



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 26 Marzo 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

NEIVA- HUILA

El suscrito:

JUAN MANUEL SILVA CHAVARRO, con C.C. No. 1083881140, autor del trabajo de grado en modalidad de pasantía supervisada titulado DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE DOS MÓDULOS ECOMILL PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN GRUPOS ASOCIATIVOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA. Presentado y aprobado en el año 2018-1 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA; Autorizo 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.

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.

JUAN MANUEL SILVA CHAVARRO:

Firma: Joan M. Silva

Vigilada Mineducación



DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE DOS MÓDULOS ECOMILL PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN GRUPOS ASOCIATIVOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SILVA CHAVARRO	JUAN MANUEL

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MARTINEZ CASTRO	VICTOR MANUEL

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: PITALITO AÑO DE PRESENTACIÓN: 2018 NÚMERO DE PÁGINAS:

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ___ Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general X Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___
Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: MICROSOFT OFFICE-WORD

MATERIAL ANEXO:

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.



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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>ECOMILL</u>	<u>ECOMILL</u>	6. _____	_____
2. <u>BENEFICIO HÚMEDO</u>	<u>WET PROCESSING</u>	7. _____	_____
3. <u>CAFÉ</u>	<u>COFFEE</u>	8. _____	_____
4. <u>VARIEDAD</u>	<u>VARIETY</u>	9. _____	_____
5. _____	_____		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El objetivo de este trabajo fue realizar el diagnóstico y evaluación de las características de funcionamiento general de dos módulos ECOMILL 1500 para el beneficio húmedo de café en igual número de asociaciones en el sur del Departamento del Huila, en el que se verificaron los criterios de diseño y se evaluó cinco variables, con un diseño definido por una unidad experimental de 100 kg de café cereza variedad Castillo y Caturra, y cinco (5) repeticiones para las variables Flujo de café lavado, Volumen específico de agua y Consumo de Potencia. No obstante, para las variables Remoción de mucílago y Daño mecánico del grano, el diseño por unidad experimental fue de 30 kg con igual número de repeticiones. Los tratamientos consistieron en dos Lavadores ECOMILL 1500, (RV Rotor de varillas del grupo asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y RA Rotor de agitadores del grupo ASOPROCABE).

Se encontró que el flujo de café lavado es superior en el tratamiento RV (1952,8 kg/h), de igual manera, el volumen específico de agua (0,32 L/kg c.p.s.). En cuanto, a la potencia se obtuvo menor consumo en RA (1499,46 W), sin embargo, cuando se relaciona la potencia y el flujo de café lavado, se encuentra que RV (0,88 W.h/kg de café lavado) es menor. El porcentaje de remoción de mucílago es superior al 93% en ambos tratamientos. El daño mecánico presentó valores de porcentajes superiores a los referenciados en el Manual del Cafetero Colombiano (2013). En RA presentó un daño mecánico demasiado alto (2,10 %).

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The objective of this work was to carry out the diagnosis and evaluation of the characteristics of the general functioning of the modules. ECOMILL 1500 for the wet processing of coffee in the same number of associations in the south of the Department of Huila, in which the design criteria were verified and five variables were evaluated, with a defined design for an experimental unit of 100 kg of coffee variety Castillo and Caturra, and five (5) repetitions for the variables flow of washed coffee,



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

specific volume of water and power consumption. However, for the variables Mucilage Removal and Mechanical Grain Damage, the design per experimental unit was 30 kg with the same number of repetitions. The treatments consisted of two ECOMILL 1500 Washers, (RV Rod Rotor of the associative group SPECIAL SOLOMON CAFÉ and RA Agitators Rotor of the ASOPROCABE group).

It was found that the flow of washed coffee is higher in the RV treatment (1952.8 kg / h), in the same way, the specific volume of water (0.32 L / kg c.p.). Regarding the power, lower consumption was obtained in RA (1499.46 W), however, when the power and flow of washed coffee is related, it is found that RV (0.88 Wh / kg of washed coffee) lower. The percentage of mucilage removal is greater than 93% in both treatments. The mechanical damage presented values of percentages higher than those referenced in the Manual of the Colombian Coffee Grower (2013). In RA presented a high mechanical damage (2.10%)

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: PhD. Nelson Gutiérrez Guzmán.

Firma: _____

Nombre Jurado: MSc. Bertulfo Delgado Joven

Firma: _____

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.

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.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE DOS MÓDULOS
ECOMILL PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN GRUPOS
ASOCIATIVOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.**

Trabajo de grado para optar al título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

JUAN MANUEL SILVA CHÁVARRO

Huila, 2018

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE DOS MÓDULOS
ECOMILL PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN GRUPOS
ASOCIATIVOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.**

**Trabajo de grado para optar por el título de:
INGENIERO AGRÍCOLA**



Autor:

JUAN MANUEL SILVA CHÁVARRO

Director: VICTOR MANUEL MARTINEZ CASTRO
Docente de Ingeniería Agrícola (USCO).

Supervisor: LUIS ARMANDO MAMÍAN MESA
Gerente AGROSUR

Pitalito, 2018

Nota de aceptación



BERTULFO JOVEN DELGADO

Jurado



NELSON GUTIÉRREZ GUZMÁN

Jurado

ABRIL, 2018.

DEDICATORIA

A Dios, por llenar espiritualmente mi ser y acompañarme en este caminar de senderos llenos de incertidumbres...

A mis padres, MIRYAM SOFÍA CHÁVARRO HOYOS y JOSÉ ELISEO SILVA, por darme la vida y apoyo incondicional, por mostrarme su amor infinito en el día a día, por su fortaleza inquebrantable, su confianza infinita y su valentía para afrontar la vida en los momentos difíciles, por los consejos invaluable que me han permitido crecer como persona y profesional.

A mis hermanas Pao, Nanny y Ena, y mi sobino Juan José, quienes han sido un gran apoyo y compañía en todos estos años de tiempos muy felices y muchas experiencias.

A mis profesores, quienes con sus grandes enseñanzas, lecciones, experiencias y motivaciones han sido un gran ejemplo del trabajo incansable para alcanzar las metas propuestas y emprender nuevos retos en busca del saber científico...

A mis compañeros y amigos de quienes recuerdo el gran trabajo en compañía y la lucha por conseguir una meta trazada hace muchos años.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer infinitamente a Dios por permitirme ser quien soy, por ser apoyo en los momentos más difíciles y por nunca desampararme.

A mi familia, amigos, compañeros y docentes por todas las experiencias vividas, por hacer parte de este gran proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos a mi director VICTOR MANUEL MARTINEZ CASTRO por su apoyo profesional e incondicional, por su mirada ética al impulso de éste trabajo.

A mi Universidad Surcolombiana, La Facultad de Ingeniería y El Programa de Ingeniería Agrícola que institucionalmente ha realizado de manera oportuna cada uno de los procesos para que este sueño de ser Ingeniero sea una realidad, por hacer presencia en nuestro municipio permitiendo la formación integral de los nuevos profesionales de la región sur del país; a los funcionarios por su disposición y colaboración, a la señora Gladis por su espíritu de servicio.

A La CORPORACIÓN CENTRO PROVINCIAL DE GESTIÓN AGROEMPRESARIAL DEL SUR DE DEPARTAMENTO DEL HUILA AGROSUR, en cabeza del Gerente LUÍS ARMANDO MAMIAN MESA, quien con su apoyo y disposición de servicio contribuyó para complementar mi formación y la realización de éste proyecto.

A las Asociaciones CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE por su colaboración en las diferentes etapas del proyecto, Al Caficultor Albey Valencia y Caficultora Ana Gloria Rodríguez por su disposición y servicio.

A todos quienes de una manera u otra han sido base para poder culminar mis estudios profesionales, por motivar en circunstancias donde un ser humano lo requiere para salir adelante con sus sueños y esperanzas de forjar un mejor porvenir.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
3	OBJETIVOS	15
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4	REVISIÓN DE LITERATURA	15
4.1	CAFÉ COLOMBIANO.....	15
4.2	BENEFICIO DEL CAFÉ.....	17
4.2.1	BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA	17
4.2.2	SECADO.....	22
5	METODOLOGÍA.....	23
5.1	LOCALIZACIÓN DE LOS MÓDULOS ECOMILL	23
5.1.1	CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD	24
5.2	MATERIALES Y EQUIPOS	25
5.2.1	MÓDULO ECOMILL 1500.....	25
5.2.2	VARIEDAD DE CAFÉ	25
5.2.3	EQUIPOS DE MEDICIÓN	25
5.3	MÉTODOS	26
5.3.1	DIAGNÓSTICO DE LA MÓDULO ECOMILL 1500	27
5.3.2	CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ.....	28
5.3.3	DESPULPADO Y FERMENTADO.....	28
5.3.4	VARIABLES EVALUADAS EN EL MÓDULO ECOMILL.....	28

5.3.5	FLUJO DE CAFÉ LAVADO	29
5.3.6	VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA EN EL LAVADO.....	29
5.3.7	CONSUMO POTENCIA.	30
5.3.8	REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.....	30
5.3.9	DAÑO MECÁNICO EN EL GRANO.	32
5.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1	DIAGNÓSTICO.....	34
6.1.1	DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS ECOMIL 1500	35
6.2	CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ	39
6.3	EVALUACIÓN DEL MÓDULO ECOMILL 1500	40
6.3.1	FLUJO DE CAFÉ LAVADO	41
6.3.2	VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA.	41
6.3.3	CONSUMO DE POTENCIA DEL LAVADOR.....	42
6.3.4	REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.....	43
6.3.5	DAÑO MECÁNICO DEL GRANO.....	43
6.4	DISCUSIÓN	44
6.4.1	FLUJO DE CAFÉ LAVADO	44
6.4.2	VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA.	46
6.4.3	CONSUMO DE POTENCIA DEL LAVADOR.....	48
6.4.4	REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.....	50
6.4.5	DAÑO MECÁNICO DEL GRANO.....	51
7	CONCLUSIONES.....	53
8	RECOMENDACIONES.....	55

9	BIBLIOGRAFÍA.....	56
10	ANEXOS.....	59
	ANEXO 1 Especificaciones técnicas módulo ECOMILL 1500, Fabricado por la Empresa PROINDUHUILA.	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación Grupos asociativos.....	23
Tabla 2. Descripción de las características climáticas de los Municipios de Palestina y Pitalito.....	24
Tabla 3. Resultados de la evaluación del Flujo de café Lavado Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÈ ESPECIAL SALOMÒN RV y G.A. ASOPROCABE RA. ..	41
Tabla 4. Resultados de la evaluación de Consumo de Agua específico, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÈ ESPECIAL SALOMÒN RV y G.A. ASOPROCABE RA.	42
Tabla 5. Resultados de la evaluación Potencia de los Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÈ ESPECIAL SALOMÒN RV y G.A. ASOPROCABE RA.	42
Tabla 6. Resultados de la evaluación Remoción de mucílago, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÈ ESPECIAL SALOMÒN RV y G.A. ASOPROCABE RA. ..	43
Tabla 7. Resultados de la evaluación Daño mecánico del grano de café, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÈ ESPECIAL SALOMÒN RV y G.A. A	44
Tabla 8. Resumen estadístico del Flujo de café lavado (kg/h).....	44
Tabla 9. Resumen estadístico de Volumen específico de Agua (kg/h).	46
Tabla 10. Resumen estadístico del Consumo de Potencia (W).	48
Tabla 11. Resumen estadístico de Remoción de mucílago (%).	50
Tabla 12. Resumen estadístico del Daño mecánico del grano (%).	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tecnología ECOMILL® desarrollada en CENICAFÉ (Oliveros et al., 2011; Oliveros, 2012). a. ECOMILL® 500; b. ECOMILL® 1.500; c. ECOMILL® 3.000. .	21
Figura 2. Localización de los módulos ECOMILL 1500 de los grupos Asociativos ASOPROCABE y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN.	24
Figura 3. Diagrama del proceso de beneficio húmedo de los grupos Asociativos ASOPROCABE y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN. Fuente: propia.	26
Figura 4. Esquema general de los módulos ECOMILL 1500 para el grupo Asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN.	36
Figura 5. Esquema módulo ECOMILL 1500 CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV....	37
Figura 6. Esquema módulo ECOMILL 1500 G. A. ASOPROCABE RA.	37
Figura 7. Lavador ECOMILL 1500 de agitadores RA, G.A. ASOPROCABE, Vereda Betania, Palestina.	38
Figura 8. Lavador ECOMILL 1500 de varillas, G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV, Bruselas, Pitalito.	38
Figura 9. Caracterización de variedad de Café Castillo, para la Evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV.	39
Figura 10. Caracterización de variedad de Café Caturra, para la Evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. ASOPROCABE RA.	39
Figura 11. Caracterización de café cereza para la evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV.	39
Figura 12. Caracterización de café cereza para la evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. ASOPROCABE RA.	40
Figura 13. Medida de Flujo de café lavado en los ECOMIL 1500.	45
Figura 14. Media de Volumen específico de agua en los ECOMIL 1500.	47
Figura 15. Media de Potencia en los ECOMIL 1500.	49
Figura 16. Media de Remoción de mucílago en los ECOMIL 1500.	51
Figura 17. Media de Daño mecánico del grano (%).	52

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar el diagnóstico y evaluación de las características de funcionamiento general de dos módulos ECOMILL 1500 para el beneficio húmedo de café en igual número de asociaciones en el sur del Departamento del Huila, en el que se verificaron los criterios de diseño y se evaluó cinco variables, con un diseño definido por una unidad experimental de 100 kg de café cereza variedad Castillo y Caturra, y cinco (5) repeticiones para las variables Flujo de café lavado, Volumen específico de agua y Consumo de Potencia. No obstante, para las variables Remoción de mucílago y Daño mecánico del grano, el diseño por unidad experimental fue de 30 kg con igual número de repeticiones. Los tratamientos consistieron en dos Lavadores ECOMILL 1500, (**RV** Rotor de varillas del grupo asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y **RA** Rotor de agitadores del grupo ASOPROCABE).

