



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, 21 de julio del 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Astrid Solany, Ortiz Navarro, con C.C. No. 1077875688,

Sorangie Araceli Lizcano Vargas, con C.C. No. 1077872898,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Evaluación de un secador de café (Coffea arabica), de dos niveles tipo marquesina, en temporada de baja y alta cosecha, implementado en la zona rural del municipio de Gigante-Huila, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Autorizo (amos) 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.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: [Firma manuscrita]

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: [Firma manuscrita]

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación de un secador solar de café (*Coffea arábica L.*), de dos niveles tipo marquesina, en temporadas de baja y alta cosecha, implementado en la zona rural del municipio de Gigante-Huila.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
ORTIZ NAVARRO	ASTRID SOLANYI
LIZCANO VARGAS	SORANYI ARACELI

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CALDERON ALVARADO	LUIS FERNANDO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA AGRICOLA

CIUDAD: GARZON

AÑO DE PRESENTACIÓN:2021 NÚMERO DE PÁGINAS: 63 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_



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

ANEXO:

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>Humedad relativa</u>	<u>Relative humidity</u>	6. <u>Radiación solar</u>	<u>Solar radiation</u>
2. <u>Termo higrómetros</u>	<u>Thermo-hygrometers</u>	7. _____	_____
3. <u>Método Gravimet</u>	<u>Gravimet method</u>	8. _____	_____
4. <u>Medidor de humedad</u>	<u>Humidity meter</u>	9. _____	_____
5. <u>Humedad del café</u>	<u>Coffee humidity</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Esta investigación realiza la evaluación de uno de los 41 secadores solares para café tipo marquesina de dos niveles, construidos por El Grupo Asociativo El Desarrollo y la Agencia de Desarrollo Rural de municipio de Gigante Huila, para productores de café de la zona; así mismo busca como resultado poder indicar a los caficultores el uso adecuado de la estructura para un aprovechamiento completo de sus modificaciones (cortinas laterales). Esta evaluación se llevó a cabo en una finca a 1299 msnm recolectando datos como temperatura, humedad relativa, dentro y fuera del secador, fueron medidos con termo higrómetros en temporadas de alta y baja cosecha; para monitorear la humedad de los granos se utilizó el método Gravimet propuesto por Cenicafé y se verificó con un medidor de humedad de granos Kett PM-450; para calcular la humedad inicial de los granos se ejecutó el método de la estufa según lo indica la Norma Técnica Colombiana 2325. Teniendo en cuenta los resultados se recomienda monitorear la humedad del café con el método gravimet para evitar pérdidas económicas en su comercialización; en el uso adecuado del sistema de secado se recomienda subir las cortinas



cuando el secador alcance los 40°C para evitar la cristalización de los granos; para realizar un secado continuo de las diferentes muestras de café húmedo se recomienda ingresar a las bandejas superiores mayor cantidad de masa, esto debido a que en la bandeja superior la radiación solar será mayor y como resultado los granos secarán más rápido.

ABSTRACT: (Maximo 250 palabras)

This research carries out the evaluation of one of the 41 solar dryers for coffee type canopy of two levels, built by the Grupo Asociativo El Desarrollo and the Rural Development Agency of the municipality of Gigante Huila, for coffee producers in the area; Likewise, it seeks as a result to be able to indicate to coffee growers the proper use of the structure for a full use of its modifications (side curtains). This evaluation was carried out on a farm at 2990 meters above sea level, collecting data such as temperature, relative humidity, inside and outside the dryer, they were measured with thermo-hygrometers in high and low harvest seasons; To monitor the humidity of the grains, the Gravimet method proposed by Cenicafé was used and it was verified with a Kett PM-450 grain moisture meter; To calculate the initial humidity of the beans, the stove method was executed as indicated in the Colombian Technical Standard 2325. Taking into account the results, it is recommended to monitor the humidity of the coffee with the gravimet method to avoid economic losses in its commercialization; in the proper use of the drying system it is recommended to raise the curtains when the dryer reaches 40 ° C to avoid the crystallization of the grains; To carry out a continuous drying of the different samples of wet coffee, it is recommended to enter the upper trays with a greater quantity of dough, this because in the upper tray the solar radiation will be greater and as a result the beans will dry faster.

APROBACION DE LA TESIS: Evaluación de un secador solar de café (*Coffea arábica L.*), de dos niveles tipo marquesina, en temporadas de baja y alta cosecha, implementado en la zona rural del municipio de Gigante-Huila.

Nombre Jurado: JUAN GONZALO ARDILA MARIN

Firma:



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

Nombre Jurado: ORLANDO GUZMAN MANRIQUE

Firma:

Evaluación de un secador solar de café (*Coffea arábica L.*), de dos niveles tipo marquesina, en temporadas de baja y alta cosecha, implementado en la zona rural del municipio de Gigante-Huila.

Astrid S. Ortiz N. y Soranyi A. Lizcano V.

Facultad de Ingeniería Programa Agrícola, Universidad Surcolombiana.

Nota del Autor

Astrid S. Ortiz N, Facultad de Ingeniería Programa Agrícola, Universidad Surcolombiana– Garzón Huila; Soranyi A. Lizcano V, Facultad de Ingeniería Programa Agrícola, Universidad Surcolombiana – Garzón Huila. Esta investigación fue realizada con la dirección del ingeniero Luis Fernando Calderón Alvarado, Docente de la Universidad Surcolombiana sede Garzón; Para obtener el título de Ingeniero Agrícola de los autores. La correspondencia referente a este proyecto debe ser enviada a: u20151138922@usco.edu.co

Nota de aceptación.

Jurado

Jurado

Director

Dedicatoria.

A Dios por Guiarme e iluminarme
En todo momento por el camino de la vida
Y lograr así mi gran sueño, a mi madre Nelcy Navarro,
quien fue apoyo incondicional en todo momento y
motor principal para llegar a esta nueva meta, a
mi amigo e Ingeniero David Mauricio quien estuvo ahí
para direccionarme y darme su voz de aliento cuando no tenía
motivos para continuar. personas tan importantes en mi vida que no
desfallecieron pese a las dificultades y las cuales me
dieron la fortaleza para seguir adelante.

A. Solanyi O. Navarro.

Principalemente a Dios ya que gracias
A el, he logrado concluir mi carrera,
A mis padres Evaristo y Nelcy
por haberme forjado como la persona
Que soy en la actualidad;
En gran parte la mayoría de mis
Logros se los debo a ellos incluido este.
Me educaron con principios y algunas libertades, pero
Al final de cuentas, me motivaron constantemente
A cumplir mis metas.

Soranyi A. Lizcano Vargas.

Agradecimientos.

El agradecimiento de este proyecto va dirigido primeramente a Dios, gracias a su amor y al don de la sabiduría que nos ha brindado, hemos podido ver la posibilidad de realizar las metas que nos hemos propuesto. A su vez a nuestros padres que en su momento fueron los complices y responsables de el apoyo tanto económico como emocional para poder materializar este gran sueño de ser profesionales ejemplares. Al docente e ingeniero Luis Fernando Calderon, quien fue la persona que nos dirigió en el camino para llegar a cumplir con esta etapa, gracias a su conocimiento y apoyo logramos concluir esta investigación con éxito; a los docentes que dia a dia compartieron sus conocimientos y experiencias para permitirnos crecer como profesionales integros, por ultimo pero no menos importante al señor Leonel Reyes propietario de la finca en la cual ejecutamos la investigación, contando con todo su apoyo y compartiendo sus experiencias y conocimientos en el tema.

Resumen.

La presente investigación realiza el análisis y evaluación de un secador solar para café tipo marquesina de dos niveles, construidos por el Grupo Asociativo El Desarrollo del municipio de Gigante en el departamento del Huila y la Agencia de Desarrollo Rural (oficina adscrita al Ministerio de Agricultura) para 41 productores de café de la zona; así mismo busca como resultado poder instruir a los caficultores e indicarles el uso adecuado de la estructura para un aprovechamiento completo de sus particulares modificaciones (cortinas laterales). Este análisis y evaluación se llevó a cabo recolectando datos como temperatura interna y externa del secador, humedad relativa interna y externa del secador, que fueron medidos con termohigrometros en temporadas de alta y baja cosecha; para monitorear la humedad de los granos se utilizó el método Gravimet propuesto por Cenicafé y se corroboró la información con un medidor de humedad de granos y semillas Kett PM-450; para calcular la humedad inicial de los granos se ejecutó el método de la estufa según lo indica la Norma Técnica Colombiana 2325. Teniendo en cuenta los resultados y gracias a los análisis realizados se recomienda a los productores monitorear la humedad del café con el método Gravimet para evitar pérdidas económicas en su comercialización; en el uso adecuado del sistema de secado se recomienda subir las cortinas cuando el secador alcance los 40°C para evitar la cristalización de los granos; para realizar un secado continuo de las diferentes muestras de café húmedo se recomienda al caficultor ingresar a las bandejas superiores mayor cantidad de masa, esto debido a que en la bandeja superior la radiación solar será mayor y como resultado los granos se secarán más rápido. **Palabras clave:** humedad relativa, termohigrometros, método Gravimet, medidor de humedad, humedad del café, radiación solar.

