUX Y LA ELECTROBOMBA SUMERGIBLE EN LA CENTRAL DE SECADO DE LA COOPERATIVA COOCENTRAL EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA”Presentado por Yudy Alejandra Cadena Flórez, en cumplimiento de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrícola, fue aprobado en la fecha _____, por el jurado examinador con una calificación de _____.

Firma del director

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios, quien con sus bendiciones me permitió salir adelante en tan importante proyecto, a mi Madre Blanca Flórez Figueroa y a mi Padre Israel Cadena Quiroga, ya que siempre soñaron verme convertida en una gran profesional y que con su amor y apoyo hoy se está logrando.

A mi esposo Jeisson Garzón que me brindó el apoyo incondicional en todas sus formas para que este sueño se hiciera realidad.

A mis dos hijas María del Mar Garzón Cadena y Amy Garzón Cadena quienes son el motor de mi vida y mi motivo de inspiración. Y a mi familia en general.

A la cooperativa Coocentral, liderada por el ingeniero Mauricio Rivera quien me brindó la oportunidad y a mis compañeros de trabajo por la colaboración en las diferentes actividades.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primero que todo a DIOS, porque me ha dado la vida, la salud, los recursos y los ánimos para continuar con este proyecto tan importante para mí vida; seguidamente a mis padres, Blanca Flórez Figueroa e Israel cadena Quiroga, por su gran amor y motivación.

A mi esposo Jeisson Garzón, quien me apoyó incondicionalmente día a día en el transcurso de mi carrera, a mis hijas María del Mar Garzón Cadena y Amy Garzón Cadena ya que fueron mi motivo de inspiración, a mi familia en general, a mis compañeros de universidad quienes hicieron del proceso momentos inolvidables, convirtiéndose actualmente en verdaderos amigos, a mis docentes de universidad, quienes con sus enseñanzas académicas y morales lograron mi buen desempeño en la realización del presente proyecto y a mi coordinador de pasantía, el Ingeniero Juan Carlos Martínez Walles por su gran apoyo.

Agradezco a la cooperativa Coocentral encabezada por el gerente Mauricio Rivera, por brindarme la oportunidad de aprender en lo que más me gusta, al coordinador del parque industrial Ferney Macías, a Huber parra, quien día a día me ayudo en todas las actividades del proyecto, a John Deivy Suarez por su aporte en conocimiento y dedicación, y a cada uno de los compañeros de trabajo quienes me colaboraron para culminar satisfactoriamente este proyecto.

Tabla de contenido

NOTA DE ACEPTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
1. Introducción	1
2. Objetivos	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. Marco conceptual	5
3.1 Revisión de literatura	5
3.1.1 Eficiencia.....	5
3.1.2 Café	5
3.1.3 Estructura del grano de café.....	5
3.1.4 Beneficio de café.....	6
3.1.5 Café Pergamino Húmedo (C.P.H).....	7
3.1.6 Contenido de humedad de los granos.....	7
3.1.7. Relación entre el contenido de humedad y la materia seca.....	8
3.1.8 Métodos para determinar el contenido de humedad	9
3.1.9. Secado del café.....	10
3.1.10 Centrifugación.....	12



3.1.11 Transporte de café húmedo a los sistemas de secado.....	13
4. Antecedentes	17
4.1 Desarrollo de una centrifuga de operación continua.....	18
4.1.1 Principio de funcionamiento del equipo centriflux.	20
5. Metodología	22
5.1 Localización	22
5.2 Equipos y materiales	23
5.3 Área de estudio.....	24
5.3.1 Área de recibo.	24
5.3.2 Transporte de café a los sistemas de secado.	27
5.4 Secado del café.....	32
5.4.1 Duración de secado del café.....	34
5.4.2 Porcentaje de humedad.	34
5.5 Sistema de transporte tradicional o por electrobombas sumergibles en el parque industrial del café.....	37
5.5.1 Tiempo de Bombeo.	38
5.5.2 Consumo de agua mediante el transporte de café por electrobombas.	39
5.5.3 Tiempo de secado.....	39
6. Resultados	40
6.1 Área de recibo	40

6.1.1	Análisis en la estructura física del grano sin ser transportado.	40
6.1.2	Porcentaje de Humedad.....	42
6.2	Transporte de café a los sistemas de secado	47
6.2.1	Tiempo de transporte a los equipos de secado.	47
6.2.2	Volumen de líquido eliminado por la Máquina (Capacidad).....	50
6.2.3	Porcentaje de humedad.	51
6.2.4	Análisis a la estructura física de los granos después del transporte.	55
6.3	Secado del café (Secadoras verticales).....	56
6.3.1	Duración de secado y Porcentaje de humedad.	56
6.4	Sistema de transporte tradicional o por electrobombas sumergibles en el parque industrial del café	65
6.4.1	Tiempo de Bombeo.	65
6.4.2	Consumo de agua mediante el transporte por electrobombas.	66
6.4.3	Tiempo de secado de café usando las electrobombas como medio de transporte. .	66
7.	Análisis de resultados.....	69
8.	Conclusiones	72
9.	Recomendaciones.....	72
10.	Bibliografía.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del grano de café.	6
Figura 2. Componentes para el sistema de transporte del equipo Centriflux.....	14
Figura 3. Lanzamiento largo blanco elevado máquina centriflux	15
Figura 4. Lanzamiento largo blanco horizontal máquina Centriflux	15
Figura 5. Lanzamiento medio máquina Centriflux	16
Figura 6. Lanzamineto corto máquina centriflux.....	16
Figura 7. Escurridor centrifugo de agua y café Ghosh 1972.....	19
Figura 8. Diagrama de fuerzas de un grano de café sometido a centrifugación.	20
Figura 9. Planta de secado Cooperativa Coocentral Grazón-Huila.....	22
Figura 10. Granos pelados o sin pergamino.....	24
Figura 11. (a) Estufa de secado (b) recipiente hermetico.....	25
Figura 12. Describen la pérdida de peso de la muestra de café hasta hacerse constante. c) pesodel soporte metálico que equivale a 384,7 g. d) peso del soporte más los 30 g de muestra inicial.....	26
Figura 13. Sistema de transporte de café mojado a los equipos verticales de secado	28
Figura 14. Equipo Centriflux con sus respectivas dimensiones.....	29
Figura 15. Tornillo sin fin transportador de café a verticales 1 a la 6.....	30
Figura 16.Recolección de líquido expulsado por el equipo Centriflux.....	31
Figura 17. Recolección de muestra de café transportada.....	31
Figura 18. Peso de granos pelados después de ser transportada la muestra por el equipo Centriflux	32
Figura 19.Detector de humedad KAPPA	33

Figura 20. Formato de control de secado	36
Figura 21. (a) Tanque de recibo de café mojado antiguamente utilizado en la planta de secado. (b) Canal de correteo usado para el transporte de café mojado por el método de electrobombas. (c) Electrobombas sumergible. Separador de agua- café.....	38
Figura 22. Electrobombas para transporte de café a los sistemas de secado.....	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de humedad para detector KAPPA.	35
Tabla 2. Evaluación física del grano del café sin ser transportado	41
Tabla 3. Porcentajes de humedad en muestras de café cómo llega a la planta	42
Tabla 4. Porcentaje de humedad con análisis de disminución de peso. (Agencia Agrado).	43
Tabla 5. Resultados del proceso de extracción de humedad en la estufa de secado de las muestras sin transportar, relacionando la duración y el peso.....	46
Tabla 6. Duración de transporte del café a los equipos de secado V1 y V2.	48
Tabla 7. Duración de transporte del café a los verticales 3-4-5-6.....	49
Tabla 8. Volumen de líquido extraído por el equipo centrifluj	50
Tabla 9. Porcentaje de humedad en muestras de café transportado por el equipo Centrifluj.	51
Tabla 10. Porcentaje de humedad con análisis en la variación de peso en una muestra (Agencia Agrado)	52
Tabla 11. Resultados del proceso de extracción de humedad en la estufa de secado de las muestras transportadas, relacionando la duración y el peso	53
Tabla 12. Contenido de humedad que extrae el equipo Centrifluj a las muestras de café.	54
Tabla 13. Evaluación física del grano de café después de ser transportado.....	55

Tabla 14. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical (V1) con capacidad total del equipo.....	56
Tabla 15. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical uno (V1) con capacidad parcial del equipo.....	57
Tabla 16. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical dos (V2) con capacidad total	58
Tabla 17. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical dos (V2) con capacidad parcial.....	59
Tabla 18. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical tres (V3) con capacidad total	60
Tabla 19. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical tres (V3) con capacidad parcial.....	60
Tabla 20. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cuatro (V4) con capacidad total.	61
Tabla 21. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cuatro (V4) con capacidad parcial.....	62
Tabla 22. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cinco (V5) con capacidad total.	62
Tabla 23. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cinco (V5) con capacidad parcial.....	63
Tabla 24. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical seis (V6) con capacidad total.	63

Tabla 25. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical seis (V6) con capacidad parcial.....	64
<i>Tabla 26. Duración de secado en verticales con capacidad total y parcial.....</i>	<i>65</i>
Tabla 27. Tiempo de carga de café mojado a los secadores verticales.....	65
Tabla 28. Consumo de agua en el proceso de transporte de café a los secadores verticales mediante electrobombas sumergibles	66
Tabla 29. Tiempo de secado en verticales con capacidad total.....	66
Tabla 30. Tiempo de secado en verticales con capacidad parcial.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1. Humedad del café. Perdida de peso del café en contra el tiempo.....	44
Grafica 2. Reduccion de peso del café contra el tiempo y Curva de perdida de humedad contra el tiempo.....	45

LISTA DE ECUACIONES

Ecuacion 1. Contenido de humedad.....	8
Ecuación 2. Contenido de humedad en base seca	8

1. Introducción

El café producido en Colombia, se caracteriza por ser un producto de excelente calidad, reconocido por ser el mejor a nivel mundial. Suave, taza limpia, aroma y cuerpo, son los principales atributos que lo caracterizan. Factores como la genética (variedad), condiciones ambientales, labores culturales y el proceso de beneficio son claves para el éxito de la producción.

El beneficio de café son las diferentes actividades que se realizan para transformar la café cereza en café pergamino seco; en Colombia tradicionalmente se realizan por vía húmeda ya que se obtienen cafés suaves y de mejor calidad que por el sistema de beneficio seco, pero requiere un alto volumen de agua. El proceso de beneficio incluye el despulpado, la fermentación, el lavado y termina cuando se logra bajar la humedad hasta el punto comercial (10-12%) que es el secado del grano. Patiño, Pencue y Vargas (2016) afirman: “un adecuado beneficio es fundamental para asegurar la calidad del grano, ya que el 80% de los problemas se originan en este proceso” (p.85).

Una de las principales actividades en el beneficio de café húmedo es el proceso de secado, el cual será en el presente proyecto un tema de gran interés.

En el proceso de secado del grano, el tiempo es proporcional al porcentaje de humedad con el cual el grano entra a la cámara de secado o presecado, por tal motivo es lógico afirmar que un escurridor más eficiente, tendrá como consecuencia directa una disminución en el tiempo de secado y con ello una disminución notable de los costos originados en el proceso. (Ramírez, Álvarez y Correa, 1998, p.67)

Por tal motivo, al disminuir el tiempo de secado utilizando un equipo centrífugo se reducen las probabilidades de afectación en la taza, debido a que el café eliminara de manera más rápida la humedad, que es principalmente la que más defectos produce en este.

Ghosh (como se citó en Ramírez et al, 1998) afirma que se puede usar una máquina centrífuga para remover el exceso de agua de lavado adherida a la superficie de los granos.

La Cooperativa Central de Caficultores - Coocentral, es una empresa asociativa sin ánimo de lucro y de interés social, reúne a cerca de 4.000 asociados en la zona de influencia que comprende 7 municipios cafeteros del centro del Huila, Garzón, Gigante, Agrado, El Pital, Tarqui, Suaza y Guadalupe. Está comprometida con el medio ambiente y la sociedad, por ende, se preocupa por ser económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente responsable. A partir del año 2013, inició una etapa de modernización e incursión en nuevos proyectos, visionando una cooperativa grande y futurista. Muestra de ello es la construcción de la moderna planta de secado para el servicio de sus asociados y demás donde tendrán la posibilidad de secar mil toneladas mensuales de café de alta calidad. (COOCENTRAL, s.f.)

Lo anterior, favoreciendo el desarrollo y la economía del departamento y el país, ya que como lo afirma La Nación (2012) “es la planta de secado más grande del país con tecnología de punta”.

La cooperativa en su parque industrial de café, dentro del área de secado, utilizaba electrobombas sumergibles para el proceso de transporte de café pergamino húmedo a los equipos de secado, usando el agua como medio transportador, y una vez el café era depositado en las secadoras, se daba inicio al proceso de secado del café.

Las dificultades de operación, captación del recurso hídrico en tiempos de sequía, los problemas de taza, y el tiempo de secado del café, con el sistema de transporte por electrobombas, logran que la cooperativa descontinúe este método, incorporando nuevas tecnologías, contribuyendo con el uso eficiente del agua.

Torres, (2012) afirma “que se necesitan 4,31 lt de agua por kg de café en el transporte a los sistemas de secado” (p. 48). Por tal motivo, la Cooperativa Coocentral en busca de la optimización de los procesos y tendiente a realizar un análisis técnico sobre el impacto en la eficiencia del proceso de secado, ha adquirido la maquina centrifuga y transportadora Multidireccional de flujo continuo - Centriflux marca cafés de origen do Brasil Ltda., para la realización del proceso de transporte de café pergamino húmedo a los sistemas de secado.

El presente proyecto pretende evaluar qué sistema de transporte es más eficiente; para esto, se realizará toma de datos de variables como contenido de humedad inicial del café y después de ser transportado, análisis a la estructura fisca de los granos sin transportar y transportados, duración de transporte del café a los equipos de secado, duración de secado , relacionadas con el proceso actual en la planta y se compararan con los datos estadísticos de la tesis “Determinación de tiempos y variables que inciden en el proceso de secado del café en el parque industrial del café Coocentral” realizada en el año 2012 por la ingeniera Lida Vanessa Torres Pérez, quién describe el proceso de secado de café utilizando las electrobombas para el transporte de café mojado. Estos datos aportarán información para realizar comparaciones en el proceso de secado usando los dos sistemas de transporte que permitirán concluir cual equipo es más eficiente.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar el proceso de transporte de café pergamino húmedo en la central de secado de la Cooperativa Coocentral, comparando la eficiencia entre la máquina Centrifuga y transportadora Multidireccional de flujo continuo - Centriflux y la electrobomba sumergible en el municipio de Garzón - Huila.