Se encontró que el flujo de café lavado es superior en el tratamiento **RV** (1952,8 kg/h), de igual manera, el volumen específico de agua (0,32 L/kg c.p.s.). En cuanto, a la potencia se obtuvo menor consumo en **RA** (1499,46 W), sin embargo, cuando se relaciona la potencia y el flujo de café lavado, se encuentra que **RV** (0,88 W.h/kg de café lavado) es menor. El porcentaje de remoción de mucílago es superior al 93% en ambos tratamientos. El daño mecánico presentó valores de porcentajes superiores a los referenciados en el Manual del Cafetero Colombiano (2013). En **RA** presentó un daño mecánico alto (2,10 %).

Palabras Claves: ECOMILL, Beneficio húmedo, Café, Variedad.

INTRODUCCIÓN

El café ha sido un producto de exportación de gran importancia e insignia a nivel mundial para nuestro país. Esto significa que la caficultura es un verdadero motor de desarrollo en la economía rural, toda vez que el valor de la cosecha que es de \$5,2 billones se redistribuye como ingreso entre las más de 550 mil familias que habitan en 595 municipios del territorio nacional (Muñoz, 2014).

El Departamento del Huila en la última década ha dado un giro trascendental a la producción de café en el país. De acuerdo con los Anuarios Estadísticos del Sector Agropecuario (2002-2015), el Huila ha alcanzado el primer lugar en la producción desde el año 2013 al 2016, con un promedio de 132.338 toneladas de café cereza en el mismo período. Del mismo modo, el cultivo del café abarca la mayor extensión del área sembrada, 49% respecto al total de los cultivos del territorio departamental. Igualmente, el Municipio de Pitalito se ha convertido en el municipio con mayor producción y extensión del país, además es referente en los concursos de Tasa de la Excelencia con múltiples reconocimientos.

La producción cafetera comprende múltiples actividades, como por ejemplo, la selección de la semilla (variedad), preparación del terreno, siembra, control de arvenses y plagas, fertilización, recolección, beneficio, secado, almacenamiento, entre otras. Botero y Betancourt (2012) relacionan la constante aplicación de inadecuadas prácticas agrícolas en el beneficio del café con la calidad final de la bebida, por lo tanto son aspectos indispensables a tener en cuenta.

En la actualidad del país, se han generado algunas iniciativas con el fin de utilizar de manera eficiente y sostenible los recursos naturales; dichas iniciativas se han dado tanto en los mismos productores como en las Universidades y en el Centro Nacional de Investigación del Café en adelante *CENICAFÉ*. Este último, a través de sus investigaciones plantea que el beneficio en Colombia se realiza por vía húmeda,

comprendiendo las siguientes etapas: despulpado, remoción del mucílago (por fermentación natural o remoción mecánica), lavado y secado. Además, Oliveros, *et Al.*, (2013) relacionan que en atención a las necesidades de los caficultores que en Colombia utilizan el proceso de fermentación natural, así como los requerimientos de compradores en el exterior que exigen café procesado con fermentación natural y los cambios en la legislación ambiental colombiana mediante el Decreto 3930 de 2010 que limita drásticamente los vertimientos puntuales permisibles de los efluentes de los beneficiaderos, por tanto CENICAFÉ diseñó y construyó la tecnología de bajo impacto ambiental ECOMILL.

Esta nueva tecnología ECOMILL se desarrolló en las versiones 500, 1500 y 3000, de acuerdo con Oliveros *et Al.*, (2013), lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua hasta valores entre 0,3 y 0,5 Litros por kilogramo de café pergamino seco (L/kg c.p.s.) y conforme con CENICAFÉ su importancia radica indispensablemente para mitigar el alto impacto de la caficultura tradicional sobre el medio ambiente, controlando hasta el 100% la contaminación.

CENICAFÉ ha otorgado mediante licencia a empresas colombianas la construcción de los módulos ECOMILL, con el compromiso de respetar los diseños establecidos por el mismo Centro. Por tanto, actualmente existen diferentes Fabricantes de esta nueva tecnología. El Municipio de Pitalito es reconocido por su vocación cafetera, en consecuencia se encuentran empresas dedicadas a la construcción de equipos para el beneficio del Café, entre las cuales se encuentra PROINDUHUILA.

La realización de este estudio comprende determinar el diagnóstico las características físicas y el funcionamiento general de dos módulos ECOMILL 1500 para el beneficio húmedo del café de dos asociaciones ubicadas en el sur del Departamento del Huila mediante un diagnóstico, conocer las características de

diseño del fabricante y realizar una valoración técnica con los diseños de CENICAFÉ mediante la evaluación de cinco (5) variables.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El interés por el uso de los recursos naturales de manera sostenible es una iniciativa que ha venido tomando fuerza en el sector agrícola debido al deterioro e inadecuado manejo de los mismos. En la cadena productiva del café se ha hecho necesario el diseño de nuevas tecnologías que reduzcan el impacto negativo sobre el medio. CENICAFÉ diseñó un dispositivo mecánico en tres versiones para el beneficio húmedo, denominado ECOMILL 500, 1000 y 1500.

El antiguo Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER ahora Agencia de Desarrollo Rural ADR adjudicó recursos gestionados por el CENTRO PROVINCIAL DE GESTIÓN AGROEMPRESARIAL DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA “AGROSUR” para la construcción de dos centrales comunitarias para el beneficio ecológico del café, las cuales constan de la adquisición de dos módulos ECOMILL 1500 para los grupos asociativos ASOPROCABE del Municipio de Palestina y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN del Municipio de Pitalito, con el fin de fortalecer de la cadena productiva del café en el sur del departamento del Huila. Sin embargo, en la actualidad no existe información o diagnóstico que permita conocer el estado físico y el funcionamiento de los módulos, por lo tanto, se hizo necesario ejecutar el seguimiento a esta nueva tecnología con el fin de obtener información precisa del trabajo que realiza dichos módulos con la medición y comparación de las variables: Flujo de café lavado, Volumen específico de agua, Remoción de mucílago, Consumo potencia y Daño mecánico en el grano que han sido evaluadas previamente por CENICAFÉ en la validación de esta tecnología; del mismo modo, realizar un acompañamiento a los productores en el uso del módulo y por último, el seguimiento de los recursos públicos invertidos en los grupos asociativos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar el diagnóstico y evaluación de las características de funcionamiento general de dos módulos ECOMILL 1500 PROINDUHUILA para el beneficio húmedo del café de igual número de asociaciones en el sur del Huila.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar los criterios de diseño del fabricante PROINDUHUILA y los de CENICAFÉ del módulo ECOMILL 1500.
- Evaluar el flujo de café lavado, volumen específico de agua, remoción de mucílago, Consumo de potencia y daño mecánico de los dos módulos ECOMILL 1500 PROINDUHUILA.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 CAFÉ COLOMBIANO

Café de Colombia, es el café pergamino, café verde, café tostado o bebida de café de la especie *Coffea arabica* L., cultivado y producido en las zonas cafeteras del territorio colombiano (Puerta, 2003).

El café es el cultivo nacional por excelencia y se encuentra establecido a lo largo de la geografía colombiana, especialmente en la zona montañosa. La caficultura se ha convertido en un eje fundamental del campo colombiano, direccionado por la Federación Nacional de Cafeteros FNC que “desde 1927 ha sido el principal gremio de Colombia, con presencia en todas las zonas rurales donde se produce café en

el país. Su eje central es el productor de café y su familia, de forma que su negocio sea sostenible, que las comunidades cafeteras fortalezcan su tejido social y que el café colombiano siga siendo considerado como el mejor del mundo.” y el Centro de Investigación del Café CENICAFÉ creado en 1938, por la FNC, con el objeto de estudiar los aspectos relacionados con la producción en las fincas, la cosecha, el beneficio, la calidad del grano, el manejo y la utilización de los subproductos de la explotación cafetera, y la conservación de los recursos naturales de la zona cafetera colombiana.

La importancia del sector caficultor radica de acuerdo con Muños (2014) en la generación de cerca de 785 mil ocupados directos, equivalentes al 26% del total del empleo agrícola, y concluye que tal es el potencial jalonador del crecimiento en el sector cafetero, que en 2014 cuando el PIB del sector agropecuario creció en 3 por ciento, solamente el café contribuyó con el 56 por ciento de esa variación. Además, en concordancia con el Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2015 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural el cultivo de café para en el mismo período, alcanzó un área sembrada de cercana a las 950 mil hectáreas, 27,2% del área de uso agrícola nacional, por tanto es el producto con mayor participación entre los cultivos registrados.

La caficultura es el reglón productivo más importante sector agrícola del Departamento del Huila y como lo referencia la FNC, los cafeteros huilenses además de ser los principales productores, son los protagonistas y gestores del nuevo Eje Cafetero colombiano o eje de la calidad, conformado además por los Departamentos de Tolima, Cauca y Nariño. En la última década, el Huila ha dado un giro trascendental a la producción del café en el país, alcanzando el primer lugar en la producción desde el año 2013 al 2016, con un promedio de 132.338 toneladas de café cereza en el mismo período (Anuarios Estadísticos del Sector Agropecuario 2014-2015), desplazando los Departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío y Risaralda. El cultivo del café abarca la mayor extensión del área sembrada, con el 49% del total los cultivos del territorio departamental.

De igual manera, el café es la principal actividad económica del Municipio de Pitalito, cubriendo el 50% del territorio agrícola. Pitalito es el mayor productor de café en el país, con más de 13,700 fincas cafeteras, más de 20.000 hectáreas de café y 10,800 familias cafeteras. En el mismo sentido, en el municipio de Palestina la actividad económica más importante sigue representada en el sector de la caficultura, para el 2012 alcanzó un área de 4535,7 ha, es decir el 69% del área entre los cultivos permanentes y semipermanentes, y el 66% entre el total consolidado agrícola de la localidad.

3.2 BENEFICIO DEL CAFÉ

CENICAFÉ (2016) define el beneficio de café como un proceso en el cual se logra la transformación de café en cereza a café pergamino seco mediante la separación de las partes del fruto y secado de los granos, con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria. Para realizarlo se remueven todas las envolturas que cubren los granos como son la pulpa, o epicarpio, y el mucílago, o mesocarpio, y posteriormente se secan los granos desde una humedad de aproximadamente 53% base húmeda hasta un rango entre el 10 y 12%, lo cual permite su conservación en las condiciones naturales (Roa *et Al.*, 1999).

Según Puerta (1999) y el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia (1991) referenciado por Chacón (2001) plantean que existen dos técnicas básicas para beneficiar café con características distintas: las llamadas “vía húmeda” y la “vía seca”, que dan origen a los cafés “lavados” (suaves o finos) y “naturales” (fuertes o brasileños), respectivamente.

3.2.1 BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA

De acuerdo con CENICAFÉ el proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino seco de alta calidad física y en taza. En Colombia se utiliza el beneficio por vía húmeda, que

comprende las siguientes etapas: despulpado, remoción del mucílago (por fermentación natural o remoción mecánica), lavado y secado (CENICAFÉ, 2016), (Puerta, 1999).

3.2.1.1 Despulpado

Es la primera operación de transformación del fruto maduro de café en el proceso de beneficio húmedo. Consiste en la eliminación de la cubierta externa o pulpa del fruto, dejando al descubierto el grano recubierto con el pergamino. En este trabajo se utilizan máquinas llamadas despulpadoras, que pueden ser de discos o de cilindro (Chacón, 2001) (Sanz, *et Al.*, 2013).

3.2.1.2 Fermentación y Remoción del mucílago

La fermentación del mucílago es una etapa intermedia muy importante del proceso de beneficio húmedo del café, en la que el producto de entrada es el café despulpado y el producto resultante es el café con mucílago degradado, el cual está listo para lavar.

El mucílago es una película gelatinosa y con altos contenidos de azúcares, constitutiva del café que queda expuesta cuando el fruto es despulpado, el cual está fuertemente adherida al endocarpio o pergamino. Este procedimiento consiste en retirar el mucílago que cubre el pergamino del café, debido a la necesidad de impedir la aparición de olores y sabores indeseables en el secado del grano, garantizando la inocuidad en el producto. (Torres, 2013) (Sanz, *et Al.*, 2013).

La remoción de mucílago se realiza tradicionalmente por fermentación natural, en presencia de bacterias, hongo y levaduras para degradar el mucílago, y lavado vigoroso con diferentes implementos y agua limpia. Una forma diferente de remover el mucílago consiste en el uso de enzimas para hacer más rápida y controlada la degradación del mucílago, sin afectar la calidad física y organoléptica del producto. Otra manera de remover el mucílago consiste en utilizar medios mecánicos. En ese

aspecto la ingeniería creó un dispositivo para remover mecánicamente el mucílago del café con un bajo requerimiento de energía y con un bajo consumo de agua. (Oliveros & Sanz, 2011).