Abstract

This research carries out the analysis and evaluation of a two-level marquee-type solar dryer for coffee, built by the Grupo Asociativo El Desarrollo of the municipality of Gigante in the Huila department and the Rural Development Agency (office attached to the Ministry of Agriculture) for 41 coffee producers in the area; Likewise, it seeks as a result to be able to instruct coffee growers and indicate the proper use of the structure for a full use of its particular modifications (side curtains). This analysis and evaluation was carried out by collecting data such as the internal and external temperature of the dryer, internal and external relative humidity of the dryer, which were measured with thermo-hygrometers in high and low harvest seasons. To monitor the humidity of the grains, the Gravimet method proposed by Cenicafé was used and the information was corroborated with a Kett PM-450 grain and seed moisture meter. To calculate the initial humidity of the beans, the stove method was executed as indicated by the Colombian Technical Standard 2325. Taking into account the results and thanks to the analyzes carried out, it is recommended that producers monitor the humidity of the coffee with the gravimet method to avoid economic losses in its commercialization. In the proper use of the drying system, it is recommended to raise the curtains when the dryer reaches 40°C to avoid the crystallization of the grains. To carry out a continuous drying of the different samples of wet coffee, it is recommended that the farmer enter the upper trays with a greater quantity of dough, this because in the upper tray the solar radiation will be greater and as a result the beans will dry faster.

Keywords: relative humidity, thermo-hygrometers, Gravimet method, humidity meter, coffee humidity, solar radiation.

Tabla de contenido.

1	INTRODUCCIÓN.....	9
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3	OBJETIVOS.....	14
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4	MARCO TEÓRICO.....	15
4.1	EL CAFÉ.....	15
4.2	EL CAFÉ EN COLOMBIA.....	15
4.3	BENEFICIO DEL CAFÉ.....	16
4.3.1	<i>Recibo del café cereza.....</i>	<i>17</i>
4.3.2	<i>Despulpado.....</i>	<i>17</i>
4.3.3	<i>Remoción del mucílago.....</i>	<i>17</i>
4.3.4	<i>Lavado.....</i>	<i>18</i>
4.4	SECADO DE GRANOS.....	18
4.4.1	<i>Factores que inciden en el proceso de secado.....</i>	<i>18</i>
4.4.1.1	Temperatura del aire:	18
4.4.1.2	Humedad relativa:	19
4.4.1.3	Humedad del grano:	19
4.4.1.4	Humedad externa del grano:	20
4.4.1.5	Humedad interna del grano:	20
4.4.1.6	Humedad inicial del grano:	20
4.4.1.7	Humedad final del grano:	20
4.5	METODO GRAVIMET.....	20
4.5.1	<i>Procedimiento para medir la humedad del café con el metodo Gravimet.....</i>	<i>21</i>
4.6	TIPOS DE SECADO.....	21
4.6.1	<i>Secado al sol.....</i>	<i>21</i>
4.6.1.1	Secado en patio:	22
4.6.1.2	Secado en carros de madera:	22
4.6.1.3	Secado en elbas:	22
4.6.1.4	Secador Solar parabólico o tipo marquesina:	22
4.6.1.5	Camas africanas:	23
4.6.2	<i>Secado mecánico.....</i>	<i>23</i>
5	MATERIALES.....	24
6	METODOLOGÍA.....	25
6.1	ELECCION Y UBICACIÓN DEL PRODUCTOR BENEFICIARIO.....	26
6.2	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....	28
6.3	EJECUCIÓN.....	31
7	RESULTADOS.....	35
7.1	REGISTRO Y ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA INTERNA Y EXTERNA.....	36
7.2	REGISTRO Y ANÁLISIS MÉTODO GRAVIMET.....	42
7.3	SOCIALIZACIÓN CON PRODUCTORES BENEFICIARIOS.....	50
7.4	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS DATOS REGISTRADOS.....	51
7.4.1	<i>Análisis de varianza de temperatura.....</i>	<i>51</i>
7.4.2	<i>Análisis de varianza de humedad.....</i>	<i>52</i>
7.4.3	<i>Análisis de varianza Gravimet vs. Medidor PM-450.....</i>	<i>52</i>
7.5	COMPARACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE SECADO TEMPORADA DE ALTA Y BAJA COSECHA.....	54
8	CONCLUSIONES.....	56
9	RECOMENDACIONES.....	58

10 ANEXOS	60
11 REFERENCIAS	61

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. SECADOR SOLAR TIPO MARQUESINA DE DOS NIVELES	25
FIGURA 2. PARTE INTERNA SECADOR SOLAR TIPO MARQUESINA (BANDEJAS).....	26
FIGURA 3. VISTA LATERAL SECADOR SOLAR TIPO MARQUESINA (CORTINAS).....	26
FIGURA 4. UBICACIÓN DE FINCAS DONDE FUE INSTALADO EL SECADOR POR ASODESARROLLO	27
FIGURA 5. UBICACIÓN FINCA LEONEL REYES	28
FIGURA 6. CALIBRACIÓN DE GRAMERAS	29
FIGURA 7. CALIBRACIÓN DE TERMOHIGROMETROS.....	29
FIGURA 8. LISTADO DE CALIBRACION DEL MEDIDOR DE HUMEDAD PM-450	30
FIGURA 9. MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANOS Y SEMILLAS PM-450.....	31
FIGURA 10. FERMAESTRO PARA CALCULAR EL TIEMPO DE FERMENTACION DEL CAFÉ.....	32
FIGURA 11. INSTALACIÓN DE CANASTILLAS EN LAS BANDEJAS SUPERIORES E INFERIORES.....	34
FIGURA 12 EVIDENCIA DE INTERVENCIÓN DE LA AUTORA SORANYI LIZCANO VARGAS.....	50
FIGURA 13 EVIDENCIA DE INTERVENCIÓN DE LA AUTORA ASTRID SOLANYI ORTIZ NAVARRO.....	50
FIGURA 14 EVIDENCIA DE INTERVENCIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS LUIS FERNANDO CALDERON	50
FIGURA 15. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SECADOR SOLAR ECOLÓGICO DE CAFÉ.....	60

TABLA DE TABLAS

TABLA 1. REGISTRO DE DATOS MÉTODO DE LA ESTUFA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL DEL GRANO (ALTA COSECHA)	35
TABLA 2. REGISTRO DE DATOS MÉTODO DE LA ESTUFA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL DEL GRANO (BAJA COSECHA).....	35
TABLA 3. REGISTRO DE VARIABLES EN ALTA COSECHA (TEMPERATURA SUPERIOR E INFERIOR DEL SECADOR, TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA DEL SISTEMA Y HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA)	37
TABLA 4. REGISTRO DE VARIABLES EN BAJA COSECHA (TEMPERATURA SUPERIOR E INFERIOR DEL SECADOR, TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA DEL SISTEMA Y HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA)	40
TABLA 5. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL MÉTODO GRAVIMET EN TEMPORADA DE ALTA COSECHA	42
TABLA 6. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL MÉTODO GRAVIMET EN TEMPORADA DE BAJA COSECHA.....	42
TABLA 7 REGISTRO DE PESOS PARA CALCULO DEL METODO GRAVIMET EN ALTA COSECHA	44
TABLA 8. REGISTRO GRAVIMET Y MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANOS PM-450 ALTA COSECHA.	46
TABLA 9. REGISTRO DE PESOS PARA CÁLCULO DEL MÉTODO GRAVIMET EN BAJA COSECHA.....	47
TABLA 10. REGISTRO GRAVIMET Y MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANOS PM-450 BAJA COSECHA	49
TABLA 11 ANALISIS DE VARIANZA DE DATOS DE TEMPERATURA EN ALTA COSECHA.....	51
TABLA 12 ANALISIS DE VARIANZA DE DATOS DE TEMPERATURA EN BAJA COSECHA	51
TABLA 13ANÁLISIS DE VARIANZA DE DATOS DE HUMEDAD EN ALTA COSECHA.....	52
TABLA 14ANÁLISIS DE VARIANZA DE DATOS DE HUMEDAD EN BAJA COSECHA	52
TABLA 15 ANÁLISIS DE VARIANZA GRAVIMET VS. MEDIDOR PM-450 ALTA COSECHA.....	53
TABLA 16ANÁLISIS DE VARIANZA GRAVIMET VS. MEDIDOR PM-450 BAJA COSECHA	53

TABLA DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA DEL SECADOR EN TEMPORADA DE ALTA COSECHA	38
GRÁFICA 2. HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA DEL SECADOR EN TEMPORADA DE ALTA COSECHA	39
GRÁFICA 3. TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA DEL SECADOR EN TEMPORADA DE BAJA COSECHA	41
GRÁFICA 4. HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA DEL SECADOR EN TEMPORADA DE BAJA COSECHA	42
GRÁFICA 5. CURVA DE SECADO DE GRANO EN LAS BANDEJAS SUPERIOR E INFERIOR EN TEMPORADA DE ALTA COSECHA.	45
GRÁFICA 6. CURVA DE SECADO DE GRANO EN LAS BANDEJAS SUPERIOR E INFERIOR EN TEMPORADA DE BAJA COSECHA	48
GRÁFICA 7 CURVA DE SECADO ALTA COSECHA	54
GRÁFICA 8 CURVA DE SECADO BAJA COSECHA	55

1 Introducción.

Como afirma Kramer, *et al* (2010) “los granos procesados deben secarse” debido a que el secado de café tiene como principal fin eliminar el agua del grano para evitar el deterioro del mismo y conservar su calidad . Cuando el grano de café pergamino tiene una humedad del 12,5% aun existe riesgo de deterioro microbiológico por hongos, bacterias, daño físico, entre otros; además de esto su calidad en cuanto al sabor también se verá afectada como lo indica Puerta, (2006) en el avance tecnico 352 de Cenicafé. “El control adecuado sobre el proceso de fermentación imparte atributos deseables y previene la fermentación indeseable que genera sabores desagradables” (Wei *et al* 2015) por esta razón es importante tener en cuenta el tiempo de fermentado del café con ayuda del Fermaestro (Peñuela *et al.* 2013) en el beneficio húmedo de los granos; luego de lavado el café, se dispone a ser secado y se reduce su humedad al punto ideal para ser almacenado, Barzola *et al* (2020) indica que “El proceso de secado es un factor esencial que influye en la calidad final del producto”, como afirma Parra, *et al.* (2008) “cuando el café se almacena con contenidos de humedad superiores al 12% bh (debido a un proceso de secado deficiente), el riesgo de ser atacado por hongos y de ser contaminado con micro toxinas es muy alto” por esta razón es importante llevar acabo un minucioso proceso de secado evitando la propagación de toxinas que alteren la calidad del café y causen afectaciones al sabor en taza, un ejemplo de esta es la Ochratoxina A, Chamorro, *et al.*(2018) recomienda que “Durante la cosecha se deben recolectar los granos de café directamente de los arbustos y evitar la recolección de frutos sobremaduros, dañados y recogidos del suelo por ser una fuente de contaminación, se deben secar lo más rápido posible hasta un 12% de humedad” para evitar la propagación de esta toxina que puede afectar los granos por la presencia continua de humedad.