2.2 Objetivos específicos

- Tomar variables de tiempo, porcentajes de humedad, volumen de líquido eliminado por el equipo centriflux y conformación física del grano, antes y después de ser transportado el café por el equipo Centriflux.
- Realizar un seguimiento detallado del proceso de secado actual en cada secadora vertical cilíndrica, teniendo en cuenta el volumen de café, la duración de secado y los porcentajes de humedad.
- Comparar datos estadísticos de la tesis de la ingeniera Lida Vanessa Torres Pérez haciendo uso de la electrobomba sumergible como medio de transporte de café mojado, con datos obtenidos en la ejecución del proyecto implementando la máquina centrifuga – Centriflux.

3. Marco conceptual

3.1 Revisión de literatura

3.1.1 Eficiencia

La eficiencia operativa de una máquina, área o sección se define como el valor del margen de contribución bruto de esa unidad por unidad de tiempo. Este margen no es más que la diferencia entre el valor de las unidades producidas y los costos directos de materiales y mano de obra empleados. (Franco y Velásquez, 2000).

3.1.2 Café

El cafeto es un arbusto tropical de hojas verdes perteneciente a la familia Rubiáceas y género Coffea que crece en zonas de moderada humedad a 600 a 1.200 metros de altura. Comprende muchas especies, sin embargo, sólo se cultivan Arábica y Robusta, las cuales a su vez presentan distintas variedades. (Gotteland, 2007)

Revista Scielo (2005) afirma “El café colombiano también conocido como Arábica Lavado, es el arábica de más alta calidad” p. 359. Colombia lo confirma produciendo cafés suaves tipo exportación con variedades como Caturra, variedad Colombia, Típica, Borbón, Maragogipe y Tabi.

3.1.3 Estructura del grano de café

El fruto maduro de café o café cereza está formado de afuera hacia dentro por las siguientes partes: La pulpa o epicarpio: cubierta roja o amarilla; el mucilago; el pergamino: envoltura cartilaginosa que cubre por separado cada semilla y que constituye el endocarpio; la película o piel plateada que cubre la almendra; la almendra y el embrión. (Ospina, 2001, p.26)

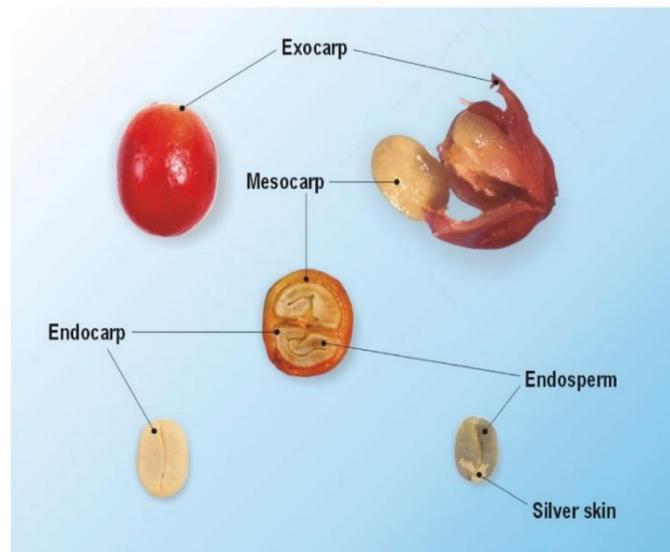


Figura 1. Estructura del grano de café.

Fuente: Cafés de Colombia, s.f.

3.1.4 Beneficio de café

La transformación de café cereza en café pergamino se denomina beneficio del café. Existen principalmente dos métodos: beneficio vía húmeda y vía seca. En Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, El Salvador y algunos países del Centro de África como Kenia se beneficia tradicionalmente por vía húmeda. (Puerta, 1999, p. 79). Cuando el beneficio se realiza por vía húmeda, se obtiene mayor calidad de café con relación a la taza.

Las etapas del beneficio por vía húmeda son: recolección del café, despulpado, remoción del mucilago por el método natural de fermentación o mecánico mediante el desmucilagador, lavado y secado.

3.1.5 Café Pergamino Húmedo (C.P.H).

Una vez el café es recolectado, despulpado, desmucilaginado y lavado, se convierte en café pergamino húmedo. Por tal motivo, “es el producto resultante del proceso de lavado en el beneficio húmedo del café”. (Peñuela, 2011).

3.1.6 Contenido de humedad de los granos

Según Martínez (2012) afirma: “el contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el material respecto a su masa total o respecto a su masa seca” (p.5). A esta se le llama contenido de humedad en base húmeda y en relación a la materia seca, se le denomina contenido de humedad en base seca; esta última usada para graficar curvas de humedad en trabajos científicos.

El agua contenida en los granos se presenta en diferentes formas:

3.1.6.1 Agua absorbida o libre

Es el agua que se encuentra en los espacios entre grano y grano, como superficial, o dentro de los poros del material, sostenida por fuerzas capilares. Este tipo de agua posee las mismas propiedades que el agua libre (Ospina, 2001, p. 33). Puede ser removida con un aumento de la temperatura.

3.1.6.2 Agua adsorbida

Es el agua sostenida por atracción molecular, en este caso hay interacción entre las moléculas de agua y aquellas que componen el grano (Ospina, 2001, p.34).

3.1.6.3 Agua de constitución

Agua combinada químicamente con la materia seca y sostenida por fuertes uniones químicas. Esta agua es de difícil remoción, pero ocasionalmente puede ser removida en condiciones controladas mediante algunos métodos de determinación de humedad (Ospina, 2001, p.34).

3.1.7. Relación entre el contenido de humedad y la materia seca

El contenido de humedad, entendido como la relación entre el peso de la cantidad de agua y el peso total del grano, se expresa como el contenido de humedad en base húmeda, que es el término usual en todas las etapas de la comercialización. (Ospina, 2001, p.34)

Ecuación 1. Contenido de humedad en base húmeda (CH bh)

$$CH\ bh\ (\%) = \frac{W_a}{W_a + W_{ms}} * 100$$

Fuente: Ospina, 2001

Dónde:

CH_{bh} : Contenido de humedad en base húmeda (%)

W_a : Peso del agua (g)

W_{ms} : Peso de la materia seca (g)

El contenido de humedad en base seca (CH_{bs}) se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Contenido de Humedad en base seca (CH bs)

$$CH\ bs\ (\%) = \frac{W_a}{W_{ms}} * 100$$

Fuente: Ospina, 2001

Donde:

CH_{bs} : Contenido de humedad en base seca (%)

W_a : Peso del agua (g)

W_{ms} : Peso de la materia seca (g)

3.1.8 Métodos para determinar el contenido de humedad

Se clasifican básicamente en dos grupos: directos e indirectos.

3.1.8.1 Métodos directos

Ospina, (2001) dice que son aquellos que miden directamente el contenido del agua del producto, por diferencia de peso, por reacción química o por absorbanza de luz, entre los que se destacan:

Por destilación: Brow y Duvel, utilizando aceite o Tolueno.

Químicos: Karl Fischer o estequiométrico.

Absorción de rayos infrarrojos

Absorción nuclear

Estufa: Austin et al., 2013 (como se citó en Tirado, Montero y Acevedo, 2014) afirma que el método más común para determinar el contenido de humedad es analíticamente a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en mufla o estufa, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno.

En este método el aire es calentado eléctricamente a presión atmosférica y se hace circular, ya sea por convección natural o por medios mecánicos. En Colombia es establecido como norma por el instituto colombiano de normas técnicas, ICONTEC, para determinar el contenido de humedad en granos y semillas. En general se usan temperaturas de 130 °C para granos que no contengan cantidades excesivas de sustancias volátiles y de 100 °C a 105 °C para granos que presentan una alta descomposición de la materia seca a temperaturas elevadas. La humedad se determina por diferencia de pesos entre la muestra inicial y final. (Ospina, 2001, p.35)

3.1.8.2 Métodos indirectos

García, Dussan y Gutiérrez (2012) afirman que mediante los métodos indirectos “la humedad del producto se calcula con base en otras propiedades como las eléctricas. Son métodos prácticos y rápidos, pero están sujetos a errores resultantes de la variación de las propiedades físicas del producto (temperatura o humedad)”.

3.1.9. Secado del café.

Es el método universal de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire ambiente, de tal forma que preserve su aspecto, sus características de alimentos, su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla. (Márquez, 1993).

Lo anterior significa, que, si los granos de café no pasan por el proceso de secado, no se conservará su calidad y la prolongación de vida en el almacenamiento será nula debido al ataque por hongos.

Álvarez (como se citó en López, 2006) considera que una de las operaciones más importantes es el secado, el cual consiste en eliminar parte del agua del grano, desde 55% b.h de contenido de humedad inicial hasta un 10 a 12% b.h de contenido de humedad final.

Sin embargo, Molina, (2017) afirma: “el proceso de secado es cuando el contenido de humedad en los granos de café se reduce a 10% - 12% de 45% - 50 %”. Los porcentajes de humedad del café antes de entrar a la cámara de secado dependen del tiempo de escurrido, por tal motivo varían.

3.1.9.1 Métodos de secado del café.

En Colombia se practican dos tipos de secado; el primero es el secado donde se utiliza la energía del sol (natural) y es el más utilizado en el país; y segundo, el secado mecánico o por convección forzada el cual puede ser realizado en fincas o en centrales de beneficio. El método de secado se define dependiendo de qué tanta producción se desee procesar.

3.1.9.1.1 Secado natural o solar.

Los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar son muy complejos y son numerosas las variables que influyen en el proceso: la radiación solar, la temperatura, la humedad, la velocidad del aire, el contenido de humedad del grano que va disminuyendo (puede aumentar en la noche), el tipo de piso sobre el cuál descansa el grano, el espesor de la capa, el procedimiento y la periodicidad utilizada para revolver los granos. Roa y Alvarez (s/f), p.155)

Debido a esta serie de inconvenientes, los productores en muchas ocasiones se ven obligados a comercializar el café una vez ha sido lavado (verde), repercutiendo en la disminución del precio.

3.1.9.1.2 Secado artificial o mecánico.

Parra (como se citó en Parra, Roa y Oliveros, 2008) dice que en los sistemas de secado mecánico de café se logra reducir el contenido de humedad del grano desde 52-56% bh, hasta el 10-12% bh, en un periodo de tiempo relativamente corto (18 a 45 h, dependiendo del tipo de

secador y de las condiciones de operación del sistema), reduciendo así el riesgo de deterioro ocasionado por el ataque de hongos y de microorganismos.

“Este método es recomendable para fincas con producciones anuales superiores a 12,5 toneladas de café pergamino seco anuales (1000 arrobas)” Roa et al. (2000). Lo anterior indica que en fincas con producciones menores a 12,5 toneladas el sistema de secado aconsejado es por medio natural, debido a los altos costos que produciría secar bajos volúmenes de café mediante el sistema mecánico.

“Existen diferentes equipos, pero el principio de secado para todos consiste en el de introducir aire caliente a una temperatura máxima 45° o 50° centígrados, impulsado por un ventilador para que pueda llegar a toda la masa de café” (Coffe IQ, 2017).

3.1.10 Centrifugación

Baumeister et al 1992, Charm (como se citó en Ramírez, Alvarez y Correa, 1998) dice que cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, se generan dos fuerzas de igual magnitud, pero de sentido contrario; una de ellas trata de desviar el cuerpo hacia el centro del eje de giro denominada “Fuerza Centrípeta”, y la segunda fuerza trata de alejarlo del eje denominada “fuerza centrífuga”.

Tendiendo en cuenta que el proceso de centrifugación elimina líquido al material, es conveniente resaltar la importancia en la implementación de equipos como estos que generen rendimientos en las operaciones del proceso de secado, pues según según Ghosh (como se cito en en Ramírez, et al., 1998) la centrifugación reduce la humedad del café a un estado entre drenado (54-56 %) y seco superficial (44 %).

3.1.11 Transporte de café húmedo a los sistemas de secado

Existe muy poca información acerca de los equipos utilizados para el transporte de café pergamino mojado a los equipos de secado una vez este ha sido lavado. Dentro de estos, se encuentran las electrobombas sumergibles, máquina centrífuga y transportadora – Centriflux, elevador de cangilones, sistema turbo y transportador neumático. La mayoría de estos sistemas transportan el café con saturación de agua. Esto lleva a utilizar tornillos separadores de agua; los cuales aumentan el número de operaciones en planta y elevan los costos energéticos.

3.1.11.1 Electrobomba sumergible.

Se utiliza para el transporte de café a los sistemas de secado, utilizando como medio de conducción el agua.

La principal característica de las bombas sumergibles es que todos sus elementos y motor se encuentran bajo el agua en una misma estructura. Estas no llegan a depender jamás de la presión del aire que las rodea, pudiendo impulsar los líquidos en pozos profundos por más de 100 metros en forma ascendente. (Bombas de agua sumergibles: mantenimiento y cuidados preventivos, 2018).

3.1.11.2. Equipo Centriflux.

El equipo centriflux, el cual tiene como nombre técnico: Centrífuga y transportadora multidireccional de flujo continuo es una maquina dos en uno, usada para centrifugar y transportar de forma continua todos los tipos de cafés, versátil, de fácil instalación y altos rendimientos. Fue finalista en el año 2014 en la categoría como proyecto a la innovación tecnológica. (Origem Do Brasil, s.f.).



*Figura 2. Componentes para el sistema de transporte del equipo Centriflux
Fuente: Origem do Brasil, 2016*

Seagro, (2016) informa que los límites de lanzamiento del equipo centriflux son:

Con la polea 100 se lanza hasta 4 – 5 metros verticales.

Con la polea 110 se logra lanzar muy bien 7 metros en la vertical.

Tiene tres tipos de lanzamientos que son:

- **Lanzamiento largo:**

“Para los lanzamientos más distantes, sea en la vertical u horizontal, se usan las mayores poleas (100-110 mm) y el uso del prolongador, cuya finalidad es reducir la dispersión del producto dentro del tubo de PVC” (Manual de instrucciones centriflux, (s.f), p.13).