Con el objetivo de obtener de manera exacta, precisa y objetiva el tiempo de fermentación del mucílago, Peñuela *et Al*, (2012) desarrollaron un recipiente perforado, en forma de cono truncado llamado *Fermaestro*, para mejorar la sensibilidad (visión) a los cambios ligeros de volumen, dados por el aumento de la altura del espacio vacío en la parte superior del dispositivo.



Figura 1 Fermaestro.

3.2.1.3 Lavado

Una vez degradado el mucílago por fermentación natural o por la adición de enzimas, se procede con el lavado, el cual tiene como finalidad principal remover definitivamente el mucílago de los granos de café, con el fin de evitar manchas sobre el pergamino o la aparición posterior de sabores defectuosos. (Sanz, *et Al.*, 2013) (Torres, 2013).

De acuerdo con el *Manual del Cafetero Colombiano* (2013) existen diferentes tecnologías aplicadas en el lavado, las cuales se diferencian principalmente en el tipo de infraestructura utilizada. En el lavado con fermentación tenemos:

➤ **Agitación manual en el tanque**

Sanz *et Al.*, (2013) en el tomo de *Poscosecha y subproductos del Café, Beneficio del Café*, referencia a Zambrano (1993) y Zambrano e Isaza (1994), quienes han determinado que el menor volumen específico de agua (4,17 L/kg de c.p.s.) se logra utilizando un tanque con bordes redondeados y una paleta, denominado tanque tina. Se emplean cuatro enjuagues, cubriendo totalmente la masa con agua limpia en cada uno, y retirando los granos que flotan, de inferior calidad. Si se disponen

adecuadamente estas mieles y se despulpa el café sin utilizar agua se logra controlar el 85% de la contaminación potencial. En CENICAFÉ se ha observado rendimiento de 270 kg/h de café lavado y aguas residuales de lavado con carga de contaminación de 25.946 mg.L-1. Sanz et al. (2007) desarrollaron una paleta para agitar la masa de café durante el lavado del café en el tanque, con la cual se logra reducir la energía utilizada en 41,6% y 29,0% en el primer y segundo enjuagues, respectivamente, con relación a la paleta diseñada por Zambrano (1993).

➤ **Canal de correteo**

Dispositivo hidráulico, generalmente de sección transversal rectangular y ligera pendiente, empleado para lavar, limpiar y clasificar el café (Roa *et al.*, 1999). El café se deposita inicialmente en un tramo del canal, se cubre con una lámina de agua de 2 a 3 cm y se agita con una paleta; al agitar la masa de café y el agua se generan fuertes corrientes que arrastran los granos de mayor densidad en el fondo del canal y los de menor densidad y gran parte de la pulpa en la superficie. El agua utilizada generalmente no se recircula y el volumen específico es mayor que 20 L.kg-1 de c.p.s. En el canal de correteo, en promedio se logra lavar y clasificar 1.500 kg.h-1 de café, utilizando de 20 a 25 m³ de agua .

➤ **Con motobomba sumergible**

Se lava el café pasándolo de un tanque a otro, generalmente cuatro veces, utilizando una motobomba sumergible, con una relación café/agua de 2/3 en masa. El agua se recircula solamente en el tercer enjuague. Como ventajas de esta tecnología de lavado se tiene la alta capacidad, se puede realizar la remoción de material flotante (Café de mala calidad), remoción de mucílago no desprendido durante el proceso de fermentación y posibilidad de transportar el café a los secadores utilizando la bomba sumergible. Como desventajas, el costo de la bomba, el relativo alto consumo específico de agua y el costo de la planta para eltratamiento de las aguas utilizadas.

➤ Tecnología ECOMILL

De acuerdo con Oliveros *et Al.*, (2013), CENICAFÉ desarrolló la tecnología ECOMILL®, en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el Volumen Específico de Agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg⁻¹ de c.p.s. Debido al bajo VEA, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso (Oliveros, 2013).

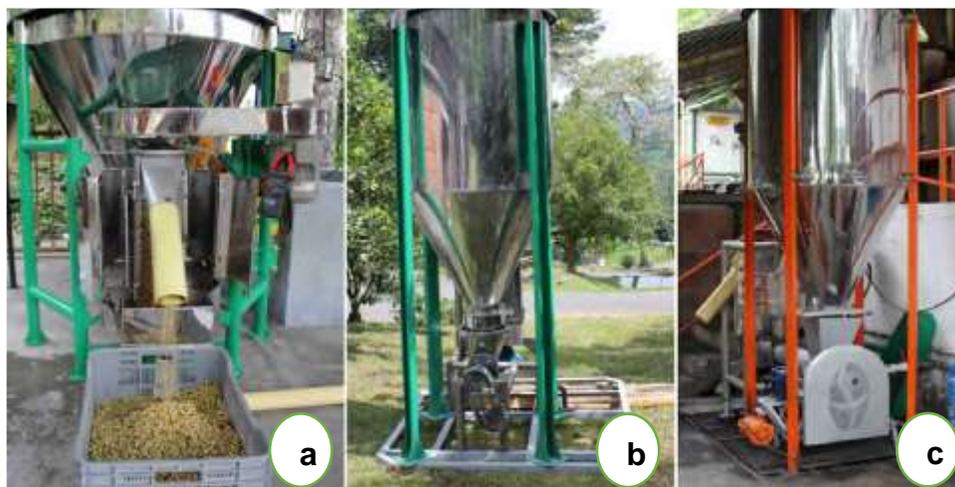


Figura 2. Tecnología ECOMILL® desarrollada en CENICAFÉ (Oliveros et al., 2011; Oliveros, 2012). a. ECOMILL® 500; b. ECOMILL® 1.500; c. ECOMILL® 3.000. Fuente: El Manual del cafetero Colombiano (2013).

La tecnología ECOMILL® consta de:

Un lavador con flujo de café en la dirección vertical ascendente y descarga radial de las mieles a través de las perforaciones de la canasta. El lavador se diseñó a partir de los equipos Deslim desarrollados en CENICAFÉ (Roa *et Al.*, 1999), con modificaciones en el rotor para permitir un mayor flujo de café lavado y disminuir el daño mecánico causado a los granos, con óptimo aprovechamiento del agua y de la potencia empleadas. El caudal de agua requerido por el lavador se regula por

medio de válvulas. El modelo ECOMILL® 500 cuenta con una entrada de agua en la parte superior del lavador. El modelo ECOMILL® 1.500 cuenta con dos entradas de agua, en la parte media y superior, y el ECOMILL® 3.000 dispone de tres entradas de agua, una en cada tercio del lavador.

Un tanque de sección cilíndrica con descarga en forma de cono truncado invertido, con ángulo de 60° respecto a la horizontal y descarga con diámetro de 22cm, para permitir el flujo del café en punto de lavado por gravedad. El tanque se fabrica preferiblemente en lámina de acero inoxidable calibre 18, referencia 430, o en otros materiales como plástico, para disminuir costos, sin afectar su resistencia mecánica (Oliveros, *et Al.*, 2013).

Un alimentador de café al lavador, constituido por un tornillo sinfín con carcasa desmontable, para permitir la limpieza al finalizar el lavado del café. En la descarga de café al lavador se colocó un ducto de igual diámetro que la carcasa en forma de T invertida, para disminuir los daños causados a los granos por el rotor del lavador (Oliveros, *et Al.*, 2013).

3.2.2 SECADO

El secado consiste en la deshidratación del grano de café pergamino entre el 12 - 10 % de humedad para preservarlo almacenado. El secado es considerado una de las etapas del beneficio del café en la cual se genera mayor cantidad de defectos en calidad física y en taza Oliveros *et Al.*, (2009). El secado es realizado de forma natural o mecánicamente (López, 2006) (Oliveros, *et Al.*, 2013).

➤ Secado Natural

El secado Natural consiste en la extracción de humedad del grano mediante el uso de la energía solar. Existen múltiples diseños de estructuras destinadas al secado del café, sin embargo las mayores limitantes para este sistema son el flujo de café de la finca y las condiciones climáticas, por lo tanto el período de secado es variado.

➤ Secado Mecánico

De acuerdo con CENICAFÉ, el secado mecánico del café se hace en cámaras en la cuales se introduce aire caliente a máximo 50°C, impulsado por un ventilador, el cual atraviesa la masa de café. El aire puede calentarse con estufas y quemadores, entre otros, que funcionan con ACPM, Gas natural, carbón mineral, cisco de café, arroz y energía eléctrica. En los silos, el secado demora normalmente entre 25 y 30 horas (CENICAFÉ, 2012).

4 METODOLOGÍA

4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS MÓDULOS ECOMILL

La verificación y evaluación de los módulos ECOMILL se realizó en el sur del departamento de Huila, en la jurisdicción de los Municipios de Palestina, Vereda Betania y Pitalito, Vereda Hacienda, Corregimiento de Bruselas (Ver Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1 Ubicación Grupos asociativos.

NO.	GRUPO ASOCIATIVO	MUNICIPIO	VEREDA	FINCA	COORDENADAS		ALTURA (m.s.n.m.)
					LATITUD	LONGITUD	
1	ASOPROCABE	Palestina	Betania	El mirador	1°44'30.13"	76°8'39.27"	1.635
2	CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN	Pitalito (Bruselas)	Hacienda	Villa Valentina	1°47'20.00"	76°11'27.17"	1.756

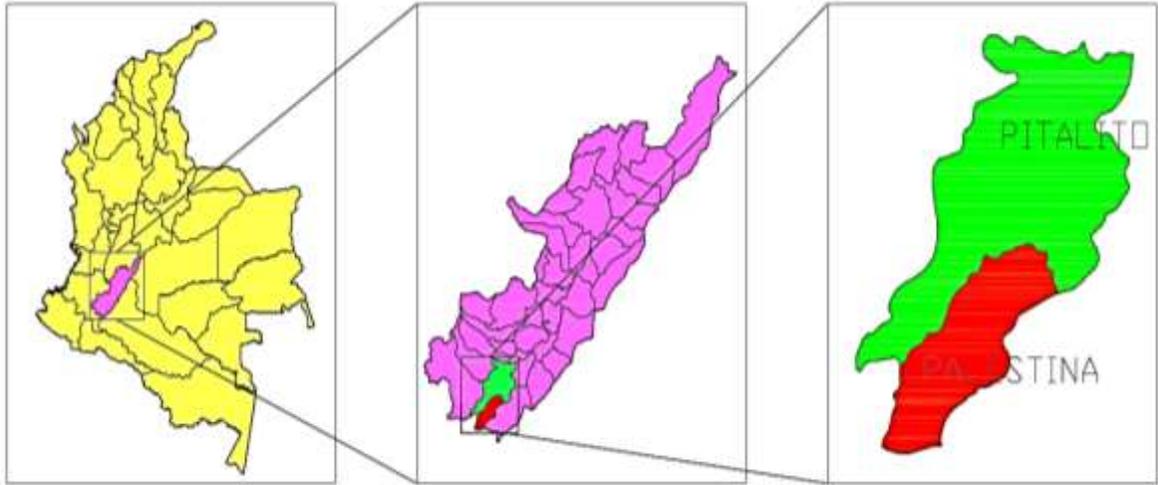


Figura 3. Localización de los módulos ECOMILL 1500 de los grupos Asociativos ASOPROCABE y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD

Tabla 2. Descripción de las características climáticas de los Municipios de Palestina y Pitalito.

MUNICIPIO	UBICACIÓN	CLIMA
PALESTINA	Está ubicado en el extremo sur del Departamento del Huila sobre una zona limítrofe con el Departamento del Cauca, encontrándose a 1° 44' latitud Norte y 76° 07' longitud Oeste. El Municipio limita Por el Norte: con el Municipio de Pitalito. Por el Sur: con el Departamento del Cauca. Por el Oriente: con el Municipio de Acevedo. Por el Occidente: con el Municipio de Pitalito. Cuenta con un área aproximada de 346 Km².	Palestina abarca una Altitud que va desde los 1300 hasta los 3000 m.s.n.m. Temperaturas que oscilan entre 18 y 22 °C en la parte baja y de 12 a 16 °C en la parte más alta. Cuenta con precipitaciones de 1600 a 3.000 mm. Y presenta una de las humedades relativas más alta con un promedio de 86-92%.
PITALITO	Pitalito está localizado al sur del departamento del Huila. Limita al norte con Timaná, Elías y Saladoblanco; al occidente con Isnos y San Agustín; al sur con el Municipio de Palestina y el departamento del Cauca y al oriente con Acevedo.	Pitalito se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1200 mm, con una humedad relativa del 79% y una temperatura de 22°C en el Valle y 18°C en la parte montañosa. Comprende rangos altitudinales entre 1200 a 2408 m.

Fuente: Planes de Desarrollo Municipal de Palestina y Pitalito vigencia (2016-2019), Páginas web de los mismos municipios, y Perfil económico del Municipio de Pitalito.

4.2 MATERIALES Y EQUIPOS

4.2.1 MÓDULO ECOMILL 1500

Módulo ECOMILL 1500 fabricado por la empresa laboyana PROINDUHUILA de acuerdo a los diseños establecidos por la Federación Nacional de Cafeteros FNC y otorgada mediante Licencia.