Los tipos de secado utilizados son el secado al sol, y el secado mecánico. En la cartilla 21 de Cenicafe, Beneficio del café II: Secado del café pergamino, el secado al sol se recomienda para fincas que producen menos de 500 arrobas de café pergamino seco al año, este secado al sol se realiza en patios de cemento, carros secadores, elbas y casa elbas y marquesinas o secadores parabólicos; para fincas con aproximadamente 40@ de cps/año el área de secado debe ser de 12m² a medida que aumenta la producción también aumenta el área de secado. Si el secado se lleva a cabo en patios de cemento es recomendable tener una pendiente del 1% para evitar encharcamientos. Esta etapa de beneficio también se puede llevar a cabo en carros de secado, estos son cajones montados en estructuras de madera o hierro con pisos de anjeo, madera o esterilla y techo en zinc. Las elbas de secado son cajones con pisos de madera o cemento y techos de hojas de zinc embisagradas de una o dos alas; por último, los secadores solares tipo marquesinas o secador solar parabólico que consiste en una plancha en madera o concreto cubierta con una estructura de guadua o hierro y plástico que permite la circulación interna del aire. En el secado de café solar se debe tener en cuenta una serie de prácticas como voltear el café con rastrillos para impedir la producción del hongo Ochratoxin A, llevar un control en la disminución de humedad para evitar que la humedad del grano disminuya más del 12%. El tiempo aproximado de secado del café al sol está entre 10 a 15 días dependiendo de la temperatura del lugar, humedad del ambiente y otros factores que incidan en el proceso; la masa de café en el secador solar debe ser aproximadamente de 3cm de espesor que equivale a una arroba de café por metro cuadrado, con este espesor y cuatro volteos de café al día con un rastrillo revolvente se logrará un secado parejo del grano. Otro sistema de secado implementado por caficultores con producción mayor a 500 arrobas de café pergamino seco son los secadores mecánicos, consiste en cámaras en las cuales se introduce aire caliente a 50°C impulsado por un ventilador el cual atraviesa la masa de café, el aire se puede calentar en estufas, quemadores entre

otros, que funcionan con ACPM, carbón mineral y energía eléctrica; este sistema de secado puede tardar aproximadamente entre 25 y 30 horas.

A medida que pasa el tiempo la tecnología en el campo va abriendo paso y con ello los métodos utilizados en las fincas cafeteras para llevar a cabo procesos como secado que van evolucionando para el mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores, ejemplo de ello son los secadores solares tipo marquesina que fueron construidos por el Grupo Asociativo El Desarrollo del municipio de Gigante en el departamento del Huila y la Agencia de Desarrollo Rural (oficina adscrita al Ministerio de Agricultura); una estructura tubular metálica galvanizada y plástico de invernadero, la cual cuenta con un sistema de dos cortinas laterales, que permite regular el flujo del aire, una ventana cenital, que evita revertir el proceso de secado, 4 paseras de secado de 1,70 x 7,0 metros en dos niveles, en estructura de ángulo metálico y malla cafetera o red 5.000 de 4 X 4 mm. Esta construcción fue entregada a 41 productores vinculados a la asociación y a la fecha no contaban con una evaluación preliminar que confirme la eficiencia de su uso, por lo tanto, se inició la investigación sobre uno de los productores beneficiados por esta estructura.

“El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, debido a sus propiedades organolépticas” (Gotteland et al, 2007) por esta razón es importante llevar a cabo buenas prácticas en el proceso de beneficio y gran parte de ello en el secado, razón por la cual se evaluará este proceso durante dos temporadas de cosecha (alta y baja), a una altura de 1299 metros sobre el nivel del mar. Para ésta evaluación se tuvieron en cuenta parámetros de secado involucrados directamente en este proceso, tales como: temperatura y humedad relativa, interna y externa de la marquesina, humedad del grano desde el lavado hasta llegar a la humedad requerida de comercialización. Se debe tener en cuenta como lo indica el autor Quintanar, *et al* (2017), “El perfil de temperatura no es constante durante las horas de un mismo día, y tampoco durante los

días que dura el proceso de secado. Esto se debe a que la temperatura del secador depende de la radiación solar, que no es constante”. La zona donde se desarrolló el proyecto, es un municipio en el cual se han realizado otras investigaciones, los productores se especializan en producir café de alta calidad, de buenas características físicas y organolépticas donde el proceso es determinante, amplias extensiones de tierra de este municipio lo ocupan cafetales de grandes y pequeños productores; además, se realizó el estudio en dos temporadas de cosecha en el cual se puede evidenciar la eficiencia del sistema y evaluarlo en períodos de alta y baja demanda de café.

2 Planteamiento del problema.

La realización de actividades de producción y procesamiento del grano, se han venido ejecutando de forma empírica, sin una información que soporte técnicamente la utilización de algún nuevo sistema de secado que se implemente. Mediante esta investigación se establecerán resultados que permitan la elaboración de un protocolo de manejo adecuado para el proceso de secado de café y aprovechamiento total de sus particularidades, en una de las 41 marquesinas ya instaladas, con el apoyo del Grupo Asociativo El Desarrollo que agremia a cerca de 230 familias productoras del municipio; este proyecto se fundamentó en la construcción de 41 marquesinas para secado solar de café, para un mismo número de beneficiarios. Dichas marquesinas, están construidas en estructura tubular metálica galvanizada, cuentan con un sistema de dos cortinas laterales, que permite regular el flujo del aire, una ventana cenital, que evita revertir el proceso de secado, 4 paseras de secado de 1,70 x 7,0 metros en dos niveles, en estructura de ángulo metálico y malla cafetera o red 5.000 de 4 X 4 mm.

La falta de evaluación de la eficiencia de estas marquesinas tiene al productor realizando labores sin un soporte que corrobore que este sistema es completamente eficiente, además, se requiere un análisis comparativo de los datos que van a ser recolectados (temperatura ambiente,

humedad relativa, temperatura y humedad relativa interna del secadero, humedad del grano) durante dos periodos de cosecha, entre octubre y diciembre, siendo estos meses tiempo de alta y baja cosecha.

Por lo tanto, realizando esta investigación se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuál es el protocolo que debe implementar el productor, garantizando una curva de secado continua y progresiva, para obtener un café pergamino seco de la mejor calidad, en el rango de tiempo adecuado, en las marquesinas de secado de café entregadas a los 41 socios de ASODESARROLLO?

3 Objetivos.

3.1 Objetivo General.

Evaluar un secador solar de café de dos niveles tipo marquesina, en temporadas de baja y alta cosecha, con su respectivo protocolo, implementado en la zona rural del municipio de Gigante-Huila en la finca seleccionada.

3.2 Objetivos Específicos.

- Comparar la eficiencia del secador solar, teniendo en cuenta las temporadas de alta y baja cosecha (cosecha y mitaca).
- Determinar el tiempo y la curva de secado del grano de café, teniendo en cuenta las dos temporadas cosecha.
- Validar y ajustar el método Gravimet propuesto por CENICAFÉ y socializarlo con los productores de ASODESARROLLO.
- Elaborar el protocolo de manejo más adecuado para la correcta utilización del secador solar de café.
- Socializar los resultados obtenidos en la presente investigación, con los socios del Grupo Asociativo, ASODESARROLLO.

4 Marco Teórico.

4.1 El café.

“El café es una bebida que se obtiene de la infusión de las semillas tostadas y molidas de las plantas del café o cafetos, con su nombre científico Coffea. Los cafetos son arbustos de hoja perenne de la familia de las Rubiáceas. El fruto de estos arbustos contiene dos semillas o granos de café, elementos para el consumo posterior.” (Magem, s.f) El fruto se produce a partir de flores blancas y aromáticas, tiene color rojizo y debido a su parecido en tamaño a una cereza, se le conoce como café cereza.

El café es originario de Etiopía y del Sudán; en la actualidad dos tercios de todo el café se cultivan en América Latina. De las numerosas especies de café, solo tres son de importancia comercial y dos son utilizadas ampliamente, *coffe arabica* es la que más se cultiva y tiene la mayor demanda, crece en tierras altas, entre mil y dos mil metros siendo mayor favorecida su calidad en alturas superiores a los 1500 msnm. *C.robusta* es una variedad mucho más resistente que demanda menor altura y factores climáticos variados.