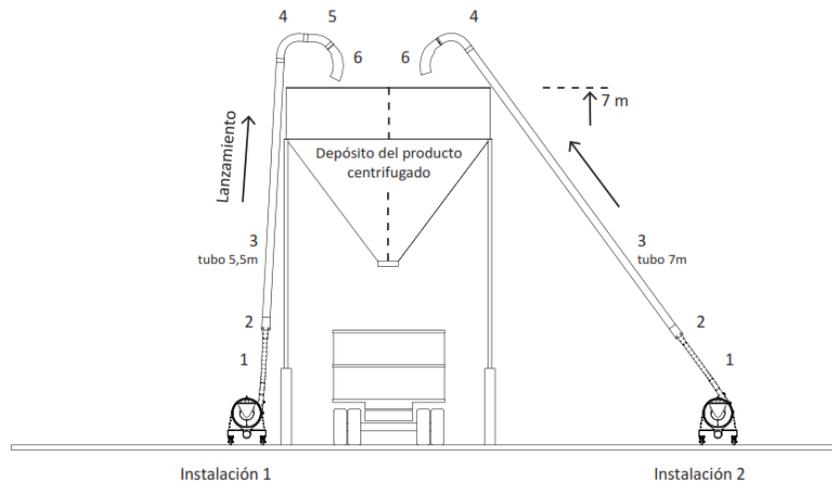


Figura 3. Lanzamiento largo blanco elevado máquina Centriflux

Fuente: Origem do Brasil, 2016

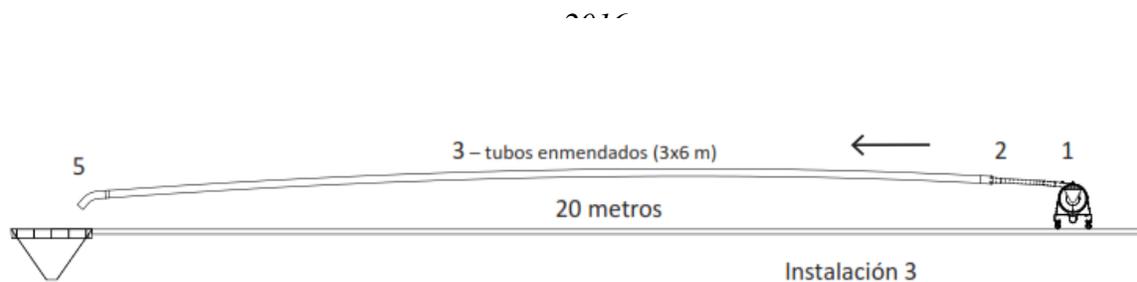


Figura 4. Lanzamiento largo blanco horizontal máquina Centriflux

Fuente: Origem do Brasil, 2016

- Lanzamiento medio:

“Normalmente la polea es de 100 mm, pudiendo ser disminuida para 80 mm, o aumentada para 110 mm, según el vigor de lanzamiento deseado. En esas condiciones el tubo prolongador podrá ser dispensado” (Manual de instrucciones centriflux, (s.f), p.14).

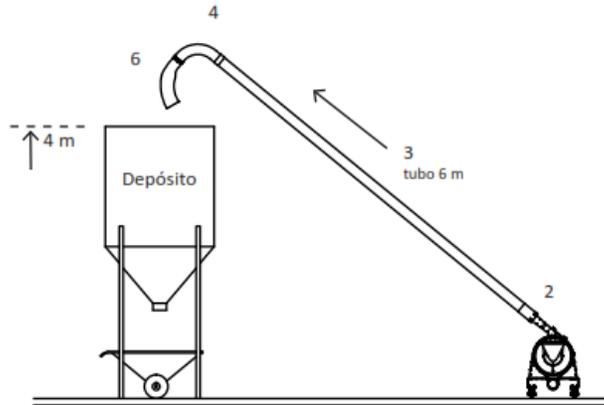


Figura 5. Lanzamiento medio máquina Centriflux

Fuente: Origem do Brasil, 2016

- **Lanzamiento Corto:**

“Se utiliza como punto de partida la polea motriz de 80 mm, y no se ajusta el tubo prolongador” (Manual de instrucciones centriflux, (s.f), p.15).

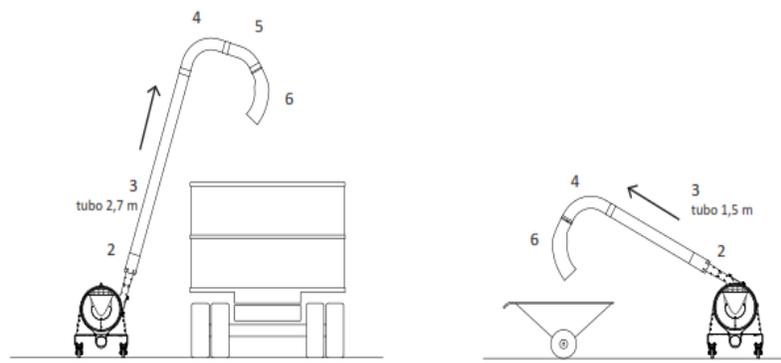


Figura 6. Lanzamiento Corto máquina Centriflux

Fuente: Origem do Brasil, 2016

4. Antecedentes

La construcción de centrales de beneficio de café se construyen con el fin de facilitar las labores a los productores colombianos de café, principalmente a estos que obtienen grandes extensiones de café sembrado.

Según López y Jaramillo, (1973) afirman: “Aunque desde 1938 fue recomendada la implantación de ese sistema en Colombia como consecuencia del éxito alcanzado con su empleo en costa rica, su aplicación solo ha sido posible en los últimos años”. (p.2). Esto es debido a que la producción de café en Colombia ha ido aumentando con los años por los satisfactorios resultados en cuanto a la calidad y reconocimiento que se le ha dado a nivel mundial.

En las centrales de beneficio se realiza la actividad de secado de café, el cual es un proceso que requiere de cuidados especiales para obtener óptimos resultados. Roa et al., 1999 (como se citó en Parra, Roa y Oliveros, 2008) dice que es importante incentivar al caficultor para que utilice técnicas de secado más eficientes, como es el caso del secado mecánico o artificial - convección forzada de aire -, con los cuales se puede obtener ventajas como la reducción de la mano de obra, disminución del tiempo de secado y conservación de la calidad, de tal manera que permita obtener con menos riesgo «café tipo exportación» que cumpla con los requisitos de calidad exigidos por el mercado internacional. Por tal motivo las centrales de beneficio son buena una alternativa para los productores.

El uso del agua para los diferentes procesos agrícolas e industriales se ha ido modificando día a día en pro a la conservación de los recursos naturales; pues anteriormente, el uso del agua era de forma descontrolada; motivo por el cual hoy en día los pequeños - grandes productores y las industrias han incluido en los diferentes procesos de beneficio de café húmedo, equipos

tecnológicos que han respondido positivamente al uso eficiente de los recursos y mejora en los procesos.

En Brasil y Uruguay actualmente se está implementando el sistema de transporte mediante el equipo Centriflux, el cual fue lanzado al mercado desde el año 2010 y ha ingresado a Colombia con el fin de mejorar el proceso de beneficio de café. Sin embargo, el transporte de café pergamino húmedo en Colombia, es realizado por sistemas como el elevador de cangilones, el cual lleva el café a las secadoras de manera vertical, siendo este sistema uno de los más comunes y económicos, otro método utilizado por los caficultores colombianos es mediante el sistema turbo y transportador neumático.

En el beneficiadero de CENICAFE, el transporte vertical de café mojado desde el canalón es llevado al tercer piso del beneficiadero (14 metros de altura) por medio de una motobomba centrífuga para grano, la cual es accionada por un motor de 1.1 H.P. a mil RPM, y su capacidad es de aproximadamente 321,76 l/m, la cual puede transportar en una hora el producto húmedo equivalente a unos 3000 kg de café seco, método de gran eficiencia. (López y Jaramillo, 1973).

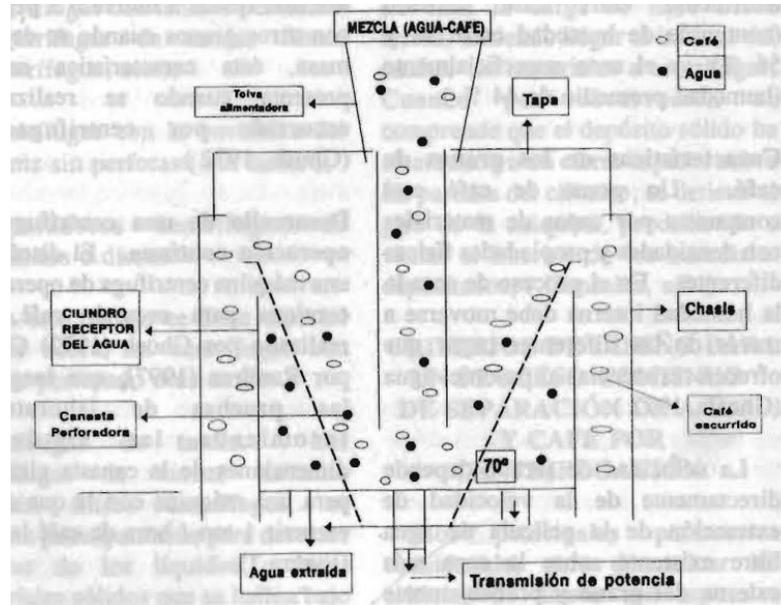
4.1 Desarrollo de una centrifuga de operación continua

Ghosh (como se cito en Ramírez, et al., 1998) dice que el diseño de una máquina centrífuga de operación continua para escurrir café, fue realizado por Ghosh con las siguientes dimensiones y especificaciones:

Canasta giratoria para escurrir 1 ton/hora de café lavado:

- **Altura:** 42 cm
- **Diametro inferior:** 30 cm
- **Diametro superior:** 60 cm

- Angulo del cono con la horizontal : 70°
- R.P.M: 2500 r.p.m.
- Motor Electrico: 3.6 Hp



- *Figura 7. Escurridor centrífugo de agua y café Ghosh, 1972*

Fuente: (Ramírez, Álvarez y Correa, 1998)

4.1.1 Principio de funcionamiento del equipo centrifluj.

Según Ramírez, et al., 1998(como se citó en Alvarez & Correa, n.d.) Para comprender el principio de funcionamiento del escurridor es necesario analizar un grano de café como una partícula única en el proceso; representando gráficamente todas las fuerzas que actúan sobre ellas.

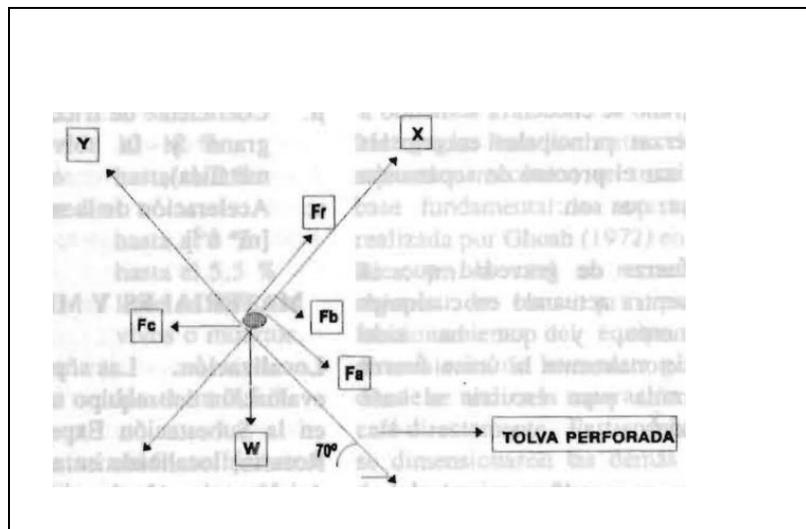


Figura 8. Diagrama de fuerzas de un grano de café sometido a centrifugación.

Fuente: (Álvarez & Correa, n.d.)

Donde,

F_c = Fuerza centrífuga (N)

W = Peso del grano (N)

F_a = Fuerza de fricción entre el grano y la tolva

F_r = Fuerza normal ejercida por la pared sobre el grano (N)

F_b = Fuerza de fricción entre los granos (N).

Ghosh 1972 (como se citó en Alvarez y Correa, n.d.) El grano se encuentra sometido a dos fuerzas principales encargadas de realizar el proceso de separación del agua; que son: La fuerza de **gravedad** que se encuentra actuando en cualquier momento, y que ha sido tradicionalmente la única fuerza utilizada para escurrir el café lavado y la fuerza **centrífuga** que puede ser controlada ya que depende directamente de la velocidad de rotación de la máquina.

Partiendo de la investigación y creación de la máquina centrífuga se realizó un estudio titulado – la centrifugación como sistema separador de agua y café en un proceso continuo. Ramírez, et al., 1998 (como se citó en Alvarez y Correa, n.d.) donde diseñan la separadora de agua – café bajo los parámetros de Ghosh, y mediante ensayos se obtienen resultados de humedad al momento de concluir el proceso de separación entre 56,5 – 58,5 %; datos que no coinciden con los niveles esperados teóricamente que son entre 45-50%.

Los tratamientos de centrifugación en este estudio evaluaron la capacidad, humedad final y consumo de potencia, variando la velocidad de giro para dos tratamientos (950 y 1380 rpm); donde se concluyó, que a una velocidad de rotación de 950 r.p.m. se logra la mayor capacidad (4.5 ton/h), y los menores consumos de potencia y humedad.

5. Metodología

Para la realización del proyecto, se utilizaron muestras de café pergamino mojado que son enviadas desde los catorce puntos de compra que tiene la Cooperativa Coocentral actualmente.

5.1 Localización

El proyecto se realizó en las instalaciones del parque industrial del café de la cooperativa Coocentral kilómetro 2 - Sector Huacanas del municipio de Garzón – Huila en el área de la planta de secado Fig.9, la cual tiene capacidad para secar 126 Ton con 12 equipos de última tecnología, lo que la hace ser la planta más grande y moderna del país. Se encuentra ubicada a una altura de 800 m.s.n.m, con temperatura promedio de 26 °C y precipitación media anual: 1104 mm.



Figura 9. Planta de secado cooperativa Coocentral. Garzón – Huila.

Fuente: JM ESTRADA

5.2 Equipos y materiales

- Sonda para muestreo
- Equipo Centriflux
- Secadoras verticales cilíndricas
- Detector de humedad
- Estufa de secado
- Recipiente hermético en vidrio
- Gramera
- Recipientes plásticos
- Baldes plásticos cubicados
- Cronometro
- Planilla de apuntes
- Tabla de apuntes
- Tesis ingeniera Lida Vanessa Torres Pérez

5.3 Área de estudio

El proceso se desarrolló en el área de secado, y se llevó a cabo en tres etapas nombradas a continuación:

5.3.1 Área de recibo.