4.2.2 VARIEDAD DE CAFÉ

El café utilizado para la evaluación de los módulos ECOMILL 1500 del grupo Asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN proviene de las Finca Villa Valentina donde se cultiva la variedad Castillo, el lote se encuentra a una altura de 1756 msnm y temperatura promedio de 17 °C, y del grupo asociativo ASOPROCABE de la Finca El mirador donde se cultiva variedad Caturra, sobre los 1635 msnm de altura y temperatura promedio de 18 °C. De acuerdo con los propietarios ambas variedades provienen de semillas certificadas por el Comité de cafeteros seccional Pitalito. El café se clasificó mediante el método de flotación y se caracterizó mediante la recolección tres (3) muestras representativas de 1kg cada una, para realizar la caracterización del lote de café cereza con que se evaluó los módulos ECOMILL 1500 de los grupos asociativos.

4.2.3 EQUIPOS DE MEDICIÓN

1. Fermaestro, dispositivo desarrollado Peñuela *et Al.*, (2012) y avalado por la FNC y CENICAFÉ.
2. Balanza digital, marca TRAVELER referencia OHAUS TA1501 con rango de 1 a 1.500 g, y resolución de 0,1 g.
3. Balanza digital, marca SILVER MAX referencia SM 101 con rango de 1 a 500 Kg, y resolución de 0,01 Kg.
4. Cronómetro Kadio referencia KD-2005, con resolución de 0,01 s.

5. Pinza Amperimétrica digital marca UNI-T referencia UT200A, con rango de Tensión de 0 a 600 V, y de Intensidad de 0 a 20 ó 200 A, con resolución de 0,01 A.
6. Recipiente plástico de capacidad de 5 L.
7. Cámara fotográfica de celular Motorola Moto G, con resolución de 8 Mpx.

4.3 MÉTODOS

Caracterización de las actividades realizadas en el beneficio húmedo del café en los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE:

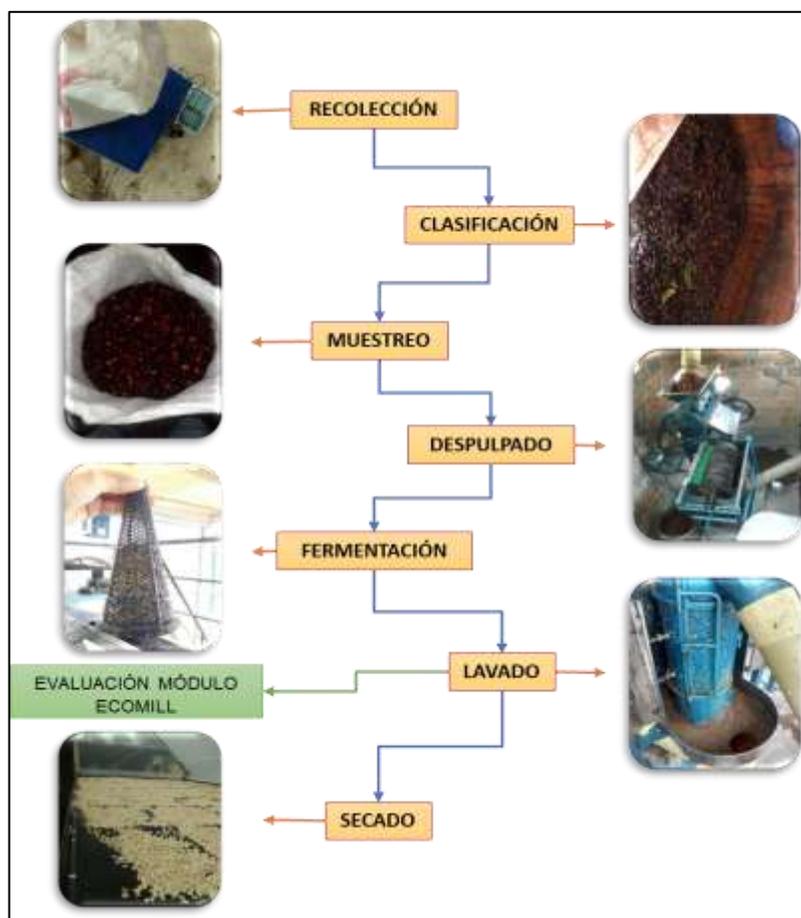


Figura 4. Diagrama del proceso de beneficio húmedo de los grupos Asociativos ASOPROCABE y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN. Fuente: propia.

En la **Figura 3** se presentan las actividades que se desarrollaron en las fincas de los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE para la evaluación de los módulos ECOMILL 1500, entre las cuales comprende la recolección manual de los frutos de café de las variedades Castillo y Caturra, respectivamente. Esta actividad es realizada cada 15-20 días. Seguidamente se realizó el pesaje y registro, seguidamente se realizó el proceso de clasificación por el método de flotación. El diseño experimental consistió en definir la unidad experimental en 100 kg de café cereza con cinco (5) repeticiones para la evaluación de las variables Flujo de café lavado, Volumen específico de agua y Consumo de Potencia en los Lavadores ECOMILL 1500 en los tratamientos **RV** Rotor de Varillas del grupo asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y **RA** Rotor de Agitadores del grupo ASOPROCABE. No obstante, para la evaluación de las variables Remoción de mucílago y Daño mecánico del grano el diseño experimental cambió en la cantidad de café cereza en la Unidad experimental a 30 Kg con igual número de repeticiones (5).

El muestreo se realizó de acuerdo a la variable a evaluar, con el respectivo pesaje y codificación. Posteriormente se realizó el despulpado conduciendo la muestra hasta el respectivo tanque de fermentado. El proceso de fermentado se desarrolló con la ayuda del dispositivo FERMAESTRO. Luego se ejecutaron las evaluaciones y mediciones de las variables en el proceso de lavado, Por último, se registraron los parámetros y se llevó las muestras al proceso de secado solar.

4.3.1 DIAGNÓSTICO DE LA MÓDULO ECOMILL 1500

El diagnóstico de los módulos ECOMILL1500 se realizó mediante revisión de los componentes y parámetros referenciados en la tesis "*Diseño y construcción de tres máquinas para el lavado mecánico del café con fermentación natural utilizando la tecnología DESLIM en el centro nacional de investigaciones de café CENICAFÉ*" (Torres, 2013) y en las respectivas centrales de beneficio de los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN Y ASOPROCABE, con los objetivos de conocer el

estado físico y funcional de los componentes de los módulos ECOMILL 1500 PROINDUHUILA y verificar los criterios de diseño del módulo.

4.3.2 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ

La caracterización de café cereza se realizó mediante la toma de tres muestras de la recolección de los frutos de café de los lotes de las fincas Finca Villa Valentina y El mirador de los grupos Asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE, respectivamente. Posteriormente, se clasificó mediante observación visual los frutos en cinco (5) grupos, Café verde, pintón, maduro, sobremaduro y seco, pesándolos y determinando el respectivo porcentaje en la muestra.

4.3.3 DESPULPADO Y FERMENTADO

Los frutos de café se despulparon, y el café en baba se clasificó por medio de una zaranda circular, para retirar los frutos no despulpados, principalmente pintones, y pulpa. Las muestras se empacaron en *costales de fibra*, las cuales fueron dispuestas en el tanque de fermentación, con el café despulpado de la jornada de recolección del mismo día, para tener las mismas condiciones.

El tiempo de fermentación de mucílago se determinó con el dispositivo llamado *Fermaestro* desarrollado por Peñuela *et Al.*, (2012).

4.3.4 VARIABLES EVALUADAS EN EL MÓDULO ECOMILL

Para la evaluación de las cinco variables Flujo de café lavado, Volumen específico de agua en el lavado, Remoción de mucílago, Consumo potencia y Daño mecánico en el grano, en los módulos ECOMILL 1500 de los tratamientos **RA** y **RV** se realizó la clasificación de los frutos de café cereza mediante el método de flotación, el cual consiste en adicionar agua a los frutos recolectados en un tanque eliminando los frutos que quedan suspendidos en la superficie de agua. Cada muestra tuvo

presencia frutos maduros de café cereza, sin frutos verdes, secos o vanos, considerado a partir de criterios de homogeneidad y representatividad en cada una.

El tiempo de despulpado se realizó antes de seis (6) horas después de la recolección, con el propósito de reducir el efecto sobre fermentación en el grano.

4.3.5 FLUJO DE CAFÉ LAVADO

La evaluación del flujo de café lavado se llevó a cabo con la unidad experimental. Los frutos de café clasificados se despulparon en una máquina de cilindro horizontal marca PROINDUHUILA, referencia N°. 4 ½ capacidad de 1500 kilogramos de Café cereza por hora (kg cc/h). Luego del proceso de fermentación y definir el punto de lavado, la muestra se condujo al lavador ECOMILL 1500 PROINDUHUILA para los dos tratamientos, registrando el tiempo de lavado con el Cronómetro Kadio referencia KD-2005, con resolución de 0,01 s y la masa de cada café lavado libre de agua en el mismo tiempo.

4.3.6 VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA EN EL LAVADO.

Luego de indagar a los productores sobre la cantidad de agua en el lavado, se determinó mediante medición el caudal de entrada al lavador de 5,32 y 5,27 L/s en promedio para los tratamientos según lo recomendado por Oliveros *et Al.*, (2013).

Para determinar el volumen específico de agua en el lavado de se verificó el caudal **Q** de entrada al módulo del lavador ECOMIL 1500, mediante aforo en un recipiente plástico de volumen de cinco (5) litros, y se registró el tiempo de llenado con cinco repeticiones. Seguidamente, se registró el tiempo de lavado en los tratamientos, luego del proceso de secado se pesó la cantidad de café pergamino seco y por último, se calculó la cantidad de agua necesaria para el procesamiento en L/kg c.p.s.

4.3.7 CONSUMO POTENCIA.

Para hallar el consumo de potencia del Lavador ECOMILL 1500, se realizó la medición de Tensión (**T**) (V) e Intensidad (**I**) (A) con el equipo Pinza Voltiamperimétrica digital **UNI-T** referencia **UT202**, con rango de Voltios AC de 2V a 600 V. Corriente AC 2A a 400A, en el toma corriente donde se conecta el lavador ECOMILL 1500 y en las fases de la conexión del Motor eléctrico monofásico marca WEG de inducción de 110 – 220 V con una potencia nominal de 3 hp (2,2 KW) del lavador ECOMILL 1500, con dos (2) repeticiones a los 10,20,30,40,50 y 60 segundos, después de iniciar el lavado. Posteriormente, mediante la **Ecuación 1** se determinó la Potencia consumida por el Lavador.

$$P = T * I \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

P: potencia consumida por el Lavador ECOMILL 1500.

T: Tensión en voltios (V).

I: Intensidad en amperios (A).

4.3.8 REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.

Para el cálculo de remoción de mucílago se desarrolló de acuerdo a la metodología propuesta por Mejía *et Al.*, (2007), sin embargo, se modificó debido a que se le hizo seguimiento y registro de masa partiendo de treinta (30) Kg de café cereza, con lo que el tamaño de las muestras de café despulpado, pasaron de 1 a 16,6 Kg aproximadamente.

El procedimiento se desarrolló de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Se pesaron cinco (5) muestras de café cereza, cada una de treinta (30) Kg, con los respectivos códigos, para registro y seguimiento.
2. Cada muestra de café recién despulpado (m_{cd}) se pesó y registró.

3. El tiempo de fermentado se determinó con el dispositivo llamado *Fermaestro* desarrollado Peñuela *et Al.*, (2012) y avalado por CENICAFÉ.
4. Se determinó el Contenido inicial de mucílago (**M**) mediante la **Ecuación 2**.

$$M = \frac{m_{cd} - m_{sm}}{m_{ms}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

m_{cd}: Masa del a muestra de café despulpado(kg).

m_{sm}: Masa de la muestra de café sin mucílago (kg).

5. Se estimó el Mucílago remanente (**M_{mr}**) mediante la **Ecuación 3**.

$$M_{mr} = M_{cdIE} - M_{cdl} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

M_{cdIE}: Masa de café después del lavado con el ECOMILL (Kg).

M_{cdl}: Masa de café después del lavado (4 enjuagues) (Kg).

6. Se halló la masa inicial del mucílago (**M_{mi}**) mediante la **Ecuación 4**.

$$M_{mi} = M * M_{cdl} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

M_{mi}: masa inicial del mucílago (Kg).

7. El porcentaje de remoción de mucílago (**R_m**) se halló mediante la **Ecuación 5**.

$$R_m = \left(1 - \frac{M_{mr}}{M_{mi}}\right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

R_m: Porcentaje de remoción de mucílago (%).

m_m: Masa de la muestra (Kg) de café con mucílago parcialmente removido después del lavado con el ECOMILL en el tiempo t.

m_t: Masa de la muestra (Kg) de café sin mucílago parcialmente removido en el tiempo t.

Además de realizar el lavado con el lavador ECOMILL 1500 PROINDUHUILA, a las muestras se les realizó el lavado con el método de los cuatro (4) enjuagues propuesto por Zambrano *et Al.*, (2011) con el propósito de remover completamente el mucílago.

4.3.9 DAÑO MECÁNICO EN EL GRANO.

De acuerdo con la metodología planteada por Mejía *et Al.*, (2007) para determinar el daño mecánico del grano se realizó de la siguiente manera:

1. Se registró cinco (5) muestras de un (1) Kg de café despulpado a la salida de la despulpadora, a los 15, 30, 45, 60 y 75 segundos de iniciado el despulpado.
2. Se determinó el daño ocasionado por la despulpadora (**DM_d**) mediante la **Ecuación 6**.

$$DM_d = \frac{m_{Dd}}{m_{tm}} * 100 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

DM_d: Daño mecánico debido a la despulpadora (%).

m_{Dd} : Masa de los granos dañados por la despulpadora (g).

m_{tm} : Masa total de la muestra (1.000g).