4.2 El café en Colombia.

Las primeras noticias sobre el café en Colombia aparecen a comienzos del siglo XVIII, cuando los Jesuitas introdujeron al país las primeras semillas del grano. (Cardenas, 1993). Cuenta la historia que el aumento de la producción de café en el territorio fue gracias al sacerdote Jesuita Fernando Romero en un pueblo de Santander llamado Salazar de las Palmas, cuando sus fieles se confesaban, el sacerdote les imponía como penitencia para redimir sus culpas sembrar plantas de café. Al pasar de los años el café fue abarcando gran parte del territorio Colombiano y en 1850 había llegado a departamentos como Cundinamarca, Antioquia y Caldas. El 27 de Junio de 1927 cafeteros de Colombia se unieron con el fin de crear una organización que los representara

nacional e internacionalmente y que velara por sus derechos y el mejoramiento de su calidad de vida.

En 1938 nace, gracias a la Federacion Nacional de Cafeteros, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ), encargado de estudiar los aspectos relacionados con la producción de las fincas, la cosecha, calidad del grano, beneficio, manejo y utilización de los subproductos del café.

A partir de esto, la caficultura en Colombia se ha consolidado como una de las más grandes fuentes de economía del país, llegando a diferentes países y catalogándose como uno de los mejores cafés en el mundo.

4.3 Beneficio del Café.

El proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino de alta calidad física y en taza, el cual por su estabilidad en un amplio rango de condiciones ambientales, es el estado en el cual se comercia internamente este producto en Colombia. El proceso de beneficio de café lo realizan los caficultores, en su gran mayoría, en las instalaciones que tienen en sus fincas, a las que denominan popularmente beneficiaderos, y donde realizan básicamente el recibo, despulpados, remoción de mucilago, lavado, diversas clasificaciones y secados. 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. El beneficio permite obtener el café pergamino seco (cps), el cual es vendido por los caficultores en las cooperativas o a los comercializadores privados. Luego, el café pergamino es trillado para extraer la almendra que se exporta.

4.3.1 Recibo del café cereza.

En fincas con producciones menores de 300 arrobas de café pergamino seco al año, el café cereza se recibe en la tolva de la despulpadora. En fincas de mayor producción pueden usarse tolvas secas, donde se recibe el café y se transporta por gravedad hasta la despulpadora. No debe usarse agua en esta etapa.

4.3.2 Despulpado.

Consiste en retirar la pulpa de la cereza por medio de presión que ejerce la camisa de la despulpadora y debe iniciarse inmediatamente después de que se cosechan los frutos. El retraso por más de 6 horas afecta la calidad de la bebida y puede originar el defecto llamado “fermento”. El café maduro contiene mucílago, que permite el despulpado con solo presionar la cereza. Por tanto, no debe usarse agua para despulpar el café.

4.3.3 Remoción del mucílago.

El mucílago es la baba que recubre el grano despulpado. El mucílago debe removerse por medio del proceso de fermentación natural o mecánicamente. El proceso de fermentación se realiza en los tanques donde se recibe el grano despulpado. En la fermentación natural, se debe controlar el tiempo para asegurar la calidad final del grano, porque si el café se sobrefermenta se producen los defectos de sabor y aroma a vinagre, fermento, piña o vino, cebolla, rancio o stinker. Si se mezclan cafés despulpados de diferentes días puede haber sobrefermentación. Todo beneficiadero debe tener como mínimo dos tanques de fermentación, cada uno de ellos con capacidad para almacenar el café del día pico. Para realizar la fermentación tenga en cuenta: El tiempo, entre 12 y 18 horas, dependiendo de la temperatura. Para estimar el punto de lavado se recomienda utilizar el Fermaestro. Una vez finalizada la fermentación se procede a lavar el café.

4.3.4 Lavado.

El lavado permite retirar totalmente el mucílago fermentado del grano. Debe usarse agua limpia para evitar defectos como el grano manchado, sucio, sabor a fermento y la contaminación.

4.4 Secado de granos.

El secado de granos es un proceso que se lleva a cabo para realizar un almacenamiento adecuado del producto evitando la propagación de hongos ya que si el grano se almacena húmedo sin que el aire pase através de este, producirá mas calor y humedad, por lo tanto el grano caliente se deteriorará mas rápido.

4.4.1 Factores que inciden en el proceso de secado.

Para que el proceso de secado se lleve a cabo de manera continua es indispensable que el aire no contenga mucha humedad. El aire caliente secará el grano con mas rapidez debido a que este puede retener mas agua que el aire frio, por lo tanto será mayor la cantidad de agua que tome del grano; tambien ocurre que al pasar el aire caliente por la superficie del grano éste lo evapora con mayor rapidez; el aire caliente hace que la temperatura del grano aumente permitiendo que el agua que hay en su interior salga rápidamente, el aire toma el agua que sale a la superficie del grano en forma de vapor.

En el momento de someter un producto a un proceso de secado y llevarlo a la humedad requerida de almacenamiento se deben tener en cuenta los siguientes factores:

4.4.1.1 Temperatura del aire:

Al incrementar la temperatura del aire, disminuye la humedad relativa causando la evaporación de la humedad de los granos. Además, el calor aumenta la presión de vapor del grano ocasionando que la humedad interna de éste se mueva a la superficie y se evapore con facilidad. Si se expone el grano a altas temperaturas causara deterioro físico y químico.

4.4.1.2 Humedad relativa:

Se mide en porcentaje y es la cantidad de humedad en relación con la humedad máxima que puede retener el aire a ciertas temperaturas. Si el contenido de humedad del aire permanece igual y la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye.

4.4.1.3 Humedad del grano:

La humedad del grano se expresa en forma porcentual en base húmeda (bh) o en base seca (bs), como la cantidad de agua contenida en el producto húmedo o seco respectivamente así: (Puerta, 2006)

$$\text{Humedad en base húmeda (bh)} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso del producto}} * 100$$

$$\text{Humedad en base seca (bs)} = \frac{\text{peso de agua}}{(\text{peso de producto} - \text{peso de agua})} * 100$$

Los productos se someten a un proceso de secado hasta llegar al porcentaje adecuado de conservación para su almacenamiento, la humedad en cada tipo de producto se establece con investigaciones basadas en valores en los cuales se logra la estabilidad del grano en aspectos biológicos, físicos y químicos.

Niño, (1980) afirma que en los granos el agua está presente en cuatro formas:

Agua superficial, que es el agua depositada por la lluvia o condensación de la humedad del ambiente por los cambios de temperatura y está adherida al grano por las fuerzas capilares y de tensión superficial. El agua absorbida que ocupa espacios intergranulares y poros, proviene de agua superficial que se ha penetrado en el grano y se mantiene dentro principalmente por acción de fuerzas capilares. Agua adsorbida, unida más profundamente y de forma coloidal al grano, fuerzas de atracción molecular más importantes la retienen en su sitio. Por último, el agua de

constitución, es la que esta unida a la materia seca en forma química, forma parte de la sustancia del grano y no es posible removerla sin desnaturalizarlo.

4.4.1.4 Humedad externa del grano:

Humedad de fácil extracción que cubre la superficie del grano y se puede eliminar con ventilación o altas temperaturas.

4.4.1.5 Humedad interna del grano:

Humedad encontrada en el interior del grano de mas difícil extracción.

4.4.1.6 Humedad inicial del grano:

Cantidad de humedad contenida en el grano maduro cuando ha alcanzado su madurez y están listos para su recolección. Esta humedad inicial se encuentra entre los 55% y 52% y se denomina café mojado.

4.4.1.7 Humedad final del grano:

Esta es la humedad del grano luego de ser sometida a un proceso de secado ya sea al sol o mecanico, para su posterior almacenamiento y evitar la propagación de hongos, esta humedad debe encontrarse entre el 12% y 10%.

4.5 Metodo gravimet.

Para medir la humedad de los granos de café en campo, los productores se basan en características físicas como el color, la dureza de la almendra, pero la aplicación de estos métodos trae como resultado café con humedad fuera del rango y pérdidas económicas como lo muestran investigaciones en el Avance Técnico 387 de Cenicafé; se realizó una prueba con 76 caficultores con muestras de café preparadas en Cenicafé con humedad entre el 8% y 14%, se pidió identificar los granos que se encontraban entre el 10% y 12% basado en los criterios de color y dureza que tradicionalmente utilizaban, teniendo como resultado el 30% de los productores identifico el café

en el rango ideal, el 37% asoció el color con más del 12% de humedad y el 33% se inclinó por menos del 10% de humedad. (Oliveros, *et al* 2009)

4.5.1 Procedimiento para medir la humedad del café con el método Gravimet.

Para llevar a cabo este método se deben seguir una serie de recomendaciones como son, emplear café sano, limpio y escurrido en el tanque con al menos una hora, se debe utilizar una canastilla de 12x12cm en la base y 5cm de altura fabricada en malla plástica con aberturas menores a 4mm para evitar la salida y entrada de granos del exterior de la canastilla; de acuerdo al espesor de café utilizado en la pasera se debe llenar la canastilla, si es de 2cm se depositan en la canastilla 200gr de café; para llevar a cabo los volteos del café se debe retirar la canastilla, se debe voltear el café de la canastilla con los dedos evitando la entrada y salida de granos.