Se analizó la estructura física de los granos con un total de 21 muestras y se tomaran muestras para conocer el porcentaje de humedad del grano al llegar a la planta.

5.3.1.1 Análisis a la estructura física del grano.

Los vehículos descargan las tulas de café y se realiza el muestreo por medio de la sonda. Se toman muestras de 250 gr y se escogen los granos pelados Fig. 10, es decir con daños en el pergamino para ser pesados y tabulados con el fin de conocer el estado de los granos antes de pasar por el equipo transportador y los sistemas de secado; esto con el objetivo de determinar las condiciones iniciales de los granos y concluir si hay afectaciones por el uso del equipo centrifluj, o si los daños mecánicos son ocasionados en otros procesos del beneficio.



Figura 10. Granos pelados o sin pergamino.

5.3.1.2 Porcentaje de humedad.

Se toman muestras y se llevan a la estufa de secado Fig. 11 (a) ubicada en la universidad Surcolombiana la cual está regulada a una temperatura de 105°C. Se pesan 30 gr en la Gramera marca LEXUS sobre el recipiente metálico el cual tiene un peso de 384,7 gr y se introduce al horno; cada 15 minutos se retira la muestra y se introduce en un recipiente de vidrio hermético (b) con el fin de que la muestra no absorba humedad del ambiente; se deja enfriar la muestra por 15 minutos, se pesa y se registra el dato. El proceso se realiza hasta que el peso sea constante. Los datos de temperatura se registran minuto a hasta culminar el proceso. La Fig. 12 describe el proceso.

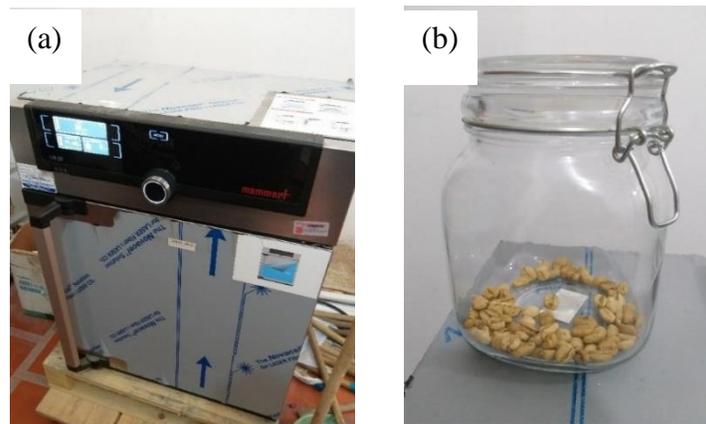


Figura 11. (a) Estufa de secado. (b) Recipiente hermético para depositar las muestras.

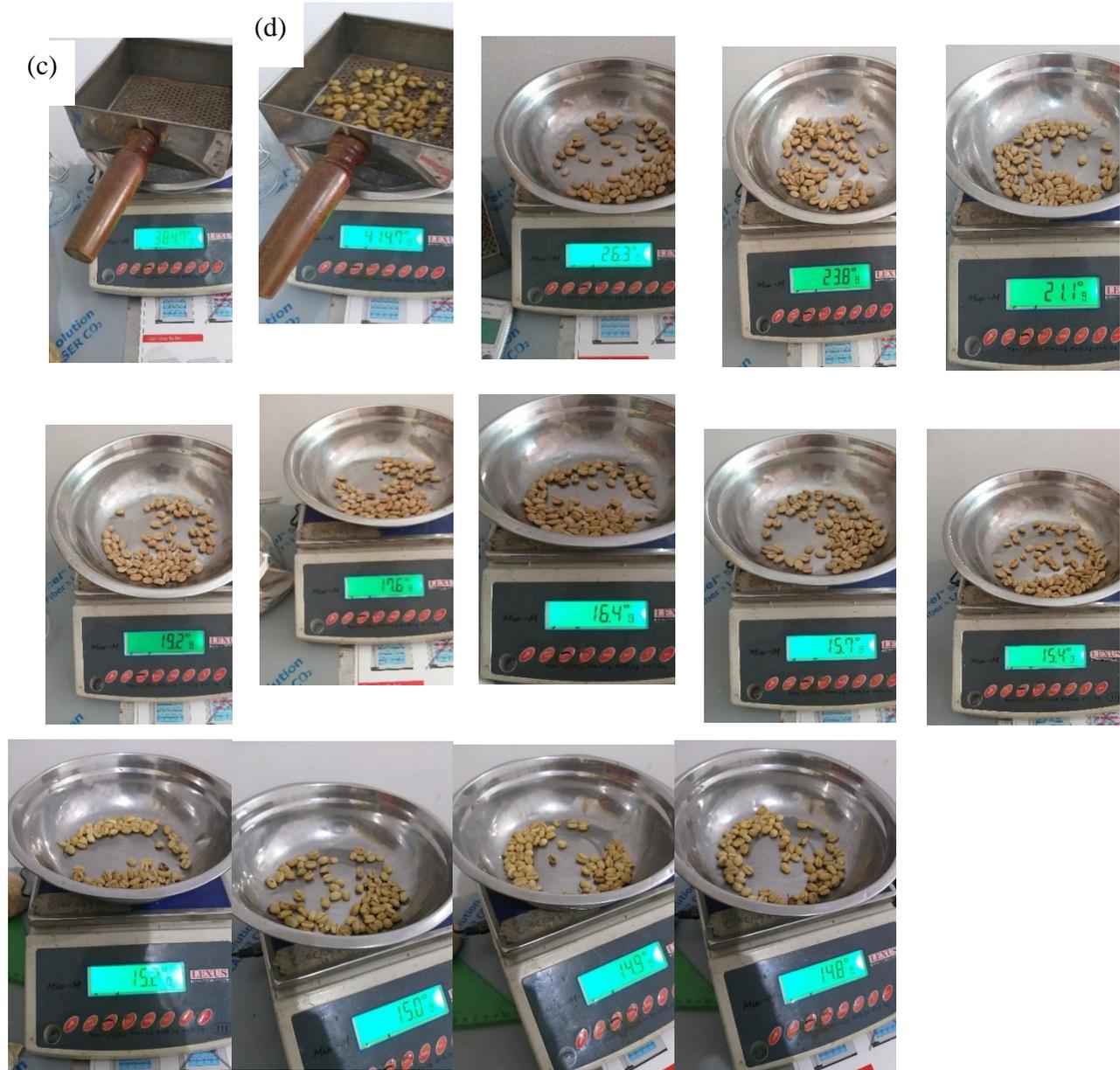


Figura 12. Describen la pérdida de peso de la muestra de café hasta hacerse constante. (c) peso del soporte metálico que equivale a 384,7. (d) peso del soporte más los 30 g de muestra inicial.

5.3.2 Transporte de café a los sistemas de secado.

El café es ingresado al equipo centriflux y expulsado a gran velocidad mediante tubería de 6” con longitud de 14 metros, medidos desde el acople de la tubería, hasta la tolva que recibe el café transportado. El equipo, se encuentra a 7,43 m de altura con la tolva de descargue del café húmedo medidos verticalmente; por tal motivo es un lanzamiento largo blanco elevado. La Fig. 13 muestra el sistema de transporte a los equipos de secado.

Las secadoras verticales uno y dos, son cargadas directamente mediante el equipo Centriflux. Para llenar las verticales 3-4-5-6, la centriflux transporta el café a un tornillo sinfín ubicado horizontalmente sobre estas, el cual tiene una longitud de 24,45 m.

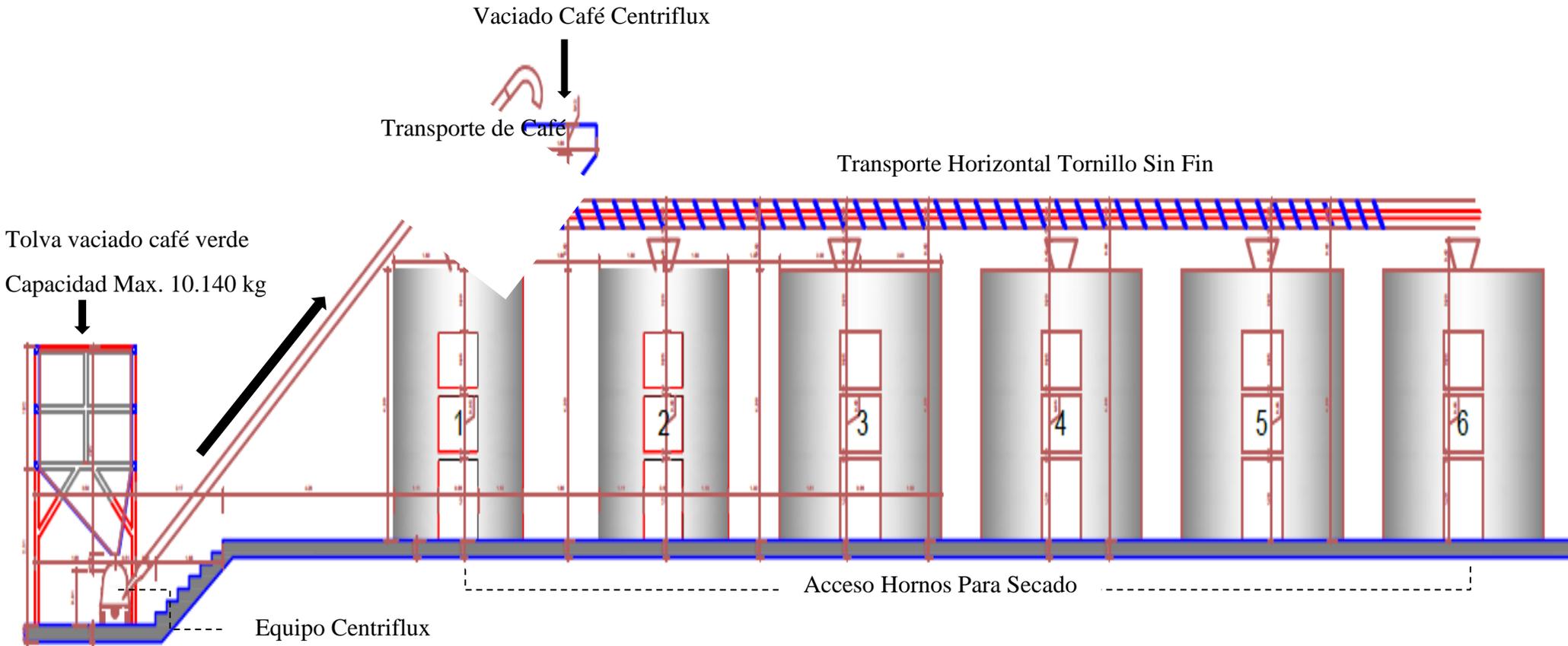


Fig. 13. Sistema de transporte de café mojado a os equipos verticales de secado.

El equipo Centriflux de la planta de secado de la cooperativa Coocentral tiene las siguientes especificaciones:

- **Motor:** 7.5 cv trifásico 60 Hz
- **Tensión:** 22 V
- **Disyuntor:** 32 A
- **Polea del motor:** 110 mm
- **Correa**A48 (Apta para poleas de 100 -110-120 mm)
- **R.P.M.** 1730 rpm
- **Voltios:** 440 / 10.2 amperios
- **Dimensiones:** 1,63 x 0,5 x 0,91 m. Fig. 14
- **Capacidad de procesamiento:** 18.000 L / h.



Figura 14. Equipo Centriflux con sus respectivas dimensiones.

Fuente: SEAGRO, s.f

Durante el desarrollo de esta etapa, se evaluaron las siguientes variables:

5.3.2.1 Tiempo de transporte.

Se enciende el equipo Centriflux y se deja llenar el primer nivel de la vertical 1 o 2, que equivalen a 2000 Kg; y mediante un cronometro se toma el tiempo de duración de transporte en minutos. Para las verticales 3-4-5-6, se toma el tiempo en que es transportado el café desde el equipo, pasando por el tornillo sinfín. La longitud medida desde la secadora #1 hasta la secadora # 6 es de 31,30 m. Fig. 15.



Figura 15. Tornillo sin fin transportador de café a verticales 3-4-5-6.

5.3.2.2 Volumen de líquido eliminado por el equipo centriflux.

El agua extraída del café es expulsada por el equipo Centriflux y conducida a un vertimiento. Se toma el dato de los kg de café a transportar, la duración de transporte del café en minutos y por medio de baldes cubicados se recolecta el líquido como lo muestra la Fig. 16. El objetivo

esconocer el volumen de agua extraída por el equipo centriflux a una muestra de café en unidad de tiempo (lt/min) por medio del método volumétrico.



Figura 16. Recolección de líquido expulsado por el equipo Centriflux

5.3.2.3 Porcentaje de humedad del café transportado.

Cuando el equipo Centriflux va transportando el café a las secadoras, se toma la muestra y se lleva a la estufa de secado de la universidad Surcolombiana, con el fin de conocer el porcentaje de humedad que extrae el equipo centriflux al café.



Figura 17. Recolección de muestra de café trasportada.

5.3.2.4 Análisis a la estructura física de los granos transportados.

Se recolectan muestras de 250 gr de café arrojado por el equipo centriflux, donde se seleccionarán los granos pelados que posteriormente son pesados en la GrameraFig. 18. Este dato se contrastará con el dato tomado en el análisis de la estructura del grano cuando llega a la planta, con el fin de analizar y comparar si el equipo Centriflux produce daños mecánicos al grano.



Figura 18. Peso de granos pelados después de ser transportada la muestra por el equipo Centriflux.

5.4 Secado del café

La planta cuenta con 6 secadoras verticales cilíndricas, cada uno de estos equipos está dividido en tres niveles: Oreado (nivel uno), pre-secado (nivel dos) y Secado (nivel tres). Las secadoras uno y dos, tienen capacidad para 6000 kg de café mojado cada una, y las secadoras 3-4-5-6 tienen capacidad de 12000 kg cada una. La fuente de calor para su funcionamiento es generada por la combustión del cisco, donde el ventilador centrífugo transporta el aire caliente para ser circulado por los granos de café.