3. Se extrajo cinco (5) muestras de un (1) Kg de café a la salida del lavador del módulo ECOMILL 1500 a los 15, 30, 45, 60 y 75 segundos de iniciado el lavado.
4. Se halló el daño ocasionado por el lavador y la despulpadora (**DM_{SD}**) mediante la **Ecuación 7**.

$$DM_{SD} = \frac{m_{DsD}}{m_{tm}} * 100 \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde,

DM_{SD}: Daño mecánico causado por el lavador y la despulpadora (%).

m_{DSD} : Masa de los granos dañados mecánicamente a la salida del lavador (g).

5. Por último, se determinó el daño ocasionado por el lavador ECOMILL (DM_D) mediante la **Ecuación 8**.

$$DM_E = DM_{SD} - DM_d \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde,

DM_E : Daño mecánico generado por el desmucilagador (%).

El defecto de grano de café tenido en cuenta para esta evaluación se relacionó únicamente el daño mecánico por acción del Lavador ECOMILL, despreciando el daño en el despulpado. Dicho defecto se encuentra enunciado en la Norma Técnica Colombiana NTC 3314, Defectos que se originan en el fruto de café (Fragmento de grano, Grano partido).

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó mediante el software INFOSTAT versión estudiante, en el cual se aplicó estadística descriptiva, teniendo en cuenta la Media, Desviación estándar, Varianza y Coeficiente de varianza en cada variable, luego se realizó la prueba para determinar el supuesto de normalidad de los datos, con un grado de confiabilidad del 95 %, seguidamente, mediante la prueba LSD FISHER se comparó las medias los tratamientos **RA** y **RV** y se determinó si existe diferencia significativa entre los mismos, además se comparó con los datos de desempeño establecidos por CENICAFÉ para el módulo ECOMILL 1500.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DIAGNÓSTICO

Los criterios de diseño del módulo ECOMILL 1500 se relacionan varios componentes, entre ellos:

- El tanque de fermentación, el cual en los diseños de Torres (2013) y avalados por la FNC y CENICAFÉ establece la tolva circular con 60° de pendiente en acero inoxidable, de igual manera, se construyó en el módulo ECOMILL 1500 fabricado por PROINDUHUILA, siendo el material de acero inoxidable calibre No. 18.
- Por otra parte, el Motor eléctrico monofásico marca WEG de inducción de 110 – 220 V con una potencia nominal de 3 hp (2,2 KW) y una velocidad rotacional de 1720 rpm, se encuentra dentro de las características más importantes para la elección de la fuente de potencia diseñado por Torres (2013).
- Para la transmisión de potencia entre el eje del motor y el eje del rotor del lavador se realiza por correa trapezoidal, en el módulo ECOMILL 1500 se seleccionó dos poleas con una ranura para correa tipo A64 y diámetros primitivos D_1 6 y D_2 12 pulgadas de Polea 12A-1 y 6A-1.
- La Caja reductora Marca TECNOTRANS Referencia R565 de velocidad garantiza la trasmisión de potencia hacia el alimentador de tornillo sin fin. La trasmisión en esta sección se realiza por cadena de rodillos tipo 50 referencia ANSI 50-1 para el módulo ECOMILL 1500, la cual presenta dos estrellas (piñones) con número de dientes Z_1 y Z_2 de 17 y 41, y diámetros primitivos D_{01} 86,4 mm y D_{02} 207,4 mm, respectivamente.
- En cuanto al tipo de hélice que se utilizó en el diseño y construcción del alimentador de tornillo sin fin del Lavador ECOMILL 1500 fue continua en

forma de espiral enrollada al eje motriz, construida en lámina de acero inoxidable AISI-SAE 430 Brillante calibre 14 (2 mm).

- El rotor de los módulos ECOMILL 1500 fabricados por la empresa Huilense PROINDUHUILA presenta dos tipos, uno de agitadores en el grupo asociativo ASOPROCABE (tratamiento RA) y el otro es de varillas en CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN (tratamiento RV), el primero concuerda con el diseño planteado por Torres (2013), avalado por la FNC y CENICAFÉ y el segundo es una modificación realizada por el por el Fabricante.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS ECOMIL 1500

Los equipos ECOMIL 1500 fabricados por la Empresa PROINDUHUILA, de acuerdo a la ficha técnica presentada a La CCPGA “AGROSUR” entregada el día 13 de noviembre de 2015, cuentan con las siguientes especificaciones (ver **Anexo 1, Figura 2**):

- Despulpadora PROINDUHUILA N°. 4 ½ capacidad de 1500 Kilogramos de Café cereza por hora (Kg cc/h).
- Zaranda Circular de varilla redonda, para la clasificación de café en baba.
- Motor monofásico 110-120 V. de 1,5 HP, para mover la despulpadora, zaranda y sinfín transportador de pulpa.
- Cuatro (4) Tanques de fermentación de Acero inoxidable calibre 18, Capacidad de 1,5 m³.
- Estructura soporte tanques de fermentación en perfil estructural.
- Sinfín transportador de café del tanque de fermentación al Módulo ECOMILL 1500.
- Módulo ECOMILL 1500 vertical en malla de acero inoxidable y agitadores en Aluminio o Módulo ECOMILL 1500 vertical en malla de acero inoxidable y agitadores de varillas.
- Motor monofásico 110 – 220 V de 3 HP para mover ECOMILL 1500 marca WEG.

- Plataforma y escalera para inspección tanque de fermentación.
- Base para motores.
- Latas en acero inoxidable.

El esquema general de los dos módulos ECOMILL 1500 de los grupos Asociativos ASOPROCABE y CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN, se puede observar en la **Figura 3**, sin embargo, cuando se realizó la visita de diagnóstico a las centrales de beneficio se encontró que el módulo ECOMILL 1500 del grupo asociativo ASOPROCABE se modificó el diseño del esquema general de los módulos (ver **Figura 6**), puesto que la infraestructura de la central es muy exigente y no se contaba con recursos económicos para modificar el espacio donde se instalaron los equipos. Además, el acceso al predio fue dispendioso por ser zona montañosa.

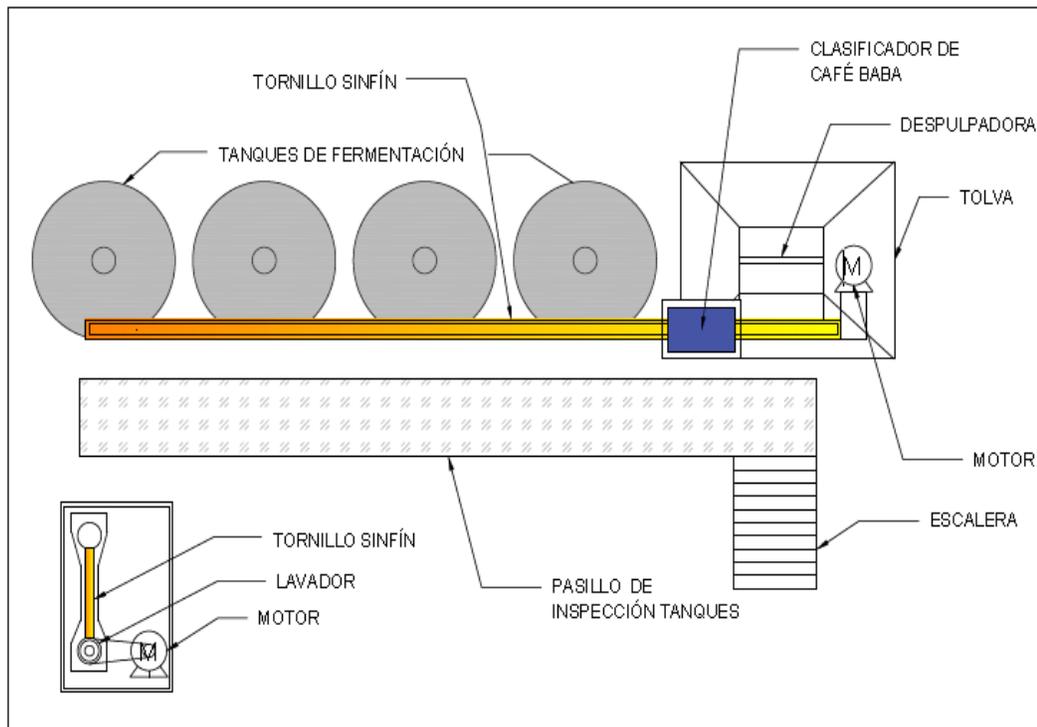


Figura 5. Esquema general de los módulos ECOMILL 1500.



Figura 6. Esquema módulo ECOMILL 1500 grupo Asociativo CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV.



Figura 7. Esquema módulo ECOMILL 1500 grupo Asociativo ASOPROCABE RA (Lavador en serie).

En cuanto al diseño interno del Lavador ECOMILL 1500 de los dos grupos ASOCIATIVOS se encontró diferencias en el rotor, como se puede evidenciar en las **Figuras 7 y 8.**

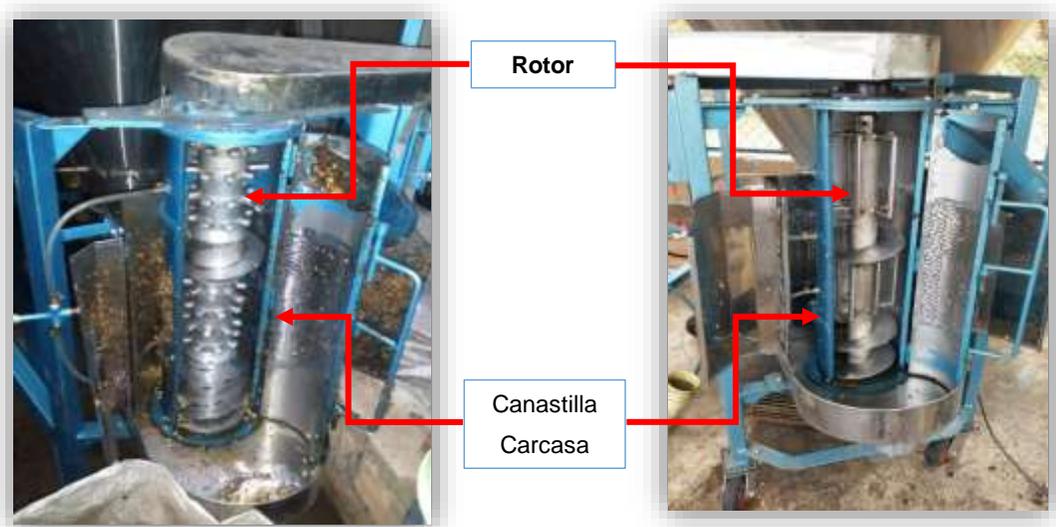


Figura 8. Lavador ECOMILL 1500 de agitadores RA, G.A. ASOPROCABE, Vereda Betania, Palestina.

Figura 9. Lavador ECOMILL 1500 de varillas, G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV, Bruselas, Pitalito.

En las **Figuras 7** y **8** se presentan los lavadores del módulo ECOMILL 1500 de los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE, los cuales se les denominó como tratamiento **RV** y tratamiento **RA**, respectivamente. Es importante apreciar que existe una modificación por parte del fabricante en el rotor del lavador del ECOMILL 1500 (**Figura 8**), en el cual, se redujo el diámetro del eje del rotor de 4,5 a 2,5 pulgadas y se cambió el mecanismo de lavado a varillas, mientras que el tratamiento **RA** el diámetro del rotor es 4,5 pulgadas y el mecanismo de lavado es de agitadores como lo establece el diseño de CENICAFÉ. La carcasa o canastilla del lavador no se modificó para ninguno de los tratamientos.

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ



Figura 10. Caracterización de variedad de Café Castillo, para la Evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV.



Figura 11. Caracterización de variedad de Café Caturra, para la Evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. ASOPROCABE RA.

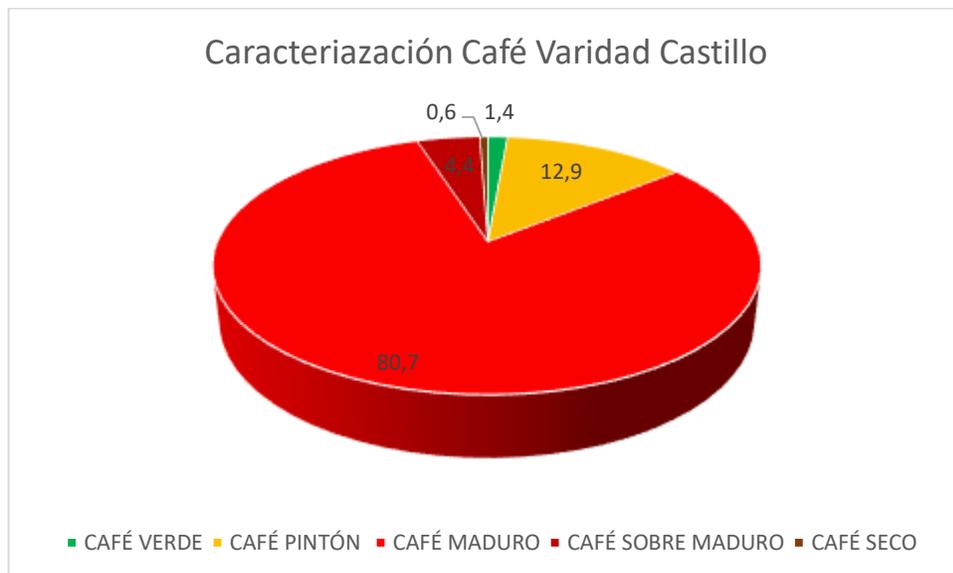


Figura 12. Caracterización de café cereza para la evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV.