Para dar inicio a la determinación del peso, se debe esperar aproximadamente tres días, cuando el peso de la muestra de café de la canastilla se acerque a 115gr o menos, se deben realizar pesos más seguidos ya que está próximo a llegar al 10% de humedad, cuando la muestra se encuentre en 105gr el café debe estar con una humedad del 10% al 12% y será el momento de retirarlo del secador. (Oliveros, *et al* 2009)

4.6 Tipos de secado.

Tradicionalmente se lleva a cabo el proceso de secado en patios de cemento, con el pasar del tiempo las estructuras han cambiado y con ellas los procesos de secado:

4.6.1 Secado al sol.

Hay diferentes métodos en los cuales se puede aprovechar el sol para secar el café, cada uno tiene sus ventajas y desventajas, como el espacio disponible y la cantidad de café a secar. Sin importar el método de secado que se utilice, el objetivo siempre será reducir la humedad del grano para evitar la propagación de hongos o microorganismos que deterioren la calidad del

grano y alteren el sabor de la taza. Secarlo demasiado también trae inconvenientes, ya que el grano se tornara quebradizo y se daña fácilmente en el proceso de trilla causando igualmente perdidas económicas.

El secado al sol se recomienda para fincas con producciones menores a 500 arrobas de café pergamino seco al año.

4.6.1.1 Secado en patio:

En este método el café se distribuye en patios de cemento en capas de aproximadamente 3.5 cm que equivale a 1 arroba de café pergamino seco por metro cuadrado, los patios deben tener una leve inclinación y ser completamente planos para evitar encharcamientos.

4.6.1.2 Secado en carros de madera:

Estructuras móviles de madera tipo cajón montado en rieles de hierro, pisos de madera o esterilla y techos en zinc. En las noches y en clima lluvioso los cajones se guarda bajo el techo de zinc y durante el día se extiende para aprovechar la mayor cantidad de tiempo de sol; la distribución y espesor de masa es igual al secado en patio.

4.6.1.3 Secado en elbas:

Son cajones con piso de madera o cemento y techo en zinc con bisagras, el techo se puede construir de una o dos alas dependiendo del tamaño de cada elba.

4.6.1.4 Secador Solar parabólico o tipo marquesina:

Se construye en planchas de cemento con una cubierta en plástico tipo domo y estructura en guadua o hierro, permite la circulación de aire para que no haya retención de humedad y evitar rehumedecimiento del grano. En algunos casos se instalan cortinas laterales para que el aire caliente y humedad dentro del secador se regule con la temperatura y humedad del ambiente.

4.6.1.5 Camas africanas:

Estructuras rectangulares con fondo de maya, elevadas del piso que permiten la circulación del aire evitando el daño del grano por humedad.

4.6.2 Secado mecánico.

El secado de café mecánico se recomienda para fincas con producción mayor a 500 arrobas de café pergamino seco al año. Los secadores mecánicos se diferencian en el tamaño (una cámara, dos cámaras) en la forma rectangular o tipo silo, fuente de poder que puede ser electricidad, carbón, madera o algún combustible como gas o ACPM, y la cantidad de café que pueden secar que va desde 60 arrobas hasta 500 arrobas.

“El secado mecánico del café se hace en cámaras en las cuales se introduce aire caliente a máximo 50°C, impulsado por un ventilador, el cual atraviesa la masa de café.” (CENICAFÉ)

En los silos, el secado de los granos puede tardar entre 25 y 30 horas, contiene una unidad de calentamiento del aire de secado, un ventilador y dos cámaras en las cuales se deposita el grano, la capacidad de los silos varía entre 60 y 500 arrobas de café pergamino seco y se manejan espesores de masa de aproximada 40 cm, según lo indica la cartilla 21 de publicada por Cenicafé.

5 Materiales.

- ✓ (1) Secador solar tipo marquesina construida en estructura tubular metálica galvanizada, 4 paseras de secado de 1,70 x 7,0 metros en dos niveles, en estructura de ángulo metálico y malla cafetera o red 5.000 de 4X4 mm.
- ✓ (1) Determinador de humedad de granos y semillas KETT modelo PM-450 con rango de medición de entre 1-40% de humedad, de precisión de +/- 0.5% (bajo el 20%).
- ✓ (2) Datalogger de Temperatura Y Humedad Con Display DT-172, con un rango de temperatura de -40 a 70°C y una precisión de 1°C; rango de humedad de 0 a 100% y una precisión de +2% RH. Serán instaladas en las bandejas superior e inferior en el interior de la marquesina y en la parte externa del secador.
- ✓ (3) Termo higrómetro digital JUMBO sin sonda doble display con rango de temperatura de entre -10+50°C y humedad relativa entre el 20% - 90% H.R
- ✓ (1) Rastrillo revolvedor - recogedor para secado de café, tipo CENICAFÉ 8D, Número de alabes: 8 Un, ancho del alabe: 40 mm, ancho total del rastrillo: 320 mm, largo: 340 mm.
- ✓ (1) Cono plástico con tapa, para el control de la fermentación del mucílago del café, tipo Cenicafé FERMAESTRO, con las características definidas en el avance técnico No. 431 de CENICAFÉ, Ancho máximo: 228 mm, Altura de paleta: 260 mm, Diámetro de orificios: 51 mm.
- ✓ (1) Balanza electrónica con precisión 1 gramo * 5 kilogramos.
- ✓ (8) Canastillas negras en malla cafetera o red 5000 4x4mm.
- ✓ Horno o estufa de convección forzada MEMMERT – alemán modelo UF 55.

6 Metodología.

Esta investigación se llevó a cabo en uno de los predios en los cuales anteriormente se han construido estos sistemas de secado tipo marquesina con el apoyo del Grupo Asociativo El Desarrollo, asociación que agremia a cerca de 230 familias productoras del municipio; este proyecto se fundamentó en la construcción de 41 marquesinas para secado solar de café, para un mismo número de beneficiarios. Las marquesinas están construidas en estructura tubular metálica galvanizada, cuentan con un sistema de dos cortinas laterales, que permite regular el flujo del aire, una ventana cenital, que evita revertir el proceso de secado, 4 paseras de secado de 1,70 x 7,0 metros en dos niveles, en estructura de ángulo metálico y malla cafetera o red 5.000 de 4 X4 mm.



*Figura 1. Secador solar tipo marquesina de dos niveles
Autor: Astrid Solanyi Ortiz Navarro*



Figura 2. Parte interna secador solar tipo marquesina (bandejas)
Autor: Astrid Solanyi Ortiz Navarro



Figura 3. Vista lateral secador solar tipo marquesina (Cortinas)
Autor: Astrid Solanyi Ortiz Navarro

6.1 Eleccion y ubicación del productor beneficiario.

Para realizar la elección del productor donde finalmente se llevaría a cabo la investigación se tomó la ubicación geográfica, información que durante la construcción de los secadores solares se fue recolectando (Figura4), se tomaron en cuenta diferentes parámetros como ubicación y accesibilidad a la finca, cantidad de café producido, altitud y tipo de clima.

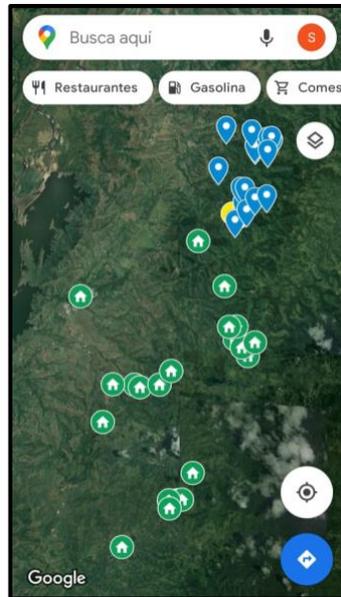


Figura 4. Ubicación de fincas donde fue instalado el secador por Asodesarrollo
Fuente: Google Maps- Servimagro SAS.

Una vez elegida la finca se procedió a contactar al productor que cumplió con los requerimientos necesarios para realizar el estudio del secador solar de café, para así tener el permiso de realizar la recolección de datos; se inició con la socialización del anteproyecto y se tomó en cuenta los requerimientos y condiciones del productor para poder dar inicio a la instalación de los equipos necesarios para la toma de datos. El nombre del beneficiario es Leonel Reyes se encuentra entre los municipios de Garzón y Gigante con coordenadas 2,2537787, -75,5242832, (Figura5) a 457 m del casco urbano del Centro Poblado Zuluaga, corregimiento del municipio de Garzón y a 15 km del casco urbano del municipio de Gigante en el departamento del Huila.

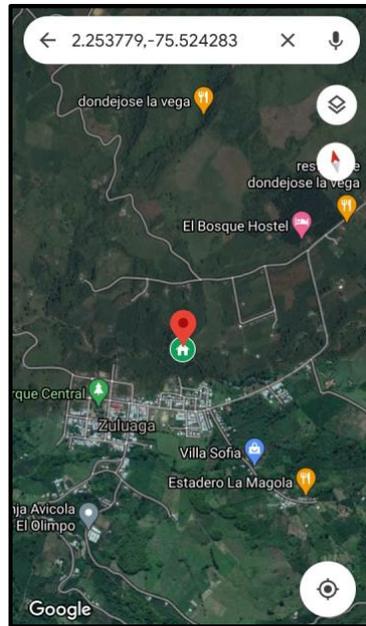


Figura 5. Ubicación finca Leonel Reyes
Fuente: Google Maps – Servimagro SAS

6.2 Calibración de equipos.

Para que los datos recolectados fueran reales y concluyentes se llevó a cabo la calibración de grameras, termohigrometros y medidor de humedad de granos y se corroboró que funcionaran perfectamente.