Las secadoras verticales tienen una mezcladora la cual es activada automáticamente cada 20 minutos para homogenizar los granos y la capa de café en cada nivel es de 40 cm aproximadamente. El proceso de secado se realiza dependiendo del volumen de café a secar; si el volumen es alto (periodos de alta cosecha), una vez pasan doce horas de oreado, el café es transportado a las Guardiolas para culminar el proceso, pero si, por el contrario, el volumen es bajo el proceso culmina en las verticales, que es el proceso que se analizará en el presente proyecto.

Una vez el café obtenga humedad promedio de 12.20 % el proceso es suspendido.

En el proceso de secado, se realizaron mediciones de la humedad final, y la duración de secado para analizar la incidencia del método de transporte con relación a este proceso.

Para medir la humedad se usó el detector de humedad marca KAPPA, modelo AK60 – B MOINSTURE METER.



Figura 19. Detector de humedad KAPPA.

5.4.1 Duración de secado del café.

Cuando el café tenga el contenido de humedad en 12,20% se apaga el equipo, y se transporta el café a las tolvas de almacenamiento mediante la banda transportadora.

5.4.2 Porcentaje de humedad.

Cuando al café le faltaban aproximadamente tres horas para culminar el secado en el nivel tres de las verticales, se registraban los datos de humedad cada hora; se tomaba una muestra y se dejaba enfriar; luego se pesaban 400 gr y se introducían en el equipo medidor de humedad KAPPA una vez ha sido calibrado; para finalmente ubicar el dato arrojado en la **Tabla 1** que equivale al contenido de humedad de la muestra.

Tabla 1. Porcentajes de humedad para detector KAPPA. LM (Lectura medidor) Wr (Agua retenida).

Tabla de correlación				serie 12-750		Canal 436	
LM	Wr%	LM	Wr%	LM	Wr%	LM	Wr%
224	8,88	242	10,03	260	11,18	278	12,33
225	8,95	243	10,10	261	11,24	279	12,39
226	9,01	244	10,16	262	11,31	280	12,46
227	9,07	245	10,22	263	11,37	281	12,52
228	9,14	246	10,29	264	11,44	282	12,58
229	9,20	247	10,35	265	11,50	283	12,65
230	9,27	248	10,41	266	11,56	284	12,71
231	9,33	249	10,48	267	11,63	285	12,78
232	9,39	250	10,54	268	11,69	286	12,84
233	9,46	251	10,61	269	11,75	287	12,90
234	9,52	252	10,67	270	11,82	288	12,97
235	9,59	253	10,73	271	11,88	289	13,03
236	9,65	254	10,80	272	11,95	290	13,09
237	9,71	255	10,86	273	12,01	291	13,16
238	9,78	256	10,93	274	12,07	292	13,22
239	9,84	257	10,99	275	12,14	293	13,29
240	9,90	258	11,05	276	12,20	294	13,35
241	9,97	259	11,12	277	12,27	295	13,41
CANTIDAD DE MUESTRA A UTILIZAR						400	

CURVA TI

Fuente: alma café, 2017

			FORMATO DE CONTROL DE SECADO PARQUE INDUSTRIAL DEL CAFÉ.						GUARDIOLAS			
LUGAR Y FECHA			SISTEMA DE SECADO						TOLVA No.			
PROCEDENCIA	CALIDAD	CANTIDAD CAFÉ OREADO	G1	G2	G3	G4	G5	G6	TVA 1			
									TVA 2			
									TVA 3			
									TVA SOC			
TOTAL KGS CAFÉ MOJADO			CORTE DEL MES									
			SEM 1									
			SEM 2									
			SEM 3									
			SEM 4									
			SEM 5									
FECHA				HORA INICIAL		HORA FINAL Y/O APAGADO		TOTAL HORAS				
% HUM ANTES DE DESCARG DEL CILINDRO												
% HUM ANTES DE DESCARG DEL TOLVA REPOSO												
LECTURA DE HUMEDAD DE EQUIPO TIPO GUARDIOLA												
VERIF. POR HORA		% DE HUMED DEL CILINDRO		VERIF. POR HORA		% DE HUMED DEL CILINDRO						
OBSERVACIONES:												

Figura 20. Formato de control de secado

Fuente: Parque Industrial Coocentral

5.5 Sistema de transporte tradicional o por electrobombas sumergibles en el parque industrial del café.

El análisis del proceso lo realizó la ingeniera Agroindustrial LIDA VANESSA TORRES PEREZ en su proyecto de grado DETERMINACION DE TIEMPOS Y VARIABLES QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ EN EL PARQUE INDUSTRIAL DEL CAFÉ en el año 2012.

El proceso de transporte de café mojado, se realizaba por medio de electrobombas sumergibles, las cuales, utilizaban el agua como medio de conducción, donde según Torres, (2012) lo describe de la siguiente manera:

Inicia desde los tanques de recibo (a) a través del canal de correteo (b) hasta una de las cuatro albercas de bombeo, cada una con su respectiva electrobomba sumergible (c), esta a su vez mediante tubería conduce el café hasta el separador de agua (d) el cual deposita el grano en la torre de secado y el agua es recirculada hacia dos albercas, cada separador sirve para dos secadores; cuando se ha terminado de bombear un lote, el agua se desecha en dos tanques de sedimentación, los cuales se dirigen a un estanque de agua residual. (p.37)

El agua que requerían las electrobombas para el transporte de café a los sistemas de secado, era captada de la quebrada majo, con condiciones desfavorables, pues de ella emanaban malos olores, contaminantes y sólidos en suspensión de diferentes tamaños, lo que no la hace apta para el manejo de productos alimenticios.

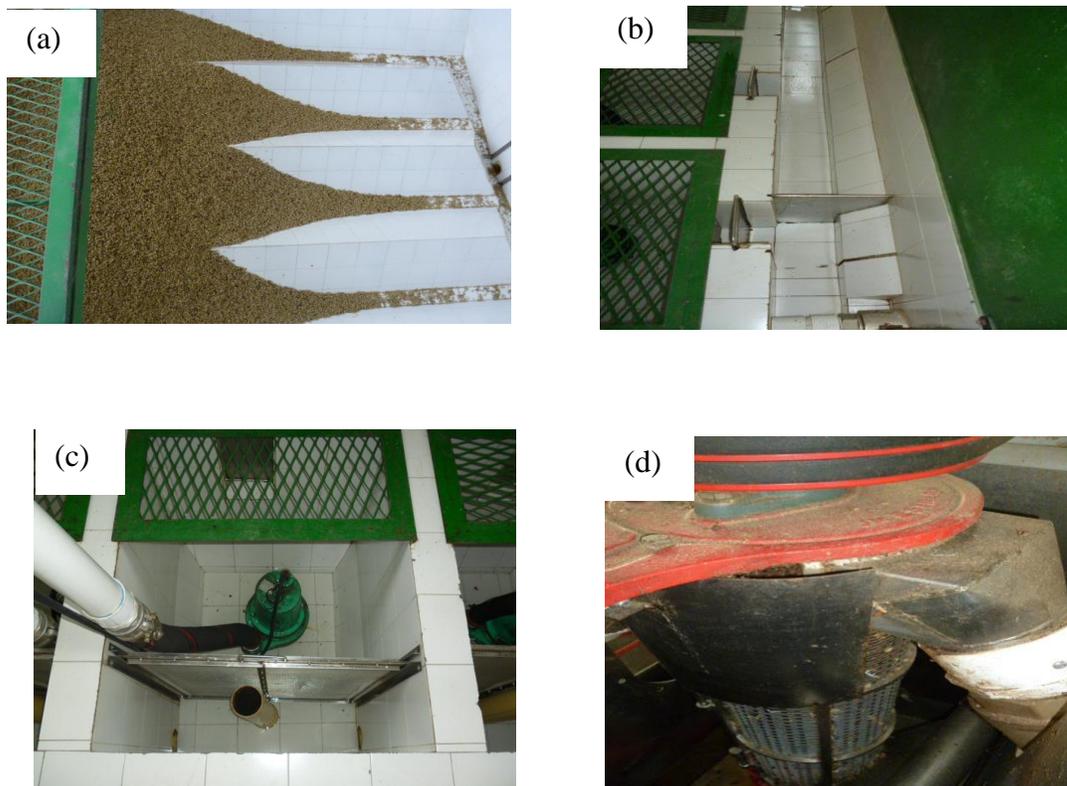


Figura 21. (a) Tanque de recibo de café mojado antiguamente utilizado en la planta de secado. (b) Canal de correteo usado para el transporte de café mojado por el método de electrobombas. (c) Electrobomba sumergible. (d) Separador de agua – café.

Fuente: Torres, 2012.

En este procedimiento se analizaron las siguientes variables:

5.5.1 Tiempo de Bombeo.

Torres (2012) expone:

Se llevó control del tiempo de carga de cada uno de los 6 equipos de secado vertical cilíndrico usando las bombas uno y dos, y mediante planillas se toma el registro del tiempo desde que llegan los primeros granos a la alberca de bombeo hasta que salen los últimos granos por el separador. (p. 39)

5.5.2 Consumo de agua mediante el transporte de café por electrobombas.

Torres (2012) expone:

Para determinar el consumo de agua por kg de café mojado se realizaron ensayos obteniendo el caudal de agua (litros/min) del tanque de recibo, así como del canal de correteo, además, se calculó el total necesario para el llenado de los tanques teniendo en cuenta que cada 30 ton es desechada. (p.40)

5.5.3 Tiempo de secado

Torres (2012) expresa:

Se registró en formatos el dato del tiempo total de secado en condiciones de producción máximas y mínimas, es decir cuando todos los niveles están llenos y cuando solo hay uno o dos niveles en funcionamiento. (p.40)

Las electrobombas utilizadas para el proceso de transporte Fig. 22 tienen las siguientes especificaciones:

- ✓ **Potencia:** 2.0 Hp
- ✓ **Voltaje:** 440 V
- ✓ **Fases:** 3
- ✓ **Velocidad de Giro:** 1300 r.p.m.
- ✓ **Frecuencia:** 60 Hz
- ✓ **Modelo:** NE 3 20-4-440
- ✓ **Referencia:** 1C003



Figura 22. Electrobombas para transporte de café a los sistemas de secado.

6. Resultados

6.1 Área de recibo

6.1.1 Análisis en la estructura física del grano sin ser transportado.

Tabla 2. Evaluación física del grano de café sin ser transportado

N°	Agencia	Peso granos sanos (g)	Peso granos pelados (g)
1	Fielato Ppal.	241,4	8,6
2	Galería	243	7,0
3	Agrado	246,4	3,6
4	Alexander Murcia	243,1	6,9
5	Suaza	247,4	2,6
6	Galería	244,2	5,8
7	Suaza	243	7,0
8	Mauricio Rivera	236,8	13,2
9	Socorro	246,7	3,3
10	Suaza	247,8	2,2
11	Mauricio Rivera	243,6	6,4
12	Fielato Ppal.	248,5	1,5
13	Gigante	247	3,0
14	Potrerosillos	242,8	7,2
15	Socorro	245,9	4,1
16	Suaza	242,7	7,3
17	Pital	246,1	3,9
18	Alexander Murcia	245,1	4,9
19	Alexander Murcia	242,6	7,4
20	Zuluaga	246,1	3,9
21	San Antonio	243,5	6,5
Promedio		244,46	5,54

La tabla 2 muestra que de 21 pruebas realizadas a las muestras del café pergamino como llega a la planta, el promedio de café pelado es de 5,54 gr en muestras de 250 gramos (2,22%). Este

café está siendo deteriorado en diferentes procesos, siendo principalmente la calibración de equipos como la despulpadora o desmucilagador, y en la recolección de frutos verdes debido a la ausencia o bajos niveles de mucilago quien brinda la facilidad de extracción de la pulpa.

6.1.2 Porcentaje de Humedad.

La tabla indica los porcentajes de humedad con los que llega el café a la planta de secado.

Tabla 3 Porcentajes de humedad en muestras de café como llega a la planta.

N°	Agencia	Duración del proceso (h)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Humedad (%)
1	Agrado	2:45	30	14,4	48,67
2	Suaza	2:45	30	15,4	48,67
3	Fielato Ppal	2:45	30	15,3	49
4	Suaza	2:30	30	15,1	49,67
5	Gigante	2:30	30	15,3	49
6	Alexander Murcia	2:45	30	15,4	48,67
7	Suaza	3:15	30	15	50
8	Suaza	3:15	30	14,9	50,33
9	Pital	2:45	30	14,8	50,67
10	San Antonio	2:30	30	14,6	51,33
11	Alexander Murcia	3:00	30	14,8	50,67
12	Pital	3:15	30	15,0	50
	Promedio	2:50	30	15,0	49,7

El promedio general de humedad del café cuando llega a la planta es de **49,7%**. La duración del proceso de extracción de humedad en la estufa de secado es de dos horas con cincuenta minutos en promedio.

A continuación, se muestran las diferentes tablas donde se relaciona la duración del proceso en la estufa de secado en minutos y los diferentes pesos en cada uno de ellos, hasta que este se vuelve constante. Se especificará la diferencia de peso cada quince minutos en la tabla 4.