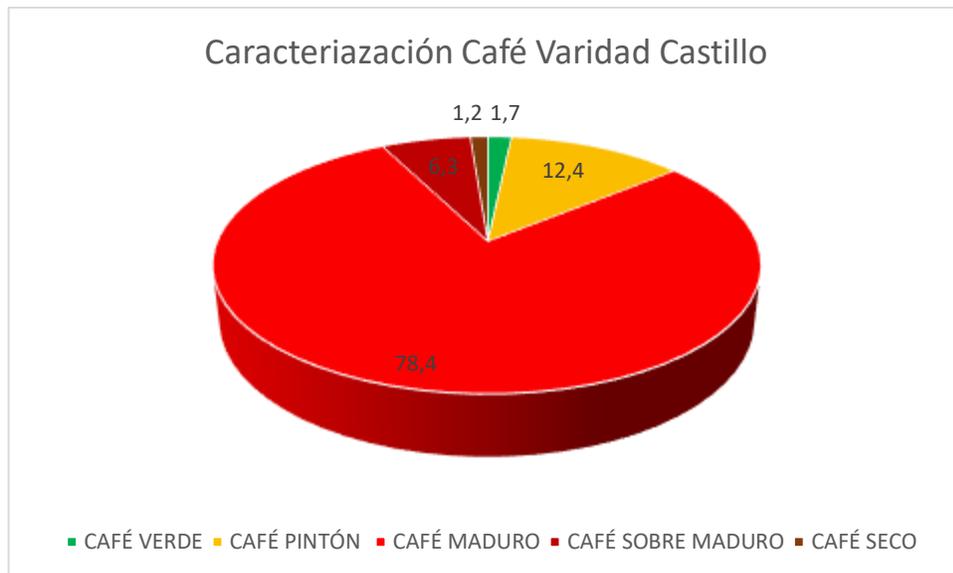


Figura 13. Caracterización de café cereza para la evaluación del módulo ECOMILL 1500 del G. A. ASOPROCABE RA.

Las **Figuras 9, 10, 11 y 12** representan la caracterización de café cereza en porcentajes (%) de frutos por estado de maduración, de las variedades Castillo y Caturra, utilizado en la evaluación de los módulos ECOMILL 1500 de los tratamientos **RV** y **RA**, respectivamente. La presencia de café maduro estuvo por encima del 80% en la Asociación CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN, mientras que en ASOPROCABE el 78%. El café verde alcanzó el 1,4 y 1,7 % reflejando poca presencia de mismo en los lotes recolectados.

5.3 EVALUACIÓN DEL MÓDULO ECOMILL 1500

Después de realizar la evaluación de las variables en el módulo ECOMILL 1.500, de acuerdo con la metodología planteada se tabularon los datos obtenidos de la siguiente manera:

5.3.1 FLUJO DE CAFÉ LAVADO

Tabla 3. Resultados de la evaluación del Flujo de café Lavado Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV y G.A. ASOPROCABE RA.

No.	RV			RA		
	Café lavado ECOMILL	Tiempo de lavado	Flujo de café lavado	Café lavado ECOMILL	Tiempo de lavado	Flujo de café lavado
	kg	min	Kg/h	kg	min	Kg/h
1	39,96	1,23	1949	38,96	2,05	1140
2	39,40	1,19	1987	39,56	1,98	1199
3	40,60	1,24	1965	40,60	2,11	1155
4	39,27	1,22	1931	39,82	2,12	1127
5	35,12	1,09	1927	40,12	2,15	1120

En la **Tabla 3**, se presenta los valores de los resultados para hallar el Flujo de café lavado en los lavadores ECOMILL1500. Del mismo modo, el número de muestras, cantidad de café lavado, el tiempo de lavado y por último, el cálculo del Flujo de café lavado en Kg/h en los módulos ECOMILL de los tratamientos **RV** y **RA**, respectivamente. En ambos módulos, se es garantizó el caudal de agua entre 5, 27 y 5,32 en promedio.

5.3.2 VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA.

En la **Tabla 4**, se referencia los datos de los resultados obtenidos para determinar el Volumen específico de agua en los Lavadores ECOMILL1500 en Litros por Kilogramo de café pergamino seco, (l/Kg c.p.s.) utilizada en los tratamientos **RV** y **RA**, además, se relaciona el Caudal de entrada al módulo, Tiempo de lavado, Consumo de Agua en el Lavado, Cantidad de café pergamino seco de las muestras.

Tabla 4. Resultados de la evaluación de Consumo de Agua específico, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV y G.A. ASOPROCABE RA.

No.	RV					RA				
	Caudal entrada ECOMILL	Tiempo de Lavado	Consumo Agua Lavado	Café pergamino seco	Volumen específico de Agua	Caudal entrada ECOMILL	Tiempo de Lavado	Consumo Agua Lavado	Café pergamino seco	Volumen específico de Agua
	l/min	min	l	Kg	l/Kg c.p.s.	l/min	min	l	Kg	l/Kg c.p.s.
1	5,31	1,23	6,53	19,37	0,34	5,16	2,45	12,65	21,56	0,59
2	5,39	1,19	6,41	20,3	0,32	5,59	1,98	11,07	20,81	0,53
3	5,35	1,24	6,63	19,8	0,34	5,45	2,11	11,5	21,02	0,55
4	5,25	1,22	6,41	20,57	0,31	4,88	2,32	11,33	20,46	0,55
5	5,31	1,09	5,81	19,87	0,29	5,28	2,15	11,34	21,13	0,54

5.3.3 CONSUMO DE POTENCIA DEL LAVADOR.

En la **Tabla 5** se relacionan los resultados para determinar el consumo de potencia de los Lavadores ECOMILL 1500 de tratamientos **RV** y **RA**.

Tabla 5. Resultados de la evaluación Potencia de los Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV y G.A. ASOPROCABE RA.

No.	RV			RA		
	Tensión	Intensidad	Potencia	Tensión	Intensidad	Potencia
	V	A	W	V	A	W
1	227,7	7,5	1708,3	223,3	6,7	1487,4
2	227,7	7,5	1715,8	222,3	6,7	1497,8
3	227,7	7,6	1724,2	223,0	6,7	1490,4
4	227,0	7,6	1713,9	224,0	6,8	1514,2
5	228,0	7,5	1717,6	223,0	6,8	1507,5

5.3.4 REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.

Tabla 6. Resultados de la evaluación Remoción de mucílago, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV y G.A. ASOPROCABE RA.

Descripción		RV					RA				
		Repeticiones					Repeticiones				
		M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
Masa de la muestra (Kg)	Mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Masa de café recién despulpado (kg)	Mcd	16,71	16,63	16,69	16,45	16,58	16,87	16,59	16,62	16,56	16,72
Masa de café sin mucílago (después 4 enjuagues) (Kg)	Msm	11,40	11,59	11,72	11,69	11,65	11,37	11,79	11,85	11,61	11,28
Contenido inicial de mucílago (decimal)	M	0,47	0,43	0,42	0,41	0,42	0,48	0,41	0,4	0,43	0,48
Masa de café después del lavado ECOMILL (kg)	McdIE	11,59	11,94	11,97	12,02	11,93	11,73	11,95	12,14	11,98	11,76
Masa de café después de lavado 4 enjuagues (kg)	McdI	11,40	11,59	11,72	11,69	11,65	11,37	11,79	11,85	11,61	11,28
Masa de mucílago remanente (Kg)	Mmr	0,19	0,35	0,25	0,33	0,28	0,36	0,16	0,29	0,37	0,48
Remoción de mucílago (%)	RM	96,42	93,06	94,97	93,07	94,32	93,45	96,67	93,88	92,53	91,18

La **Tabla 6** presenta los resultados obtenidos en las muestras para determinar el porcentaje de Remoción de mucílago, entre los cuales están las cantidades de café cereza (muestras), café despulpado con mucílago, café sin mucílago, Masa del mucílago, y Remoción de mucílago, respectivamente de los Lavadores ECOMILL 1500 de los tratamientos **RV** y **RA**.

5.3.5 DAÑO MECÁNICO DEL GRANO.

Los Daños mecánicos del grano de café se presentan en la **Tabla 7**, referenciando los datos de daño mecánico por la despulpadora (***mDd***), por el Lavador ECOMILL 1.500 (***DME***), y los respectivos porcentajes, a partir de muestras de 1.000 g, beneficiadas en los Lavadores de los tratamientos **RV** y **RA**.

Tabla 7. Resultados de la evaluación Daño mecánico del grano de café, Lavadores ECOMILL 1500 de los G.A. CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN RV y G.A. ASOPROCABE RA.

Repeticiones	RV					RA				
	m _{Dd}	DM _d	m _{DsD}	DM _{sD}	DM _E	m _{Dd}	DM _d	m _{DsD}	DM _{sD}	DM _E
	g	%	g	%	%	g	%	g	%	%
1	8,2	0,82	11,5	1,15	0,33	37,2	3,72	57,9	5,79	2,07
2	8,3	0,83	13,3	1,33	0,5	31,9	3,19	47,2	4,72	1,53
3	8,1	0,81	13,4	1,34	0,53	37,8	3,78	59,7	5,97	2,19
4	7,9	0,79	13,4	1,34	0,55	31,2	3,12	55	5,5	2,38
5	9,1	0,91	13,3	1,33	0,42	38,3	3,83	61,5	6,15	2,32

m_{Dd}: Masa del daño mecánico por despulpadora.

DM_d: Porcentaje del daño mecánico por despulpadora en muestra de 1000 g.

m_{DsD}: Masa del daño mecánico por despulpadora y Lavador ECOMILL 1500.

DM_{sD}: Porcentaje de daño mecánico por despulpadora y Lavador ECOMILL 1500 en muestra de 1000 g.

DM_E: Porcentaje de daño mecánico por ECOMILL 1500.

5.4 DISCUSIÓN

5.4.1 FLUJO DE CAFÉ LAVADO

Tabla 8. Resumen estadístico del Flujo de café lavado (kg/h).

TRATAMIENTO	MEDIA	D.E.	C.V.	PRUEBA
RV	1951,66	24,67	1,26	A
RA	1137,62	14,25	1,25	B

D.E.= Desviación Estándar.

C.V.= Coeficiente de Varianza.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

En la **Tabla 8** se referencia los valores de media, Desviación estándar y Coeficiente de Varianza y la prueba de significancia de LSD Fisher. En ésta última, se encontró diferencia significativa (letras diferentes) en el Flujo de café lavado de los Lavadores ECOMILL 1500 entre los grupos asociativos, posiblemente debido a que el rotor del lavador de varillas **RV** presenta un menor diámetro que el Lavador de agitadores **RA**, por lo tanto, existe un mayor área libre entre el rotor y la carcasa del lavador lo que permite mayor flujo de café, como se evidencia en el valor de la media del Flujo de café Lavado obtenida en el tratamiento **RV**, de 1951,66 Kg/h, mientras que en el tratamiento **RA**, fue de 1148,2 Kg/h, por tanto cabe resaltar que el tratamiento **RV** presenta mejor desempeño que el tratamiento **RA**. Además, en comparación con el desempeño descrito en el *Manual del Cafetero Colombiano* (2013), en el que referencia el desempeño de 1500 Kg/h, el ECOMILL del tratamiento **RV** es superior en 30% en el flujo de café lavado, por otra parte, el ECOMILL **RA** alcanza solamente 76%, respecto a la misma referencia (*Ver página 716 de Manual cafetero, 2013*).

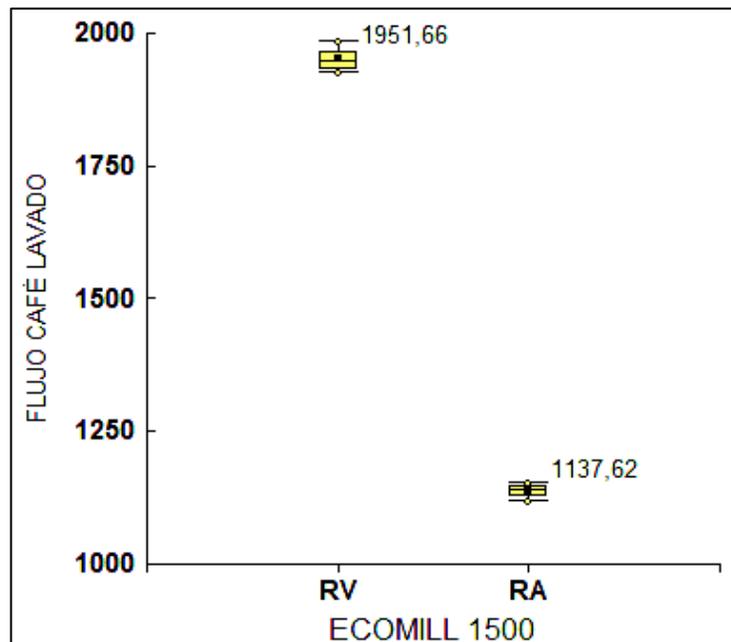


Figura 14. Medida de Flujo de café lavado en los ECOMIL 1500.