Las grameras fueron calibradas entre si, colocando en cada una la misma cantidad de masa y asegurando que los pesos fueran próximos entre ellas, encontrando una diferencia de 0,07gr aproximadamente. (Figura 6)



Figura 6. Calibración de grameras
Autor: Soranyi Aracely Lizcano Vargas

Los termohigrometros o medidores de temperatura y humedad relativa se sometieron a temperaturas extremas y simultaneamente dentro del secador y fuera de el, (Figura 7) el rango de diferencia de temperatura entre ellos no generó datos que pudieran alterar significativamente los resultados finales de la investigación.



Figura 7. Calibración de termohigrometros
Autor: Soranyi Aracely Lizcano Vargas

Para validar la información que arrojaba el método gravimet se utilizó el medidor instantáneo de granos y semillas Kett modelo PM-450, con un rango de humedad de 1-40% con un tiempo de respuesta instantáneo y rango de precisión de +/- 0,5% con medidas inferiores al 20%. La calibración del medidor de humedad se realizó con el listado de granos y semillas para los cuales se apropió, para medir la humedad del café pergamino se calibró en el punto 25. Parchment

coffee A (Arábica) (Figura 8); se tuvo en cuenta que dicho medidor calculaba humedades entre 4% y 40% por lo tanto las humedades registradas por el equipo Kett PM-450 se plasmaron en tablas cuando la humedad del grano estaba por debajo del 40%.

10. Product List				
- version 4501				
No.	Products	Measuring range	Standard method	S.E.C. (Range)
1	Wheat	6-40%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
2	Barley	6-40%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
3	Corn (Maize)	6-35%	130°C 5g ground 4hr	0.5% (6-20%)
4	Soybean	6-30%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (6-20%)
5	Canola (Rapeseed)	6-30%	105°C 5g whole 5hr	0.5% (6-20%)
6	Rye	6-30%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
7	Oats	6-30%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
8	Sorghum	6-30%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
9	Sunflower (Large)	6-30%	105°C 5g whole 17hr	0.5% (6-20%)
10	Sunflower (Medium)	4-20%	105°C 5g whole 17hr	0.5% (4-20%)
11	Sunflower (Small)	6-20%	105°C 5g whole 17hr	0.5% (6-20%)
12	Long paddy	9-35%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (9-20%)
13	Long milled rice	9-20%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (9-20%)
14	Hazelnuts	4-15%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (4-15%)
15	Buckwheat	6-30%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (6-20%)
16	Peanuts	4-20%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (4-20%)
17	Black pepper	4-20%	Toluene distillation	0.5% (4-20%)
18	Mung bean	6-30%	130°C 5g ground 2hr	0.5% (6-20%)
19	Beans	6-30%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (6-20%)
20	Pea	6-35%	105°C 5g ground 5hr	0.5% (6-20%)
21	Clove	6-20%	103°C 5g whole 17hr	0.5% (6-20%)
22	Dry cherry coffee	4-40%	105°C 10g whole 16hr	0.5% (4-20%)
23	Green coffee	4-30%	105°C 10g whole 16hr	0.5% (4-20%)
24	Roast coffee	1-20%	103°C 5g ground 2hr	0.5% (1-20%)
25	Parchment coffee A (Arabica)	4-40%	105°C 10g whole 16hr	0.5% (4-20%)
26	Parchment coffee R (Robusta)	4-40%	105°C 10g whole 16hr	0.5% (4-20%)

Figura 8. Listado de calibracion del medidor de humedad PM-450
Fuente: Catalogo Kett PM-450

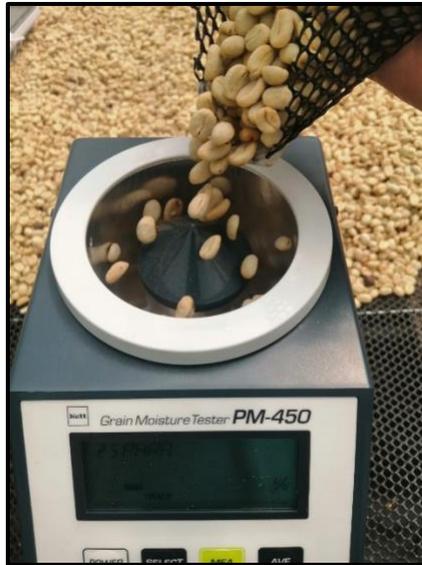
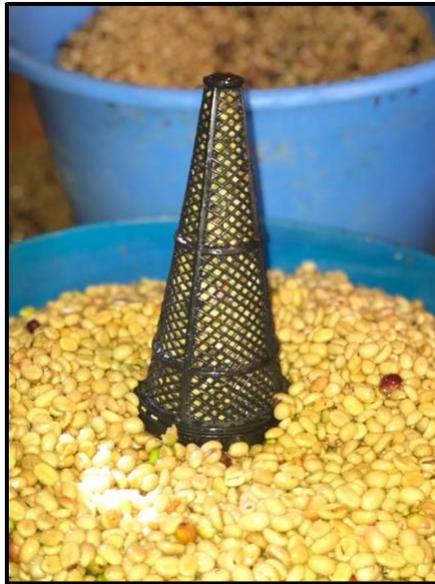


Figura 9. Medidor de humedad de granos y semillas PM-450
Fuente: Soranyi Aracely Lizcano Vargas

6.3 Ejecución.

Se inició la recolecta del café cereza en el segundo pase de la cosecha, ya que es el tiempo donde se encuentra el grano en su punto de maduración ideal; siguiendo las indicaciones del productor se cosecharon los granos maduros y antes de realizar el proceso de despulpado se seleccionaron para evitar que granos con defectos y algunos granos verdes entraran al tanque de lavado. Este mismo procedimiento se llevo a cabo finalizando el tiempo de cosecha para evaluar el secador cuando la cantidad de masa de café sea menor.

Se realizó el proceso de beneficio del café y con ayuda del Fermaestro como lo indica Peñuela, *et al* (2013) en el avance tecnico 431 de Cenicafé, se determinó el tiempo de finalizacion de la fermentación del mucilago de café y el momento en que el café estaba listo para lavar (Figura 10).



*Figura 10. Fermaestro para calcular el tiempo de fermentacion del café
Fuente: Soranyi Aracely Lizcano Vargas*

Una vez terminado el proceso de fermentado se procedió a lavar el café, para garantizar que no queden residuos de mucilago se utilizó la pala plástica recomendada por Cenicafé en su avance técnico 0361 (Sanz, *et al* 2007). Se dejó escurrir durante 2 horas en la alberca de lavado para posteriormente trasladarlo al secador.

Para calcular la humedad inicial de los granos y dar inicio al análisis de secado con el método Gravimet (Oliveros, *et al* 2009), se recogieron 5 muestras de 200 gramos café pergamino húmedo antes de ser llevadas al secador y se empacaron en bolsas resellables para evitar pérdida de humedad en el transporte hasta la Universidad Surcolombiana Sede Garzón donde se llevó a cabo el método de la estufa. Según la Norma Técnica Colombiana 2523 “Café verde, determinación de la perdida de masa a 105°C” (ICONTEC, 2005); se llevaron las muestras al horno de convección forzada MEMMERT – alemán modelo UF 55 a una temperatura de 105°C durante 16hr para determinar la perdida de masa y por consiguiente el contenido de humedad de los granos; esto se determinó realizando la diferencia entre pesos (inicial y final) y dividiendo después por el peso inicial, este es el resultado del porcentaje de materia seca de la muestra.

$$\%Materia\ seca = \frac{Pi\ muestra - pf\ muestra}{Pi\ muestra} * 100$$

Pi muestra = Peso inicial de la muestra

Pf muestra = Peso final de la muestra

$$\%Humedad\ muestra = 100 - \%Materia\ seca$$

De esta manera se determinó el porcentaje de humedad inicial de la muestra de café a secar en el sistema de secado solar tipo marquesina.

Luego de escurrir por dos horas el café lavado se traslada hasta el secador y se extiende por las bandejas superior e inferior, según lo indica Valencia *et al.* (1976) la cantidad de café a secar por metro cuadrado para lograr un espesor de masa de 3cm es de 1@ (25Kg), por lo tanto para cada bandeja, con un area de 11,9 m² (1,7x7,0m) se deben depositar 300 kg de café mojado, deduciendo que las bandejas superiores secarán mas rápido el café se depositan 300kg y 200 kg en las bandejas inferiores para un total de 1000 kg de café mojado en todo el sistema para la temporada de alta cosecha; para la temporada de baja cosecha se manejaron 200 kg de café mojado en la bandeja superior y 150 kg de café mojado para la bandeja inferior. Se dedujo que al encontrarse más cerca de la superficie del plástico la bandeja superior iba a secar más rápido el café, por lo tanto se extendió en las bandejas superiores una capa de café mas gruesa que en las bandejas inferiores.

Para realizar la distribución homogénea del café por las paseras se utilizó el rastrillo secador, investigación realizada por Cenicafé y publicada en el Avance Técnico 0346 (Oliveros, *et al* 2006) con este mismo elemento se realizaron volteos diarios del café, de 2 a 3 veces en la mañana e igualmente en la tarde.

Para monitorear diariamente la humedad del grano se llevó a cabo el método Gravimet (Oliveros, *et al* 2009), se instalaron 2 canastillas en las paseras superiores y dos en las bandejas

inferiores y de acuerdo a la cantidad de café que se distribuyó se añadió el café a las canastillas; los pesos de las canastillas se promediaron en el momento de la recolección de datos y para calcular diariamente el porcentaje de humedad presente en los granos se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Humedad}(gr) = P.I \text{ Muestra} * \text{media}(\%)$$

$$\text{Peso materia seca} = P.I \text{ muestra} - \text{humedad} (gr)$$

$$\% \text{ Humedad gravimet} = \frac{\text{Peso canastilla} - \text{Peso materia seca}}{\text{Peso canastilla}}$$

P.I Muestra: Peso inicial de la muestra (gramos de café en las canastillas)

Media(%): promedio de humedad inicial del grano

Peso canastilla: Peso diario que se registra de las canastillas



Figura 11. Instalación de canastillas en las bandejas superiores e inferiores.