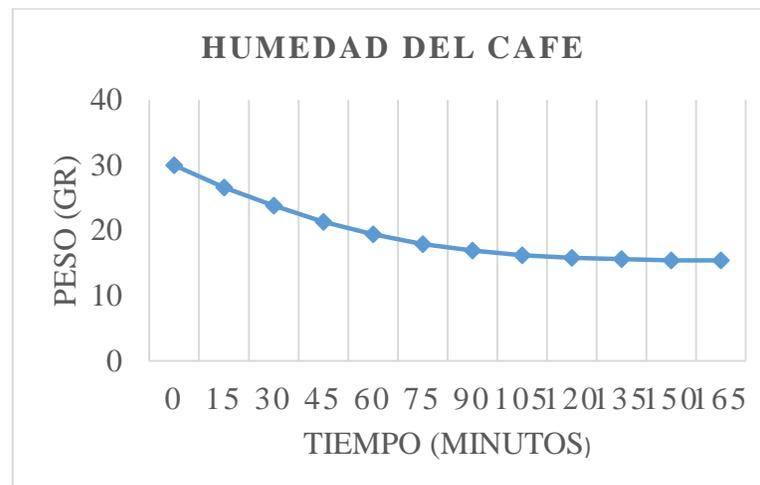
Tabla 4. Porcentaje de humedad con análisis de disminución de peso en una muestra (Agencia Agrado)

Minutos	Peso (gr)	Diferencia
0	30	-
15	26,6	3,4
30	23,8	2,8
45	21,3	2,5
60	19,4	1,9
75	17,9	1,5
90	16,9	1
105	16,2	0,7
120	15,8	0,4
135	15,6	0,2
150	15,4	0,2
165	15,4	0
Humedad (%)	48,67	

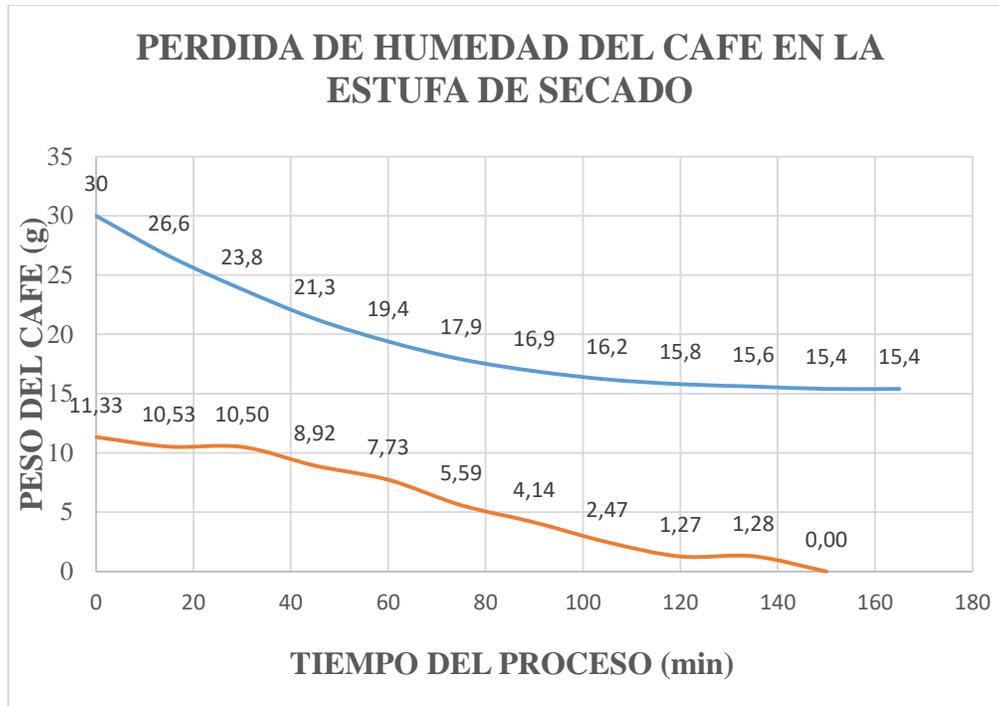
La tabla 4 muestra como en los primeros 45 minutos, el agua es extraída de manera más rápida con un promedio de 2,9 gr; confirmando las teorías de Pineda, Reyes y Oseguera, (2017) los cuales afirman:

Hay una evaporación prácticamente constante y se logra la mayor difusión del agua en menor tiempo. (p.222)

A partir del minuto sesenta, hasta el minuto noventa, el promedio de extracción de agua es de 1,5 gramos; valor más bajo que indica que el proceso de secado se va haciendo más lento debido a que esta se lleva a cabo en la parte interna del grano. Del minuto 105 al minuto 150, los gramos de agua evaporados son más bajos, con promedio de evaporación de 0,375 gr, donde en el minuto 150 y 165 los pesos son iguales, indicando la muestra ha perdido el contenido de humedad.



Gráfica 1. Humedad del café. Pérdida de peso del café con el tiempo.



Grafica 2. Reducción de peso del café contra el tiempo y curva de pérdida de humedad contra el tiempo

La grafica 2 detalla el periodo de velocidad constante donde se está eliminando la humedad superficial y el periodo de velocidad decreciente donde la humedad es liberada de la parte interna del grano.

Tabla 5. Resultados del proceso de extracción de humedad en la estufa de secado de las muestras sin transportar, relacionando la duración y el peso.

Tiempo de secado (min)	Agrado (g)	Suaza (g)	Fielato principal (g)	Suaza (g)	Gigante (g)	A. Murcia (g)	Suaza (g)	Suaza (g)	Pital (g)	San Antonio (g)	A. Murcia (g)	Pital (g)
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
15	26,6	26,8	27,1	26,6	27	26,6	28,9	26,3	26,2	26,8	26,3	27,6
30	23,8	24,3	24,2	24,1	24,1	23,9	25,4	23,5	23,2	24,1	23,8	24,5
45	21,3	21,8	21,8	21,8	21,7	21,5	22,8	21,1	20,8	20	21,1	21,4
60	19,4	19,8	19,8	19,5	19,5	19,4	20,6	19,1	18,8	19,7	19,2	19,4
75	17,9	18,1	18	18	18,3	17,9	18,8	17,6	17,3	17,9	17,6	17,8
90	16,9	17,1	16,9	16,8	17,1	16,9	17,5	16,5	16,2	16,4	16,4	17,2
105	16,2	16,4	16,2	16	16,2	16,3	16,6	15,9	15,6	15,4	15,7	16,7
120	15,8	15,9	15,7	15,5	15,8	15,9	16	15,5	15,2	15	15,4	16,1
135	15,6	15,6	15,5	15,3	15,5	15,7	15,5	15,3	15	14,8	15,2	15,6
150	15,4	15,5	15,4	15,1	15,3	15,5	15,4	15,2	14,9	14,6	15	15,4
165	15,4	15,4	15,3			15,4	15,2	15,1	14,8		14,9	15,2
180							15,1	15			14,8	15,1
195								15	14,9			15,0
Humedad (%)	48,67	48,67	49	49,67	49	48,67	50	50,33	50,67	51,33	50,67	50

La tabla 5 muestra los resultados de los pesos finales en el proceso de extracción de humedad en la estufa de secado, donde la duración máxima es de tres horas quince minutos y la duración mínima es de dos horas y media.

6.1.2.1 Calculo del porcentaje de humedad.

Datos:

P_i: 30 gr

P_f: 15,4

W_a: 14,6

Donde P_i: peso inicial, P_f: peso final, W_a: peso del agua

$$CH\ bh (\%) = \frac{14,6}{30} * 100$$

$$CH\ bh (\%) = 48,67$$

6.2 Transporte de café a los sistemas de secado

6.2.1 Tiempo de transporte a los equipos de secado.

En la tabla 6 se observa la duración de transporte del café en minutos a los equipos de secado vertical cilíndrico uno y dos.

Tabla 6. Duración de transporte del café a los equipos de secado V1 y V2.

Nº de repeticiones	Tipo de secador	Cantidad de Café (kg)	Tiempo de carga (min)
1	V1	2000	12:00
2	V1	2000	9:16
3	V1	2000	11:00
4	V1	2000	14:08
5	V1	2000	9:32
6	V1	2000	14:39
7	V1	2000	9:13
8	V1	2000	10:00
9	V1	2000	9:35
10	V1	2000	10:15
Promedio		2000	10:57
1	V2	2000	9:50
2	V2	2000	16:00
3	V2	2000	12:35
4	V2	2000	11:09
5	V2	2000	10:09
6	V2	2000	13: 14
7	V2	2000	13:00
8	V2	2000	10:35
9	V2	2000	11:05
10	V2	2000	10:12
Promedio		2000	11:21

La tabla 6 indica que para transportar 2000 kg de café a las secadoras verticales uno y dos, el proceso es más corto en la vertical uno, con veinticuatro segundos de diferencia.

Tabla 7. Duración de transporte de café a los equipos verticales 3-4-5-6

N° de repeticiones	Tipo de secador	Cantidad de Café (kg)	Tiempo de carga (min)
1	V3	4000	17:51
2	V3	4000	20:47
3	V3	4000	19:53
4	V3	4000	18:52
5	V3	4000	20:31
6	V3	4000	14:39
Promedio		4000	18:45
1	V4	4000	17:11
2	V4	4000	21:52
3	V4	4000	22:39
4	V4	4000	20:00
5	V4	4000	21:50
6	V4	4000	23:06
Promedio		4000	21:06
1	V5	4000	18:55
2	V5	4000	20:14
3	V5	4000	22:15
4	V5	4000	21:50
5	V5	4000	22:11
6	V5	4000	23:06
Promedio		4000	21:25
1	V6	4000	23:00
2	V6	4000	24:03
3	V6	4000	24:00
4	V6	4000	23:15
5	V6	4000	23:45
6	V6	4000	23:42
Promedio		4000	23:37

La tabla 7 indica que la duración de transporte del café pergamino a los equipos de secado es menor en la vertical 3, seguidamente el equipo 4 y en orden hasta el equipo seis, esto debido a la distancia de cada uno de los equipos.

6.2.2 Volumen de líquido eliminado por la Máquina (Capacidad).*Tabla 8. Volumen de líquido extraído por el equipo Centrifluj*

N° de repeticiones	Cantidad de Café (kg)	Tiempo de carga (min)	Líquido extraído (Lt)	L/s
1	4000	24:03	152	0,10
2	4000	18:52	124,25	0,11
3	4000	20:00	159,25	0,13
4	4000	20:00	143,5	0,12
5	4000	22:15	157,5	0,12
PROMEDIO		21:02	147,3	0,12

El promedio de líquido extraído al café por el equipo es de 147,3 litros para muestras de 4000 kg en promedio en un tiempo de veintiún minutos con dos segundos de transporte (0,12 l/s). El volumen depende del porcentaje de humedad con que el café llega a la planta.

6.2.3 Porcentaje de humedad.

Tabla 9. *Porcentajes de humedad en muestras de café transportado por el equipo Centriflux.*

N°	Agencia	Duración del proceso (h)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Humedad (%)
1	Agrado	3:00	30	15,7	47,67
2	Suaza	2:45	30	15,7	47,67
3	Fielato Ppal.	2:45	30	15,5	48,33
4	Suaza	2:30	30	15,6	48
5	Gigante	2:30	30	15,3	49
6	Alexander Murcia	2:30	30	15,5	48,33
7	Suaza	3:00	30	15,3	49
8	Suaza	3:00	30	15,2	49,33
9	Pital	2:45	30	15,5	48,33
10	San Antonio	2:30	30	15,4	48,67
11	Alexander Murcia	3:00	30	15,3	49
12	Pital	3:00	30	15,3	49
Promedio		2:46	30	15,4	48,5

Los resultados muestran que el promedio de humedad del café cuando el equipo Centriflux lo ha transportado es de **48,5 %**; datos que coinciden con los teóricos de Ghosh, quien dice que la centrifuga reduce el contenido de humedad entre 45-50%.

Tabla 10. Porcentaje de humedad de café transportado con análisis en la variación de peso en una muestra (Agencia Agrado)

Tiempo (min)	Peso (gr)	Diferencia
0	30	-
15	26,9	3,2
30	23,9	2,9
45	21,6	2,3
60	19,5	2,1
75	18,1	1,4
90	17,1	1
105	16,6	0,5
120	16,2	0,4
135	16,0	0,2
150	15,9	0,1
165	15,7	0,2
180	15,7	0
Humedad %	47,67	

La anterior tabla muestra como los granos de café pierden inicialmente mayor contenido de humedad (velocidad constante), y con el paso de los minutos se reduce hasta llegar a cero (velocidad decreciente).

Tabla 11. Resultados del proceso de extracción de humedad en la estufa de secado de las muestras transportadas, relacionando la

N° de muestras	Tiempo de secado (min)	Agrado (gr)	Suaza (gr)	Fielato principal (gr)	Suaza (gr)	Gigante (gr)	Alexander Murcia (gr)	Suaza (gr)	Suaza (gr)	Pital (gr)	San Antonio (gr)	Alexander Murcia (gr)	Pital (gr)
1	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2	15	26,8	27,1	26,8	27	26,6	26,2	28,8	26,1	26,8	26,3	26,4	27,5
3	30	23,9	24,5	24	24,3	23,9	23,4	25,3	23,1	23,9	23,6	23,6	24,4
4	45	21,6	21,9	21,7	21,8	21,5	21,1	22,5	21	21,5	21,2	21,2	21,1
5	60	19,5	20,1	19,8	19,7	19,5	19,1	20,4	19,1	19,4	19,4	19,2	19,1
6	75	18,1	18,5	18,3	18,1	18	17,8	18,7	17,7	17,9	17,7	17,7	17,7
7	90	17,1	17,4	17,2	17,1	17,1	16,8	17,4	16,6	16,9	16,8	16,7	17,1
8	105	16,6	16,7	16,5	16,4	16,4	16,2	16,5	16	16,2	16,1	16,1	16,6
9	120	16,2	16,2	16,1	16	16	15,8	16	15,7	15,9	15,8	15,7	16,1
10	135	16,0	16	15,8	15,8	15,8	15,6	15,7	15,5	15,7	15,6	15,5	15,7
11	150	15,9	15,8	15,6	15,6	15,3	15,5	15,5	15,3	15,5	15,4	15,4	15,4
12	165	15,7	15,7	15,5				15,3	15,2	15,5		15,3	15,3
13	180	15,7						15,3	15,2			15,3	15,3
Humedad (%)		47,67	47,67	48,33	48	49	48,33	49	49,33	48,33	48,67	49	49

duración y el peso.

La tabla 11 muestra detalladamente los pesos iniciales de cada muestra y hasta que estas se vuelven constantes, indicando la duración total del proceso de extracción de humedad en la estufa.

Conociendo los contenidos de humedad en cada una de las muestras llevadas al horno, de cuando llega el café a la planta y una vez pasa por el equipo transportador, se mostrará en la tabla 12 el porcentaje de humedad que le extrae el equipo Centriflux al café.

Tabla 12. Contenido de humedad que extrae el equipo Centriflux a las muestras de café.

Porcentaje total de extracción de humedad del equipo Centriflux a las muestras de café		
Como llega a la planta (%)	Transportado (%)	Diferencia (%)
48,67	47,67	1
48,67	47,67	1
49	48,33	0,67
49,67	48	1,67
49	49	0
48,67	48,33	0,34
50	49	1
50,33	49,33	1
50,67	48,33	2,34
51,33	48,67	2,66
50,67	49	1,67
50	49	1
Promedio total		1,20 %

Los resultados indican que el equipo Centriflux, en su funcionamiento como centrífuga y transportadora le retira al café **1,20%** de humedad superficial.

6.2.4 Análisis a la estructura física de los granos después del transporte.

Tabla 13. Evaluación física del grano de café después de ser transportado por el equipo centrifluj con muestras de 250 gr.