Igualmente, en la **Figura 13**, se observa que los datos presentan simetría en ambas medidas de flujo de café lavado de los ECOMILL 1500 de los grupos asociativos. No obstante, hay mayor dispersión de los datos en el ECOMILL de CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN ($\pm 24,67$) que en el de ASOPROCABE, corroborándose la diferencia en el desempeño de los módulos ECOMILL fabricados por la empresa PROINDUHUILA como se referenció anteriormente, posiblemente debido a que el rotor del ECOMILL del tratamiento **RV** es de varillas, mientras que el rotor del tratamiento **RA** es de agitadores, como se evidencia en la **Figuras 5 y 6**.

5.4.2 VOLUMEN ESPECÍFICO DE AGUA.

Tabla 9. Resumen estadístico de Volumen específico de Agua VEA (kg/h).

TRATAMIENTO	MEDIA	D.E.	C.V.	PRUEBA
RV	0,32	0,02	6,63	A
RA	0,53	0,03	5,50	B

D.E.= Desviación Estándar.

C.V.= Coeficiente de Varianza.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

De acuerdo con los resultados (Prueba LSD Fisher) obtenidos en la **Tabla 9**, se observa que se presenta una diferencia significativa entre los volúmenes específicos de agua de los lavadores ECOMILL 1500 de varillas y agitadores, de los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN Y ASOPROCABE, respectivamente. El agua suministrada para el tratamiento RV, osciló en promedio en 5,32 L/min, obteniendo un Volumen Específico de Agua VEA de 0,32 L/Kg c.p.s. mientras que para RA, fue de 5,27 L/min, con 0,55 L/Kg c.p.s. Por lo que las diferencias de VEA en L/Kg c.p.s. se dan debido a que el desempeño de RV es

mayor, por lo tanto el tiempo de lavado se reduce, minimizando el VEA por Kilogramo de Café pergamino seco.

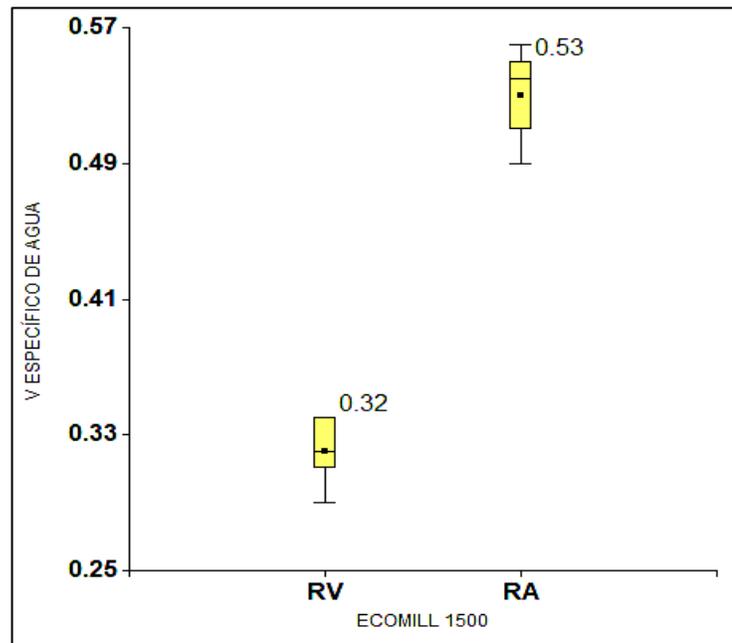


Figura 15. Media de Volumen específico de agua en los ECOMIL 1500.

Por otra parte, en la **Figura 14** se observa que no existen datos atípicos, Sin embargo, existe una mayor dispersión en los valores de volumen específico de agua en el tratamiento **RA** que en el tratamiento **RV**. Conjuntamente, se evidencia que en el diagrama de caja y bigotes de tratamiento **RV** presenta simetría positiva con mayor densidad de datos hacia el límite superior, entre tanto, en el tratamiento **RA** los datos presentan asimetría negativa. La media (0,53 L/Kg c.p.s.) se encuentra por debajo de la mediana, presentándose variabilidad. En comparación con el desempeño del ECOMILL 1500 desarrollado y presentado el Manual del Cafetero Colombiano (2013) por la FNC y CENICAFÉ (0,42 L/Kg c.p.s) se observa que el volumen específico de agua en el tratamiento **RV** es menor (0,32 L/Kg c.p.s.), mientras que el de **RA** (0,53) consume más cantidad de agua por Kilogramo de café pergamino seco. Lo anterior posiblemente se debe a que existe una mayor cantidad

de flujo de café por hora en el tratamiento **RV** que en el de CENICAFÉ y tratamiento **RA**. Para la tecnología ECOMILL de CENICAFÉ establece rangos de Volumen Específico de Agua Empleado VEA de 0,3 a 0,5 L/Kg c.p.s., por tanto el VEA de los tratamientos **RV** y **RA** se encuentran dentro de los rangos establecidos.

5.4.3 CONSUMO DE POTENCIA DEL LAVADOR.

En concordancia con los resultados de la **Tabla 9**, el consumo de potencia del Lavador ECOMILL 1500 del tratamiento **RV** presenta un mayor consumo que el ECOMILL del tratamiento **RA**, con diferencia de 216,5 W.

Tabla 10. Resumen estadístico del Consumo de Potencia (W).

TRATAMIENTO	MEDIA	D.E.	C.V.	PRUEBA
RV	1715,96	5,78	0,34	A
RA	1499,46	11,32	0,75	B

D.E.= Desviación Estándar.

C.V.= Coeficiente de Varianza.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

En cuanto a la prueba LSD Fisher se presenta diferencia significativa en el consumo de Potencia de los Lavadores, lo cual se debe posiblemente a las diferencias del rotor de los Lavadores, como se referencia en el diagnóstico, el Lavador ECOMILL 1500 del tratamiento **RV** es de varillas y el Lavador del tratamiento **RA** es de agitadores. Además, es importante resaltar que los flujos de café lavado son diferentes y mucho mayor en el ECOMILL de rotor de varillas, por lo tanto, se puede establecer que a mayor carga (flujo de café en Kg/h) mayor la potencia requerida. Por otra parte, es de resaltar que el Lavador de **RA** es diferente respecto al Lavador de **RV**, debido a que se diseñó y construyó en serie (ver **Figura 6**), es decir que los

tanques de fermentación están conectados entre sí por un solo tornillo sin fin, lo que implicó que éste tornillo del Lavador se construyera más largo.

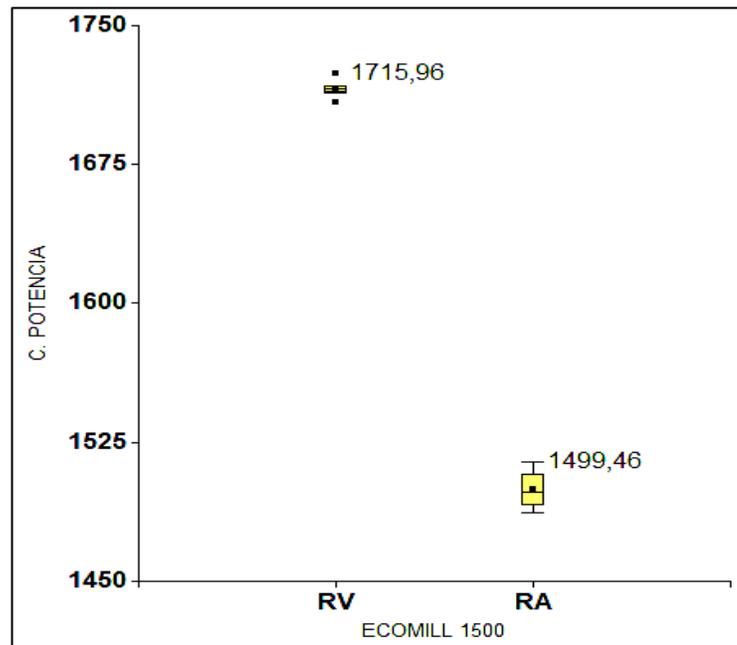


Figura 16. Media de Potencia en los ECOMIL 1500.

Del mismo modo, se observa en la **Figura 15** simetría en los valores de consumo de potencia. Por otra parte, existe las diferencias entre el consumo de potencia por parte de los Lavadores ECOMILL 1500, siendo de mayor consumo el del tratamiento **RV**, del mismo modo, en éste último se evidencia dos valores atípicos, mientras que en **RA** no presentó valores de consumo de potencia atípicos, pero son mucho más variables. En esta prueba no se tuvo en cuenta la comparación con los resultados de la FNC y CENICAFÉ en el Manual del Cafetero Colombiano (2013) debido a que las metodologías para determinar el consumo de potencia se plantearon de manera diferentes. En comparación con la potencia requerida para operar los lavadores y el flujo de café lavado, se encuentra que la media del tratamiento **RV** (0,88 W.h/kg de café lavado) es menor al de **RA** (1,32 W.h/kg de café lavado) y al del equipo experimental ECOLAV (1,01 W.h/kg de café lavado) diseñado a partir del equipo

DESLIM 1000 desarrollado por CENICAFÉ, evaluado por Oliveros *et Al.*, (2011), quien además indica que se aprovecha eficientemente la energía mecánica para lavar café cuando se emplean la fermentación natural o enzimas pectinolíticas para degradar el mucílago y un equipo como el evaluado, diseñado para retirarlo, con bajo consumo específico de agua.

5.4.4 REMOCIÓN DE MUCÍLAGO.

Continuando con la determinación del desempeño de los Lavadores ECOMILL con respecto al porcentaje de remoción de mucílago, en la **Tabla 9** se observa que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), sin embargo, la media del ECOMILL del tratamiento **RV** (94,37%) presenta mayor remoción de mucílago que la del tratamiento **RA** (93,54%).

Tabla 11. Resumen estadístico de Remoción de mucílago (%).

TRATAMIENTO	MEDIA	D.E.	C.V.	PRUEBA
RV	94,37	1,41	1,50	A
RA	93,54	2,03	2,17	A

D.E.= Desviación Estándar.

C.V.= Coeficiente de Varianza.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

Del mismo modo, en la **Figura 16** se observa en la caja y bigotes asimetría positiva en las mediciones en los ECOMILL de los grupos asociativos. No obstante, en el ECOMILL **RA** se presenta un valor atípico en la parte superior. Esto es debido posiblemente a que la variación de la cantidad de agua suministrada al Lavador ECOMILL 1500, como lo referencia Oliveros *et Al.*, (2011) el porcentaje de mucílago la tendencia es lineal positiva con respecto al flujo de agua, es decir, aumenta conforme aumenta el flujo de agua, además los módulos ECOMILL PROINDOHUILA no cuentan con medidor de agua o regulador de caudal, por tanto

el suministro depende de la cantidad entregada por el acueducto, la cual varía continuamente de acuerdo con el consumo de los usuarios en un tiempo determinado.

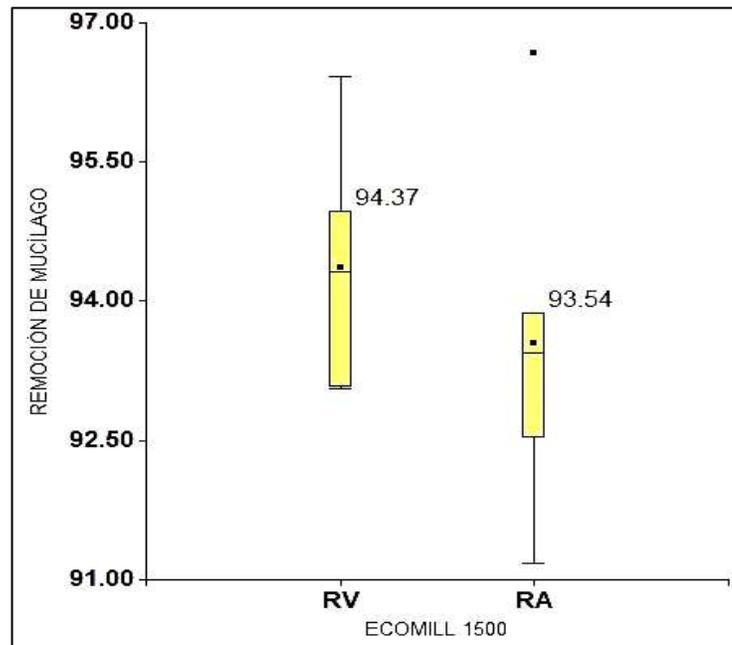


Figura 17. Media de Remoción de mucílago en los ECOMIL 1500.

Por otra parte, la remoción de mucílago en los módulos ECOMIL 1500 fue menor que la referenciada por Sanz *et Al.*, en el *Proceso de beneficio* Tomo tres del Manual del Cafetero Colombiano (2013) de la FNC y CENICAFÉ (95,1%).