Fuente: Astrid Solanyi Ortiz Navarro

Para monitorear la humedad relativa y temperatura del secador se instalaron termohigrómetros en las bandejas superiores e inferiores y fuera del secador, registrando entre 1 a 3 datos diarios en horarios variables donde la temperatura registra cambios significativos, estos datos fueron registrados en tablas.

7 Resultados.

Las siguientes tablas (Tabla No.1, Tabla No.2) muestra los ensayos realizados para la determinación de la humedad inicial de los granos ingresados al sistema de secado solar para temporadas de alta y baja cosecha respectivamente. Se tuvo en cuenta datos estadísticos para hallar la variabilidad de los datos registrados

No. DE MUESTRAS	P.INICIAL DE LA MUESTRA (GR)	P.FINAL DE LA MUESTRA (GR)	%MATERIA SECA	%HUMEDAD
1	200	102,5	48,75	51,35
2	200	103,1	48,45	51,55
3	200	101,3	49,35	50,65
4	200	101,8	49,1	50,9
5	200	102,3	48,85	51,15
MEDIA				51,12
VARIANZA				0,13
S				0,36
C.V (%)				0,70

Tabla 1. Registro de datos método de la estufa para la determinación de la humedad inicial del grano (Alta cosecha)
Fuente: A.Solanyi Ortiz Navarro – S. Aracely Lizcano Vargas

No. DE MUESTRAS	P.INICIAL DE LA MUESTRA (GR)	P.FINAL DE LA MUESTRA (GR)	%MATERIA SECA	%HUMEDAD
1	200	107,3	46,35	53,15
2	200	105,7	47,15	52,85
3	200	103,2	48,4	51,6
4	200	105,2	47,4	52,6
5	200	106,5	46,75	53,25
MEDIA				52,69
VARIANZA				0,44
S				0,66
C.V (%)				1,25

Tabla 2. Registro de datos método de la estufa para la determinación de la humedad inicial del grano (Baja cosecha)
Fuente: A.Solanyi Ortiz Navarro – S. Aracely Lizcano Vargas

7.1 Registro y análisis de temperatura y humedad relativa interna y externa.

El registro de la Tabla No.1 indica que el café en temporada de alta cosecha ingresó al sistema con un porcentaje de humedad inicial del 51,12%, de igual forma, el registro de la media en la Tabla No.2 muestra que en temporada de baja cosecha el café entra al secador con una humedad inicial aproximada del 52,69%.

La humedad media y la desviación estándar calculada, nos indica que los valores utilizados para el cálculo de la humedad inicial son representativos para generalizar sobre la humedad de todo el café que se secó, ya que los valores de desviación y varianza son bajos y tienden a cero.

La siguiente tabla (Tabla 3) muestra los datos registrados durante la investigación, datos de temperatura superior e inferior dentro del secador, temperatura externa del sistema y humedad interna y externa del secador, como también hora de la muestra y si las cortinas del sistema estaban cerradas o abiertas.

DÍA	HORA	CORTINAS	TEMPERATURA SUPERIOR (°C)	TEMPERATURA INFERIOR (°C)	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	HUMEDAD SUPERIOR %	HUMEDAD INFERIOR %	HUMEDAD EXTERNA %
1	11:30 a. m.	Cerradas	31,2	27,5	32,5	74	93	48
1	2:12 p. m.	Cerradas	39,4	31,5	31	52	82	52
1	2:55 p. m.	Cerradas	39,4	30,3	33,6	61	82	45
2	9:54 a. m.	Cerradas	31,6	24,5	31	59	93	53
2	11:54 a. m.	Cerradas	37,9	28	28	48	96	72
2	12:30 p. m.	Abiertas	37,9	26,9	29	47	84	72
2	3:17 p. m.	Abiertas	33,6	25,9	26	61	97	64
3	9:31 a. m.	Cerradas	29,7	25	25,6	69	99	61
3	11:57 a. m.	Cerradas	40,9	29,2	29,9	49	98	53
3	12:20 p. m.	Abiertas	46	28,8	29,9	36	89	53
3	3:06 p. m.	Abiertas	39,9	29,5	27,8	42	82	50
4	9:04 a. m.	Cerradas	24,7	21,6	20,9	79	99	80
4	11:25 a. m.	Cerradas	29,5	24,3	25,7	57	96	60
5	9:33 a. m.	Cerradas	30	25,1	22,9	56	91	74
5	5:45 p. m.	Cerradas	24,3	25,2	23,3	74	86	77
6	9:09 a. m.	Cerradas	31,2	24,8	24,3	79	88	74
6	11:18 a. m.	Cerradas	44,8	29,8	27,9	37	70	59
6	2:10 p. m.	Abiertas	47,3	32,5	31,8	28	62	54

7	9:08 a. m.	Cerradas	31,8	26,3	26,2	52	86	64
7	12:00 p. m.	Cerradas	37,2	28	27,9	47	87	58
7	2:10 a. m.	Abiertas	40,3	30,3	28,8	36	62	50
8	9:03 a. m.	Cerradas	34,5	28,3	22,1	47	70	75
8	10:40 a. m.	Cerradas	41,1	29,5	27,1	38	77	62
8	12:15 p. m.	Abiertas	41,7	30,5	30,1	30	65	48
8	2:46 p. m.	Abiertas	46,3	31,3	32,6	26	57	46
9	9:27 a. m.	Cerradas	23,9	21,5	21,4	53	72	75
9	10:50 a. m.	Cerradas	27	22,8	23,3	40	76	62
9	2:00 p. m.	Abiertas	43,3	28,1	29,7	32	73	51
10	9:21 a. m.	Cerradas	31,8	24,4	26,3	53	70	60
10	11:07 a. m.	Cerradas	36,4	26,4	29,9	41	74	52
10	2:38 a. m.	Abiertas	41	29,8	28,1	32	65	50
11	7:32 a. m.	Cerradas	20,3	19,8	18,9	79	99	95
11	5:28 p. m.	Cerradas	***	27,1	24,6	***	74	64
12	7:26 a. m.	Cerradas	***	18,2	17,8	***	96	95
12	10:00 a. m.	Cerradas	***	30,5	26	***	68	66
13	8:00 a. m.	Cerradas	***	22,5	19,7	***	85	85
13	12:05 p. m.	Cerradas	***	32,8	26,9	***	63	62
14	9:35 a. m.	Cerradas	***	30,2	26,4	***	67	62
14	11:00 a. m.	Cerradas	***	30,5	27,6	***	62	57
14	1:21 p. m.	Abiertas	***	37,6	29,9	***	45	49
14	2:00 p. m.	Abiertas	***	38,3	30,2	***	32	45
15	9:37 a. m.	Cerradas	***	30,4	24,5	***	47	63

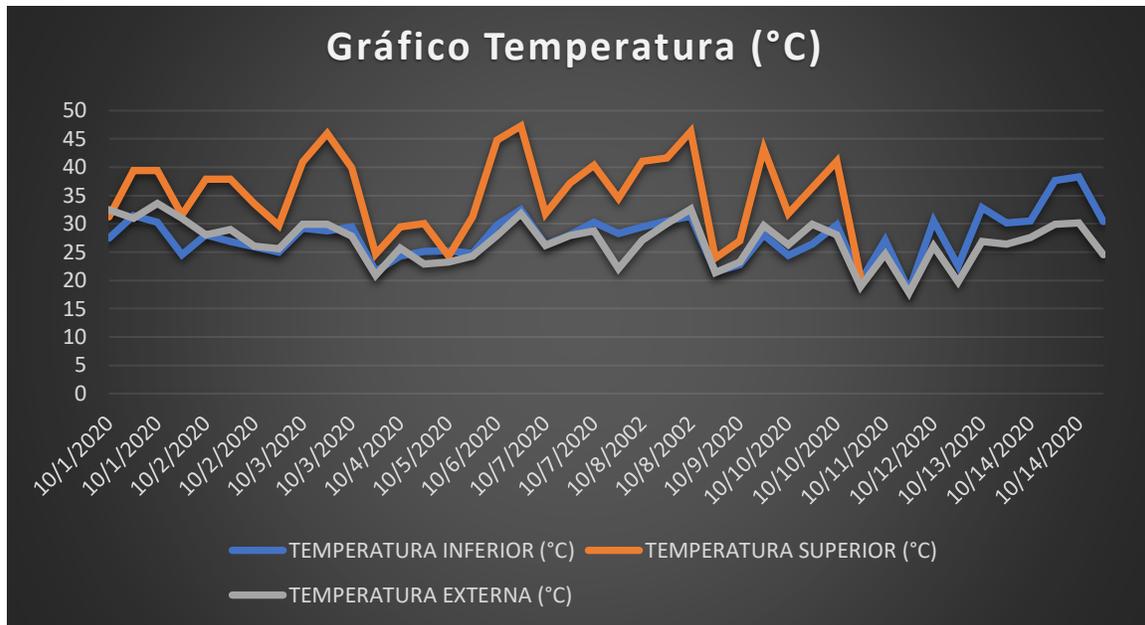
Tabla 3. Registro de variables en alta cosecha (Temperatura superior e inferior del secador, temperatura interna y externa del sistema y humedad interna y externa)

Fuente: A. Solanyi Oritz Navarro – S. Aracely Lizcano Vargas.