No de pruebas	Agencia	Peso granos sanos (g)	Peso granos pelados (g)
1	Fielato Ppal.	241,8	8,2
2	Galería	242,2	7,8
3	Agrado	244,9	5,1
4	Alexander Murcia	244,1	5,9
5	Suaza	248,6	1,4
6	Galería	243,8	6,2
7	Suaza	245,7	4,3
8	Mauricio Rivera	238,2	11,8
9	Socorro	247,0	3,0
10	Suaza	245,2	4,8
11	Mauricio Rivera	242,8	7,2
12	Fielato Ppal.	246,5	3,5
13	Gigante	246,3	3,7
14	Potrerillos	242,3	7,7
15	Socorro	245,3	4,7
16	Suaza	241,7	8,3
17	Pital	241,5	8,5
18	Alexander Murcia	244,4	5,6
19	Alexander Murcia	239,6	10,4
20	Zuluaga	245,1	4,9
21	San Antonio	243,1	6,9
Promedio		243,8	6,19

El promedio de café pelado es de 6,19 g en muestras de 250 g (**2,48%**); lo que indica **0,65 gramos** por encima del promedio de los granos defectuosos que llegan a la planta ya que este es de 5,54 gr (**2,26%**); concluyendo que el daño que le ocasiona el equipo Centriflux a los granos de café es insignificante en un **0,22 %**.

6.3 Secado del café (Secadoras verticales)

6.3.1 Duración de secado y Porcentaje de humedad.

Los tiempos de secado de cada una de las muestras y las humedades finales se representan en la tabla 14.

Tabla 14. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical uno (V1) con capacidad total del equipo.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 1 (V1)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Luis M. Rivera	2270	4:30	7:30	9:00	21:00	13,09
Gigante	2000	7:50	3:48	9:27	21:05	12,9
Fielato	2000	5:45	8:40	8:00	22:25	12,84
Zuluaga	2000	4:00	6:00	10:00	20:00	12,07
Agrado/Socorro	2311	5:33	1:00	12:35	19:08	12,01
Suaza	2000	6:05	11:05	8:40	25:50	11,69
Suaza	2008	8:00	2:30	9:30	20:00	11,88
Fielato	2000	7:25	2:00	11:40	21:05	12,01
Fielato/Gigante	2000	6:15	5:10	10:20	21:45	12,07
Promedio	2065	6:09	5:18	9:54	21:22	12,28

El promedio de la duración de secado en el equipo vertical uno cuando el equipo está cargado completamente es de veintiun horas con veintidós minutos. La duración en cada nivel del equipo obedecía al criterio técnico según el volumen de café a secar y de los equipos disponibles.

Cuando el café estaba en el nivel uno (oreado) los niveles dos y tres tenían otras muestras de

café, y cuando la muestra de análisis bajaba al nivel dos, el operario llenaba el nivel uno con café verde para arear, quedando todo el equipo vertical cargado.

Tabla 15. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical uno (V1) con capacidad parcial del equipo.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 1 (v1)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Galería	2000	2:35	4:00	7:30	14:05	13,03
Jaime Figueroa	1860	4:00	4:15	4:17	12:32	12,9
Fielato	2297	6:00	0:00	7:24	13:24	12,58
Pital	1909	3:20	4:00	4:20	11:40	12,71
Fielato	2217	2:15	4:35	7:30	14:20	12,33
Gigante/Zuluaga	2512	6:07	5:09	5:50	17:06	12,52
Suaza	2000	3:25	3:27	9:13	16:05	12,46
Galería	2118	4:20	0:00	10:27	14:47	12,01
Galería	2000	1:45	0:00	11:30	13:15	12,14
Suaza/Guadalupe	2000	3:45	0:00	11:00	14:45	12,27
Suaza	2000	3:00	2:05	7:25	12:30	12,14
Fielato	2000	3:56	5:20	8:00	17:16	12,01
Galería	2000	3:00	0:00	7:30	10:30	12,33
Galería	2000	3:15	0:00	11:00	14:15	12,58
Mauricio Rivera	2155	4:30	0:00	8:50	13:20	12,9
Galería/Tarqui	2096	4:43	2:14	10:18	17:15	12,65
Suaza	2000	4:40	0:00	9:10	13:50	12,33
Gigante	2000	4:00	0:00	6:15	10:15	12,9
Promedio	2065	3:48	1:56	8:11	13:57	12,49

Estos datos representan las muestras que se encontraban solas en el equipo o con por lo menos otro nivel en funcionamiento, donde el tiempo promedio es de trece horas con cincuenta y siete minutos.

Tabla 16. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical dos (V2) con capacidad total.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 2 (V2)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Gigante	2000	8:12	7:00	9:00	24:12	12,84
Fielato/Gigante	2000	4:00	6:35	8:12	18:47	13,03
Suaza/Tarqui	2500	6:00	4:00	12:00	22:00	11,82
Pital/Agrado	2310	5:20	4:27	9:50	19:37	12,14
Fielato	2000	5:15	11:00	9:52	26:07	11,18
Fielato/Galería/Tarqui	2096	4:53	2:14	13:08	20:15	12,9
Zuluaga	2000	3:45	6:40	9:40	20:05	12,39
Suaza	2000	4:15	6:30	10:30	21:15	11,05
Suaza	2000	5:45	10:45	9:00	25:30	12,07
Zuluaga	2300	8:20	6:00	9:30	23:50	10,86
Fielato/Galería	2000	6:00	6:40	7:45	20:25	11,5
promedio	2110	5:36	6:31	9:51	22:00	11,98

En el equipo vertical dos, el promedio de duración de secado con capacidad total del equipo, es de veintidós horas, donde la máxima es de veintiséis horas siete minutos y la mínima de dieciocho horas cuarenta y siete minutos. El promedio de humedad con que culmina el proceso es de 11,98%.

Tabla 17. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical dos (V2) con capacidad parcial

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 2 (V2)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Alexander Murcia	1920	2:45	0:00	12:27	15:12	12,84
Galería	2201	4:20	0:00	11:40	16:00	12,71
Suaza	2170	7:30	0:00	3:10	10:40	12,97
Luis M. Rivera	2270	4:35	0:00	10:40	15:15	12,14
Alexander Murcia	2800	4:50	4:40	7:48	17:18	12,78
Galería	2000	2:50	4:00	7:30	14:20	13,09
Suaza	2296	5:40	0:00	11:45	17:25	12,84
Luis M. Rivera	2155	5:00	0:00	10:05	15:05	12,9
Galería/Suaza	2000	5:00	0:00	12:30	17:30	12,71
Galería	2000	8:00	0:00	8:46	16:46	12,14
Suaza	2000	4:00	0:00	11:00	15:00	12,14
Fielato	2000	5:00	0:00	11:00	16:00	12,2
Fielato	1980	4:00	3:30	10:30	18:00	12,78
Suaza	2000	3:45	0:00	11:17	15:02	12,84
Galería/Fielato	2000	3:17	0:00	9:00	12:17	12,33
Promedio	2119	4:42	0:48	9:56	15:27	12,63

Cuando el equipo se encuentra con un solo nivel o dos máximos, el promedio de duración de secado para la vertical dos es de quince horas con veintisiete minutos, y el promedio de humedad 12,63%.

Tabla 18. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical tres (V3) con capacidad total.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 3 (V3)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Fielato	4630	5:00	2:33	18:22	25:55	11,05
Agrado/Pital/Socorro	4000	3:50	6:50	15:10	25:50	10,93
Fielato	4000	3:50	9:30	16:30	29:50	11,75
Galería/Gigante	4010	4:05	5:10	16:20	25:35	12,01
Galería/Fielato	4000	3:30	8:30	13:00	25:00	12,2
Socorro	3500	3:45	10:50	11:00	25:35	13,03
Galería	4000	5:15	10:45	10:28	26:28	12,27
Alexander Murcia	3530	4:48	14:25	7:15	26:28	10,12
Galería	3550	5:25	7:11	15:30	28:06	11,44
Fielato/Suaza	4000	6:45	14:08	5:18	26:11	11,24
Socorro	3534	3:45	10:58	11:13	25:56	13,03
Pital	2620	4:00	3:20	10:15	17:35	12,78
Jaime Figueroa	4030	4:20	4:52	14:00	23:12	12,9
promedio	3800	4:29	8:23	12:38	26:30	11,9

Con un promedio de 3800 kg de café en las pruebas, la duración de secado es de veintiséis horas con treinta minutos cuando el equipo está cargado completamente. La máxima duración de secado fue de **veintinueve horas con cincuenta minutos** con 4000 kg de café; en este caso, el proceso de secado se veía interrumpido por los horarios laborales.

Tabla 19. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical tres (V3) con capacidad parcial.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 3 (V3)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Fielato/Galería	2970	5:00	0:00	10:27	15:27	12,14
Fielato	4200	4:10	0:00	13:40	17:50	12,2
Zuluaga/Galería	4000	3:00	1:26	16:19	20:45	12,2
Galería/Fielato	3550	6:50	0:00	10:22	17:12	12,2
Suaza	4000	5:20	0:00	15:38	20:58	12,2

Alexander Murcia	3500	4:10	0:00	13:00	17:10	12,97
Alexander Murcia	3500	2:40	0:00	11:40	14:20	12,9
Alexander Murcia	4080	3:29	5:20	10:00	18:49	12,9
Galería/Fielato	4330	4:00	4:00	10:00	18:00	13,09
Suaza	3000	3:05	5:30	12:05	20:40	13,29
Suaza	4000	4:19	0:00	15:35	19:54	12,2
Suaza	4000	5:40	0:00	10:00	15:40	13,16
promedio	3761	4:18	1:21	12:23	18:03	12,62

El promedio de secado con capacidad parcial es de dieciocho horas con tres minutos para 3761 kg de café mojado en promedio. La duración máxima de secado es de veinte horas con cincuenta y ocho segundos para 4000 kg de café, y la mínima catorce horas con veinte minutos con 3500 kg de café mojado.

Tabla 20. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cuatro (V4) con capacidad total.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 4 (V4)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Fielato	3550	6:30	0:00	13:18	19:48	12,9
Gigante	3000	2:00	11:30	7:05	20:35	12,78
Zuluaga	3970	10:00	3:30	10:57	24:27	12,52
Promedio	3507	6:10	5:00	10:26	21:36	12,73

Promedio de secado de veintiún horas con treinta y seis minutos para 3507 kg de café mojado.

Los equipos 4-5 y 6 son los equipos que menos se usaban, por tal motivo la reducción en el número de muestras.

Tabla 21. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cuatro (V4) con capacidad parcial.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 4 (V4)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	% Humedad final
Fielato	4200	4:00	0:00	13:45	17:45	12,14
Alexander Murcia	3500	2:30	0:00	13:29	15:59	12,14
Alexander Murcia	4080	3:10	5:20	11:10	19:40	12,84
Luis M. Rivera	3400	4:00	5:00	8:50	17:50	12,84
Zuluaga	3050	4:00	5:25	9:22	18:47	12,9
Alexander Murcia	3500	4:00	1:25	12:50	18:15	12,65
Promedio	3622	3:36	2:51	11:34	18:02	12,59

El promedio de secado es dieciocho horas con dos minutos para 3622 kg de café. La máxima duración es de diecinueve horas cuarenta minutos para 4080 kg de café y la mínima de quince horas cincuenta y nueve minutos para 3500 kg.

Tabla 22. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cinco (V5) con capacidad total.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 5 (V5)						
Agencia	Kg	Nivel 1(h)	Nivel 2	Nivel 3	Total	Humedad final(%)
Suaza/Agrado/Pital/Socorro/Zuluaga	4000	6:20	3:40	18:35	28:35	12,9
Suaza	4000	6:10	1:15	17:58	25:23	12,33
Zuluaga	4000	3:50	4:00	16:45	24:35	12,9
Promedio	4000	5:26	2:58	17:46	26:11	12,71

El promedio de secado es de veintiséis horas con once minutos para 4000 kg de café. La duración máxima de secado es de veintiocho horas treinta y cinco minutos y el mínimo de veinticuatro horas treinta y cinco minutos, todas con 4000 kg de café mojado.

Tabla 23. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical cinco (V5) con capacidad parcial.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 5 (V5)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	Humedad final (%)
Fielato/Galería	3100	4:50	0:00	11:00	15:50	13,09
Fielato/Galería	3950	4:00	2:45	14:00	20:45	12,52
Fielato	3550	6:00	0:00	14:50	20:50	11,95
promedio	3533	4:56	0:55	13:16	19:08	12,52

Para capacidad parcial el promedio de secado en la vertical cinco (V5), es de diecinueve horas con ocho minutos y 3533 kg de café mojado. La duración máxima de veinte horas cincuenta minutos para 3550 kg y la mínima de quince horas cincuenta minutos con 3100 kg de café.

Tabla 24. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical seis con capacidad total.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 6 (v6)						
Agencia	Kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	Humedad final (%)
Guadalupe/Suaza	4000	10:25	3:40	18:00	32:05	12,84
Agrado/Pital/Socorro/Suaza	4000	6:30	3:30	15:21	25:21	11,75
Fielato	4000	4:18	4:50	16:00	25:08	11,95

Gigante/Potrerillos/Guadalupe/Suaza	4416	4:00	0:00	18:57	22:57	12,97
San Antonio/Suaza	3420	8:10	0:00	18:10	26:20	12,71
Promedio	3967	6:40	2:24	17:17	26:22	12,44

El promedio de duración de secado del equipo secador seis con capacidad total, es de veintiséis horas con veintidós minutos. Interrupción en el secado, prolonga la duración del mismo.

Tabla 25. Tiempo de secado y porcentaje de humedad en equipo vertical seis con Capacidad parcial.

Formato duración de secado (h) en equipo vertical 6 (V6)						
Agencia	kg	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	Humedad final (%)
Fielato	3550	5:30	0:00	14:55	20:25	12,01
Zuluaga	4000	2:30	0:00	18:00	20:30	12,71
Pital/Zuluaga	4000	4:00	4:00	11:20	19:20	11,95
Promedio	3850	4:00	1:20	14:45	20:05	12,22

Con capacidad parcial, el tiempo promedio de secado en el equipo seis es de veinte horas con cinco minutos.

Tabla 26. Duración de secado en verticales con capacidad total y parcial.