5.4.5 DAÑO MECÁNICO DEL GRANO.

En la **Tabla 9** se presenta el resumen estadístico del daño mecánico causado únicamente por el Lavador ECOMIL 1500 de los tratamientos **RV** y **RA**, en la cual se presentan las medias de 0,47 y 2,10 % respectivamente, en donde se despreció el daño generado por la despulpadora en ambos casos. Además, se observa que existe diferencia significativa ($p > 0,05$) con letras diferentes, lo cual es muy posiblemente debido al tipo de rotor de los lavadores ECOMILL de **RV** (rotor de Varillas) y **RA** (rotor de Agitadores).

Tabla 12. Resumen estadístico del Daño mecánico del grano (%).

TRATAMIENTO	MEDIA	D.E.	C.V.	PRUEBA
RV	0,47	0,09	19,47	A
RA	2,10	0,34	16,18	B

D.E.= Desviación Estándar.

C.V.= Coeficiente de Varianza.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

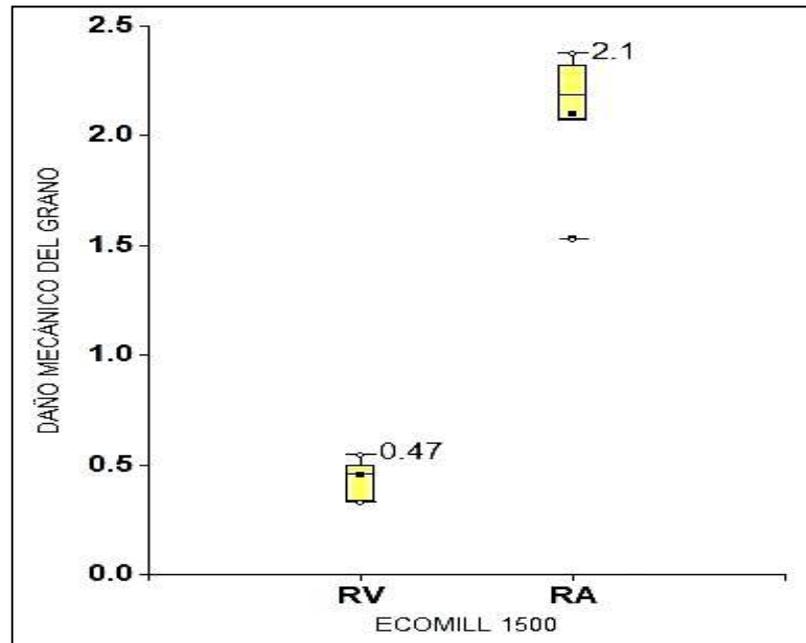


Figura 18. Media de Daño mecánico del grano (%).

En la **Figura 17** se observa la diferencia entre las medias y conjunto de datos de la variable daño mecánico del grano de café lavado mediante el ECOMILL 1500 de los grupos asociativos, en el cual se evidencia asimetría negativa en ambos conjuntos de datos, además un dato atípico en el tratamiento **RA** en la parte inferior. Esta diferencia, se puede establecer debido a que lavador ECOMILL del tratamiento **RA**

el rotor es de agitadores, teniendo mayor área de contacto entre el equipo y los granos.

6 CONCLUSIONES

- ✓ Los módulos ECOMILL 1500 de los grupos asociativos CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN y ASOPROCABE pertenecientes a los Municipios de Pitalito y Palestina, respectivamente, se encuentran en buenas condiciones físicas. Los componentes del módulo, como las despulpadoras, tanques, tornillos sin fin, los lavadores ECOMILL 1500, reductores, poleas, engranajes y estructura en general no presentan deterioro. Es importante mencionar que los módulos ECOMILL 1500 presentan un período de funcionamiento de 18 meses en el grupo asociativo ASOPROCABE y 3 meses en CAFÉ ESPECIAL SALOMÓN.

En cuanto al rendimiento de los lavadores ECOMILL 1500:

- ✓ El desempeño del flujo de café lavado del módulo ECOMILL 1500 de rotor de varillas del tratamiento **RV** es superior (1952,8g Kg/h) al registrado por en el avance técnico 432 (2013) de CENICAFÉ (1519,3 Kg/h), mientras que el ECOMILL 1500 de tratamiento **RA** de rotor de agitadores es inferior (1148,2 Kg/h).
- ✓ En cuanto, al volumen específico de agua utilizada en el lavador del módulo ECOMILL1500, se hace necesario la capacitación de los operarios y la elaboración de un manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), debido a que se encontró que el suministro de agua no es controlado, excediendo la cantidad prevista entre 0,3 y 0,5 L.kg-1 de c.p.s. por la

Federación Nacional de Cafeteros y CENICAFE, y por lo tanto, la razón de ser de esta nueva tecnología de bajo impacto ambiental y la reducción del consumo hídrico en la labor del beneficio del café no se está llevando a cabo de manera adecuada.

- ✓ El consumo de potencia por parte de los Lavadores ECOMILL 1500, presentó mayor consumo en el módulo del tratamiento **RV** (1715,96 W) que el registrado en el ECOMILL del tratamiento **RA** (1499,46 W). Sin embargo, cuando se relaciona la potencia con el flujo de café lavado, se encuentra que **RV** (0,88 W.h/kg de café lavado) es menor al de **RA** (1,32 W.h/kg de café lavado) y al del equipo experimental ECOLAV (1,01 W.h/kg de café lavado) diseñado a partir del equipo DESLIM 1000 desarrollado por CENICAFÉ, evaluado por Oliveros *et Al.*, (2011).
- ✓ El porcentaje de remoción de mucílago es superior al 93% en ambos módulos ECOMILL, no obstante, son menores al porcentaje registrado en el Manual del Cafetero Colombiano (2013), aún cuando se determinó el punto del lavado con la ayuda del Fermaestro, por tanto es un aspecto a tener mayor control en esta etapa del proceso y de esta forma disminuir los riesgos de deterioro de la calidad debidos a fermentaciones incompletas o prolongadas tal como concluye Peñuela *et Al.*, (2010).
- ✓ El daño mecánico presentó valores de porcentajes superiores a los referenciados en el Manual del Cafetero Colombiano (2013). El tratamiento **RA** presentó un daño mecánico demasiado alto (2,10 %), por tanto, se hace necesario la revisión técnica para la calibración del Lavador.

7 RECOMENDACIONES

- ✓ Se deben realizar un manual para el mantenimiento de los componentes del módulo ECOMILL 1500, con el objetivo de prevenir daños en los mismos y el mal funcionamiento del módulo, como también lo propone Torres (2013) de acuerdo al tipo de funcionalidad que prestan los componentes.

- ✓ Es importante continuar con proyectos de investigación y acompañamiento a los productores para determinar el comportamiento en la calidad física del grano y sensorial de la bebida de café con esta nueva tecnología, debido a que los productores comentan que existen variaciones no favorables para la consistencia en los atributos de la bebida.

- ✓ Se recomienda realizar limpieza total en los módulos después de utilizarlos, para evitar la aparición de problemas o defectos en la calidad del café.

- ✓ El acompañamiento a los productores es necesario proyectarlo mediante investigación participativa en el proceso de fermentación natural, con el fin de buscar condiciones de consistencia en la calidad de la bebida.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Botero, J. C., & Betancour Sánchez, W. H. (2012). *Buenas prácticas agrícolas en el beneficio de café en Colombia*. Obtenido de Repositorio Institucional UNAD: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/1493>
- CENICAFÉ. (2012). *Centro Nacional de Investigación del Café*. Obtenido de Beneficio del Café II: Secado del café pergamino: www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21._Secado_del_cafe.pdf
- CENICAFÉ. (30 de Marzo de 2016). *Centro Nacional de Investigaciones del Café*. Recuperado el 01 de Junio de 2017, de Cultivemos Café/Beneficio: http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/beneficio
- Centro Nacional de Investigaciones de Café . (28 de Marzo de 2016). *CENICAFÉ*. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de Cultivemos café / Beneficio: http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/beneficio/P1
- Chacón Cálix, E. O. (2001). *Evaluación de los sistemas tradicional y ecológico de beneficio húmedo de café*. Obtenido de http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1289.pdf
- López Fontal, E. M. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación Vol. 28*, 25-29.
- Mejía-González, C. A., Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Moreno-Cárdenas, E. L., & Rodríguez-Hurtado, L. A. (2007). Evaluación del desempeño técnico y ambiental de un desmucilagador de café con rotor de varillas. *CENICAFÉ 58* (2), 122-133.

- Muñoz Ortega, L. G. (2014). Caficultura sostenible, moderna y competitiva. En F. N. Colombia, *Ensayos sobre Economía Cafetera* (págs. 5-9).
- Oliveros T, C. E., Sanz U, J. R., Ramírez G, C. A., & Tibaduiza V, C. A. (2013). ECOMILL Tecnología de bajo impactomambiental para el lavado del café. *Avances técnicos Cenicafe 432*, 1-8.
- Oliveros T., C. E., Sanz Uribe, J. R., Montoya Restrepo, E. C., & Ramírez Gómez, C. A. (2011). Equipo para el lavado ecológico del café con mucílago degradado con fermentación natural. *Revista Ingeniería Universidad de los Andes*, 61-67.
- Oliveros Tascón, C. E., & Sanz Uribe, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista Ingeniería*, 99-114.
- Oliveros Tascón, C. E., Ramírez Gómez, C. A., Sanz Uribe, J. R., Peñuela Martínez, A. E., & Pabón Usaquén, J. (2013). Secado solar y secado mecanico del café. En FNC.CENICAFÉ, *Manual cafetero colombiano* (págs. Tomo 3, 49-81).
- Oliveros Tascón, C. E., Sanz Uribe, J. R., Ramírez Gómez, C. A., & Peñuela Martínez, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances tecnicos No. 380*, 1-8.
- Peñuela M., A. E., Sanz U., J. R., & Pabón U, . J. (2012). Método para identificar el momento final de lafermentación de mucílago de café. *CENICAFÉ 63 (1)*., 120-131.
- Puerta Quintero, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio del café. *CENICAFÉ 50(1)*, 78-88.
- Puerta Quintero, G. I. (Octubre de 2003). Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia. *Avances Tècnicos CENICAFÉ*, 1-8. Obtenido de

Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia:
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/388/1/avt0316.pdf>

Roa, C., Oliveros, J., Álvarez, C., Ramírez, J., Sanz, J., Álvarez, M., . . . Rodríguez.
(1999). Beneficio ecológico del café. *CENICAFÉ*, 300.

Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón , C. E., Ramírez Gómez , C. A., Peñuela Martínez
Aída , A. E., & Ramos Giraldo , P. J. (2013). Proceso de Beneficio. En FNC-
CENICAFÉ, *Manual del cafetero colombiano* (págs. 9-46).

Torres Ocampo, S. (2013). Diseño y construcción de tres máquinas para el lavado
mecánico del café con fermentación natural utilizando la tecnología
DESLIMen el Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ.
Pereira, Colombia.

Zambrano F, D. A., Rodríguez V. , N., & López Posada, U. (2011). Construya su
tanque tina para la fermentacion y lavado de Café. *Avances técnicos*
CENICAFÉ 408, 1-4.

9 ANEXOS

ANEXO 1 Especificaciones técnicas módulo ECOMILL 1500, Fabricado por la Empresa PROINDUHUILA.



Anexo 1. (Continuación).



PROINDUHUILA

Producto de la Industria del Café

FORJAMOS PROGRESO CAFETERO

NIT 17220702-8 Régimen Común

MODULO ECOMILL 1500

Consta de:

- » Despulpadora PROINDUHUILA número N° 4 ½ Cap. 1.500- kg C.C/H
 - Abastecedor adaptado en chumacera, FYT, OV, ¾.
 - Transmisión en piñones y cadena.
 - Pechero rectificado en fresadora.
 - Pechero de graduación independiente por cada Chorro mediante el sistema de lengüetas.
 - Cilindro montado en balineras ref. 62-08.
 - Volante de 17" en canal para correa tipo B.
 - No produce ruido, mayor suavidad en el giro.
 - Tapa y Babero en Acero Inoxidable.

- » Zaranda circular en varilla redonda, para la clasificación mecánica del café en baba.
- » Motor monofásico 110 – 220 V, de 1.5 H.P. Para mover despulpadora, Zaranda y sinfin, transportador de pulpa.
- » una rampla o bajante de pulpa, en Acero inoxidable.

- » 4 Tanques de fermentación en acero inoxidable calibre 18 Cap. de 1.5 m³
- » Estructura soporte tanque fermentación en perfil estructural.
- » sinfin transportador de café del tanque de fermentación al MODULO ECOMILL. Construido en tubo redondo de 6" de acero inoxidable.

- » MODULO ECOMILL vertical en malla de acero inoxidable y agitadores en aluminio
- » Motor monofásico 110-220 V, de 3 H.P. para mover Ecomill
- » Plataforma y escalera para inspección tanque de fermentación.
- » Caja de controles. Guarda motor arrancador para motores.
- » Base para motores.
- » Latas en acero inoxidable.

PROINDUHUILA FABRICA EQUIPOS CON LA TECNOLOGIA ECOMILL BAJO LA LICENCIA DE FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS OTORGADA A PROINDUHUILA EL 23 SEPTIEMBRE DEL 2013.

LAS MEDIDAS Y LOS MATERIALES A UTILIZAR SON LOS ESPECIFICADOS POR CENICAFÉ.

AV. PASTRANA 3 No18-55 SUR Telefax. 8369155 Cél. 311 8533160
E-MAIL: Proinduhulla@yahoo.es – www.proinduhulla.com
Pitalito Huila