Total, tiempo (h) promediode secado en equipos verticales (V1-V2-V3-V4-V5-V6) con capacidad total y parcial	
Capacidad total (hr)	24:00
Capacidad parcial (hr)	17:30

La tabla indica que el promedio de secado de todos los equipos verticales con capacidad total es de veinticuatro horas, y con capacidad parcial de diecisiete horas con treinta minutos.

6.4 Sistema de transporte tradicional o por electrobombas sumergibles en el parque industrial del café

6.4.1 Tiempo de Bombeo.

Tabla 27. Tiempo de carga de café mojado a las secadoras verticales mediante electrobombas.

	Bomba	Equipo	Tiempo carga/equipo (min)	Tiempo promedio bomba (min)
SECADORAS VERTICALES	1	1	32:45	35:55
	1	2	39:06	
	1	3	44:42	
	2	3	44:18	
	2	4	45:35	
		5	45:00	
	2	6	45:00	44:49

Fuente: torres, 2012

La tabla 27 muestra el promedio de tiempo de carga o duración de transporte de café mojado a cada una de las seis secadoras verticales, donde la duración mínima de transporte es de treinta y

dos minutos cuarenta y cinco segundos para el equipo uno, y el tiempo máximo de duración es de cuarenta y cinco minutos con treinta y cinco segundos para el equipo número cuatro.

6.4.2 Consumo de agua mediante el transporte por electrobombas.

Tabla 28. Consumo de agua en el proceso de transporte de café a las secadoras verticales mediante electrobombas sumergibles.

Tipo de secador	Tiempo de carga (min)	Capacidad (kilos mojados)	Agua carga (L/min)	Kg de café cargados/min	L agua/1kg café mojado
Vertical 1	32:45	2000	323,122	61,64	5,242
Vertical 2	39:06	2000	318,252	51,20	6,215
Vertical 3	44:18	4200	338,724	95,07	3,563
Vertical 4	45:35	4200	337,579	92,62	3,645
Vertical 5	45:00	4200	338,312	94,19	3,592
Vertical 6	45:00	4200	337,919	93,35	3,620
Promedio					4,31

Fuente: torres, 2012.

La tabla anterior indica, que se requieren de 4,31 L de agua/kg de café mojado en promedio para el transporte del café a los seis equipos de secado verticales, según Torres, 2012.

6.4.3 Tiempo de secado de café usando las electrobombas como medio de transporte.

Tabla 29. Tiempo de secado en verticales con capacidad total

Tipo de secador	Nivel	Tiempo (h)	Tiempo total (h)	Tiempo promedio (h)
Vertical 1	3	7,87		

Vertical 1	2	8,34		
Vertical 1	1	8,42	24,64	
Vertical 2	3	9,03		
Vertical 2	2	5,91		
Vertical 2	1	8,30	23,24	
Vertical 3	3	7,59		
Vertical 3	2	8,46		
Vertical 3	1	8,77	24,82	
Vertical 4	3	9,24		
Vertical 4	2	7,64		
Vertical 4	1	7,84	24,72	
Vertical 5	3	7,94		
Vertical 5	2	8,14		
Vertical 5	1	9,15	25,24	
Vertical 6	3	7,72		
Vertical 6	2	7,50		
Vertical 6	1	6,24	21,45	24,02

Fuente: torres, 2012

La tabla anterior indica que el tiempo de secado con capacidad total usando como medio de transporte las electrobombas es en promedio de veinticuatro horas un segundo.

Tabla 30. Tiempo de secado en verticales con capacidad parcial.

Tipo de secador	Nivel	Tiempo (h)	Tiempo total	Tiempo promedio
Vertical 1	3	7,31		
Vertical 1	2	6,72		
Vertical 1	1	6,48	20,52	
Vertical 2	3	6,12		
Vertical 2	2	6,76		
Vertical 2	1	7,46	20,34	
Vertical 3	3	6,22		
Vertical 3	2	6,59		
Vertical 3	1	5,89	18,70	
Vertical 4	3	7,42		
Vertical 4	2	5,22		
Vertical 4	1	5,12	17,76	
Vertical 5	3	7,77		
Vertical 5	2	7,06		
Vertical 5	1	5,86	20,69	
Vertical 6	3	7,64		
Vertical 6	2	7,29		
Vertical 6	1	4,98	19,91	19,60

Fuente: torres, 2012

Torres (2012) afirma:

Cuando los equipos solo cuentan con uno o dos niveles de su capacidad en funcionamiento, los tiempos de secado disminuyen debido a que la transferencia de calor es más directa, pues el aire solo pasa a través de uno o dos niveles, el promedio de secado es de 19,60 horas. (p.51).

7. Análisis de resultados

En el análisis a la estructura física del grano, el equipo Centriflux le ocasiona un leve daño al café con un 0,26 %, lo cual indica que la pérdida económica es insignificante.

En promedio el café llega a la planta con 49.7 % de humedad, valor que confirma la teoría de Molina, (2017) el cual afirma que en esta etapa el café tiene una humedad entre el 45% - 50 %". Estos valores dependen de factores como la duración de descargue en la tolva o el tiempo de escurrido en las fincas.

El tiempo de transporte del café mojado mediante la centriflux a la secadora vertical uno es de diez minutos con cincuenta y siete segundos y a la secadora vertical dos es de once minutos con veintiún segundos, es decir once minutos con nueve segundos en promedio de transporte a los dos equipos.

El promedio de duración de transporte a las secadoras verticales 3-4-5-6 es de Veintiún minutos con 13 segundos; que equivale aproximadamente al doble de tiempo de las verticales uno y dos, esto debido al volumen del café, a la distancia que hay entre los equipos, y a que el transporte inicia con el equipo centriflux, el cual seguidamente lo descarga en el tornillo sin fin para finalmente ser transportado a los equipos de secado.

El equipo Centriflux logra extraer 147,3 litros de líquido a una muestra de 4000 kg de café en un tiempo promedio de veintiún minutos con dos segundos de transporte. Lo que es de gran ventaja ya que el equipo le extrae humedad mas no requiere de esta para el transporte.

Cuando el café se transporta por el equipo centriflux, las muestras quedan con una humedad de 48,5 % en promedio, valor que está dentro del rango de datos de Ghosh (1972) quien afirma:

Que la centrifuga reduce la humedad entre 45-50%; pero no coinciden con los datos de Ramírez, et al., (1998) ya que mediante sus ensayos los resultados de humedad variaron entre 56,8 – 58,5 % una vez pasan por el equipo centrífugo.

El equipo centriflux le extrae al café un 1,20 % de humedad superficial. Por lo tanto, afecta positivamente al proceso de secado ya que disminuye la duración del mismo.

El tiempo promedio de secado en las verticales cuando los equipos tienen todos los niveles ocupados o con capacidad total es de 24 horas, siendo el café transportado por el equipo centriflux. La duración de secado en este caso es más extensa, ya que el aire que circula no pasa libremente al de la muestra, sino que es distribuido en otros niveles, además, la humedad evaporada en el nivel tres es recibida por la muestra del nivel dos, y esta a su vez recibida por la muestra del nivel uno que es la muestra de análisis.

El tiempo promedio de secado en las verticales cuando los equipos tienen un solo nivel o dos (capacidad parcial) es de 17 horas con treinta minutos. La duración es mínima ya que el aire caliente circula libremente por la capa de café a analizar.

El tiempo de transporte de café mojado mediante electrobombas sumergibles al equipo vertical uno es treinta y dos minutos con cuarenta y cinco segundos, y a la vertical dos es de treinta y nueve minutos con seis segundos; es decir, el promedio de transporte a estos equipos es de treinta y cinco minutos con cincuenta y cinco segundos, lo que quiere decir que se demora veinticuatro minutos con cuarenta y seis segundos más en transportar las electrobombas que con el equipo centriflux.

El promedio de duración de transporte a los equipos verticales 3-4-5-6 mediante electrobombas es de cuarenta y cuatro minutos cuarenta y nueve segundos; valor que equivale al

doble de tiempo respecto con el transporte mediante el equipo Centriflux, más exactamente veintitrés minutos con treinta y seis segundos de diferencia.

Según los datos de la tesis de la ingeniera lida, se necesitan 4,31 L de agua por kg de café en el transporte de café mojado a los equipos de secado verticales mediante el uso de electrobombas, valor muy alto en comparación al uso del equipo Centriflux como transportador, pues este, en lugar de demandar agua, le extrae al café 1,20% de agua.

La duración de secado en equipos verticales mediante el uso de la electrobomba sumergible como transportadora con capacidad total es de veinticuatro horas un segundo, valor igual en el proceso de secado utilizando como medio de transporte el equipo centriflux. Esto puede ser debido a factores como la temperatura o pausas en el proceso de secado.

El tiempo promedio de secado en las verticales cuando los equipos tienen un solo nivel o dos (capacidad parcial) utilizando el sistema de electrobombas es de 19 horas con 36 minutos; lo que significa que la duración de secado es de Dos horas con tres minutos más que con el uso del equipo centriflux.

8. Conclusiones

El transporte de café a los equipos verticales mediante el equipo Centriflux es mucho más rápido, pues se realiza en menos tiempo, comparado con las electrobombas sumergibles.

El equipo Centriflux no le ocasiona daños significativos a la estructura del grano.

El equipo Centriflux mediante el transporte de café mojado a los equipos de secado, le extrae al café 1,20% de humedad superficial, humedad que reduce la duración del secado.

El uso de las electrobombas como transportadoras de café mojado requerían de agua, la cual ocasionaba mayores problemas de taza. Además, al discontinuar el transporte por electrobombas, se contribuye con el ahorro de agua que necesita el planeta en este momento.

El equipo Centriflux es más eficiente ya que reduce tiempos de secado debido a la reducción de humedad, acelera el proceso de transporte ya que transporta 182,9 kg/min en promedio, mientras que las electrobombas 81,3 kg /min; es decir, mayor volumen de café en unidad de tiempo, teniendo también mayor facilidad al momento ser manipulada por el operador.

El equipo Centriflux es más eficiente y rentable.

9. Recomendaciones

La principal y más importante recomendación hace referencia al manejo del líquido extraído por el equipo centriflux, ya que este contamina el afluente al que es transportado. Es importante realizar algún tipo de tratamiento a este, ya que la contaminación no es solo en el agua sino también en el aire.

10. Bibliografía

Café para cardiólogos. (2005, Abril 20). Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n8/v11n8a1.pdf>

Cenicafé. (s.f). secado del café (capitulo N°4). Recuperado de
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/882/5/4.%20Secado%20del%20caf%C3%A9.pdf>

Centriflux la aliada clave en el beneficiado de café. (2016). SEAGRO la solución para el Agro.
Recuperado de <https://www.slideshare.net/SEAGROServiciosAgrop/seagro-informacentriflux-la-aliada-para-el-beneficio-de-cafe>

Centriflux. (s.f). Origen do Brasil- máquinas agrícolas. Recuperado
<http://www.origemdobrasil.com.br/catalogos/Cat%C3%A1logo%20Centriflux.pdf>

Coffe IQ. (2017). Secado de café al sol y mecánico. Recuperado de
<http://www.coffeeiq.co/secado-de-cafe-al-sol-y-mecanico/>.

Coocentral. 2019. Quienes somos. Recuperado de <http://coocentral.com/nosotros/>

De máquinas y herramientas. (2018). *Bombas de agua sumergibles: mantenimiento y cuidados preventivos*. Recuperado de <http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/bombas-de-agua-sumergibles-mantenimiento-y-cuidados-preventivos>

Ejemplos de instalaciones. (s.f). Manual de instrucciones centriflux. Recuperado de
<https://www.slideshare.net/SEAGROServiciosAgrop/manual-de-operacin-y-manejo-centriflux>

Franco, C., y Velásquez, F. (2000). Como mejorar la eficiencia operativa utilizando el trabajo en equipo. *Estud.gerenc*, 16(76). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232000000300002

García, C., Dussan, S., y Gutiérrez, N. (2012). Uso de horno microondas en la determinación de contenido de humedad: yuca, ñame y plátano. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10(1), 60-66.

Garzón crece gracias a la industrialización del café. (16 de marzo del 2012). *La Nación*.

Gotteland, M., (2007). *Algunas variedades sobre el café*. *Chil Nutr*, 34(2), 105-115. doi: 10.4067/S0717-75182007000200002

López, E. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e investigación*, 26(1). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000100003

López, R., y Jaramillo E. (1973). CENTRALES DE BENEFICIO DE CAFÉ un ejemplo práctico: la central experimental de Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

Márquez, L. (1993). Secado de los granos. Recuperado de <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S00.htm#Contents>

Márquez, L. (Ed). (1993). Secado de los granos. Santiago, Chile: oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

Martínes, E. (2012). Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos. Centro nacional de metrología. Recuperado de

<http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5%20Importancia%20metrolog%C3%ADa%20humedad%20en%20granos%20final.pdf>

Molina, A. (2017). ¿Cómo mejorar la calidad al secar cafés lavados? PERFECT DAILY GRIND. Recuperado de <https://www.perfectdailygrind.com/>

Ospina, J. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Departamento de ingeniería agrícola*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Parra, A., Roa, G., y Oliveros, C. (2008). *SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 12(4). doi: 10.1590/S1415-43662008000400013

Parra, A., Roa, G., y Oliveros, C. (2008). *SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 12(4). doi: 10.1590/S1415-43662008000400014

Patiño, M., Pencue, Edgar., y Vargas, R. (2016). *Determinación del contenido de humedad en granos de café pergamino seco utilizando Speckle dinámico*. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 67(2). doi: 10.18684/BSAA(14)84-91

Peñuela, A. (2011). *Centro nacional de investigaciones del café*. Recuperado de https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/comercializacion/cultivemos_cafe_cafe_pergamino_humedo

Pineda, C., Reyes, C., Oseguera, F. (2017). Beneficiado y calidad del café. El cafetero. Recuperado de https://issuu.com/revistaelcafetalero/docs/guia_beneficiado_cenicafe

- Puerta, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. Centro Nacional de investigaciones de café. *Cenicafé*, 78-88.
- Ramírez, A., Álvarez, F., y Correa, A. (1998). La centrifugación como sistema separador de agua y café en un proceso continuo. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 51(2), 67.
- Tirado, D., Montero, P., Acevedo, D. (2015). *Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. Información tecnológica*, 26(2), 3-10. doi: 10.4067/S0718-07642015000200002
- Torres, L. (2012). *Determinación de tiempos y variables que inciden en el proceso de secado del café en el parque industrial del café “Coocentral”* (trabajo de grado). Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.