Para cada día se tomaron entre 2 a 4 datos en horarios que presentaran alteraciones significativas de la temperatura, no se presentaron temperaturas externas mayores a 35°C durante todo el proceso de secado, esto no quiere decir que las temperaturas internas no subieron significativamente; en los días 3, 6, 7, 8, 9 y 10 las temperaturas internas del secador en la bandeja superior fueron mayores a 40°C, siendo necesario subir las cortinas para evitar que los granos se cristalizaran. El día con mayor registro de temperatura fue el día 3 con 46°C en la bandeja superior, 28,8°C en la bandeja inferior y una temperatura externa de 29,9°C, el día 8 con 46,3°C en la bandeja superior, 31,3°C en la bandeja inferior y 32,6°C de temperatura externa.

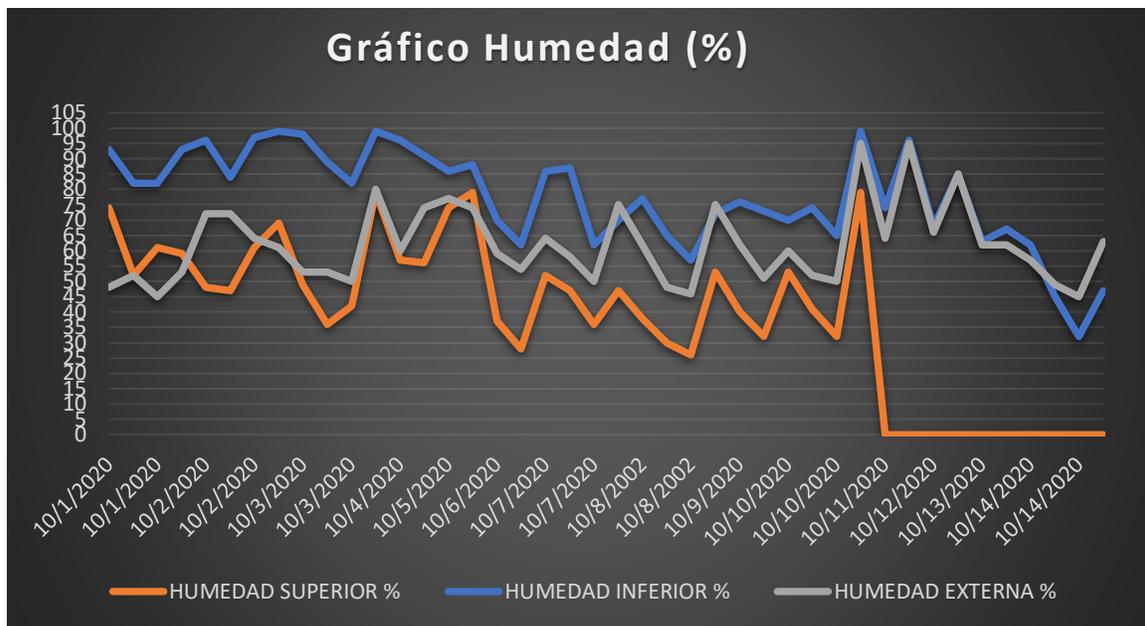
**Nota: Después del día 11 no se registraron datos de temperatura ni humedad relativa en la bandeja superior debido a que el café depositado en esta bandeja llegó al 10% de humedad el día 11 y el café fue retirado.

A continuación se encuentra la gráfica (Gráfica 1) que resume la tabla 1 donde se registran variables de temperatura interna y externa del secador.



Gráfica 1. Temperatura interna y externa del secador en temporada de alta cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas.

En la gráfica se observa que la línea que indica la temperatura superior siempre es mayor a las líneas de temperatura externa e inferior debido a que la radiación solar impacta directamente la parte superior del secador, por lo tanto la temperatura en la bandeja superior siempre será mayor; la temperatura en la bandeja inferior y al exterior del secador se mantienen aproximadamente igual gracias a las cortinas laterales que son subidas en el momento en que la temperatura superior del secador alcanza los 40°C, también debido a que la humedad en la bandeja inferior será mayor, esto permite que la temperatura sea regular y no incremente causando cristalización de los granos.



Gráfica 2. Humedad interna y externa del secador en temporada de alta cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro - Soranyi A. Lizcao Vargas.

La grafica 2 muestra las variaciones de la humedad interna y externa del secador, la humedad superior se registro hasta el dia 11 debido a que los granos depositados en esta bandeja terminaron su proceso de secado y fueron retirados para evitar pérdidas excesivas de humedad y cristalización del grano. Se evidencia que la humedad inferior es siempre mayor debido a que la pérdida de humedad es regular y la radiacion solar no es directa en esta bandeja; la humedad externa y superior se mantuvo sobre un mismo rango.

Los datos consignados en la siguiente tabla (Tabla 4) son registros de temperatura interna y externa del secador y humeada relativa interna y externa del sistema en temporada de baja cosecha.

DIA	HORA	CORTINAS	TEMPERATURA SUPERIOR (°C)	TEMPERATURA INFERIOR (°C)	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	HUMEDAD SUPERIOR %	HUMEDAD INFERIOR %	HUMEDAD EXTERNA %
1	11:30 am	Cerradas	39,4	31,5	31,6	60	92	43
1	03:05 pm	Cerradas	37,3	31,3	32,6	63	85	45
2	9:30 am	Cerradas	29,2	23,6	22,4	68	92	74
2	12:30 pm	Cerradas	31,2	25,1	24,9	59	83	56
2	3:20 pm	Abiertas	30,6	24,7	23,9	61	85	64
3	8:20 am	Cerradas	24,8	21,4	19,9	69	99	78

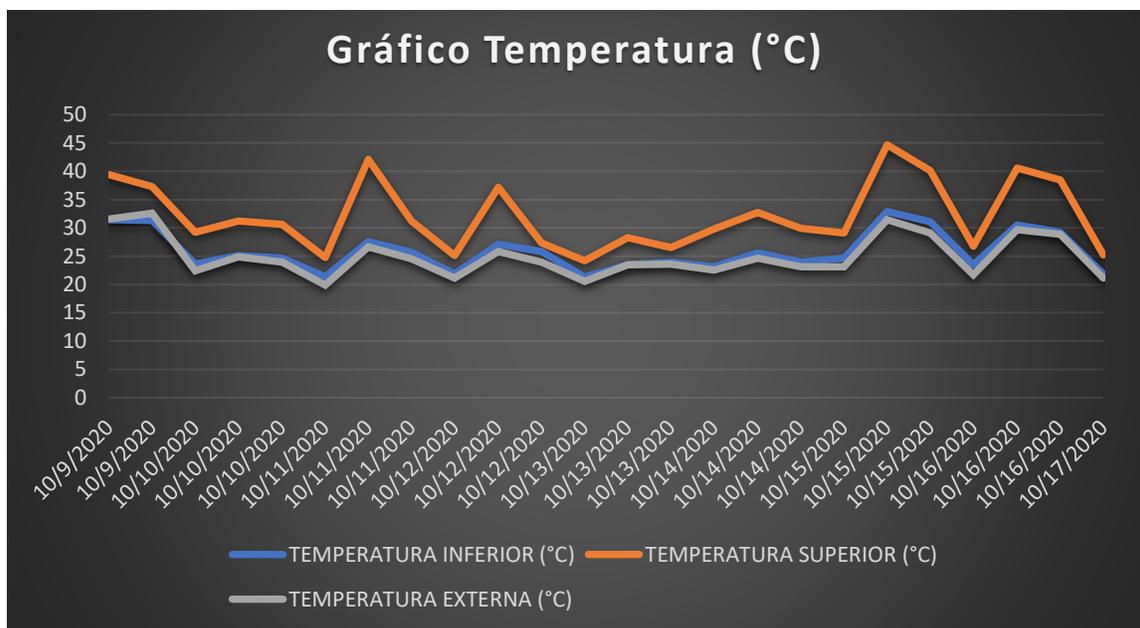
3	12:45 pm	Cerradas	42,1	27,6	26,7	53	72	42
3	3:35 pm	Abiertas	31,2	25,7	24,5	58	82	61
4	9:40 am	Cerradas	25,1	21,9	21,2	67	91	79
4	12:25 pm	Cerradas	37,2	27,1	25,8	49	70	45
4	4:05 pm	Abiertas	27,3	25,8	23,9	55	89	57
5	9:23 am	Cerradas	24,2	21,3	20,5	65	90	75
5	12:18 pm	Cerradas	28,3	23,5	23,5	61	85	71
5	3:43 pm	Cerradas	26,5	23,9	23,6	70	84	73
6	9:15 am	Cerradas	29,8	23,1	22,5	65	88	74
6	12:48 pm	Cerradas	32,8	25,6	24,6	50	70	55
6	3:07 pm	Abiertas	29,9	23,9	23,1	60	72	59
7	9:08 am	Cerradas	29,1	24,6	23,1	55	86	70
7	12:47 pm	Cerradas	44,7	32,9	31,5	49	64	46
7	2:45 pm	Abiertas	40,1	31,1	29,1	52	62	51
8	8:55 am	Cerradas	26,8	23,5	21,7	47	65	69
8	12:15 pm	Abiertas	40,6	30,5	29,7	43	58	51
8	2:46 pm	Abiertas	38,5	29,2	28,9	45	57	52
9	8:30 am	Cerradas	25,3	21,8	21,2	49	67	68

Tabla 4. Registro de variables en baja cosecha (Temperatura superior e inferior del secador, temperatura interna y externa del sistema y humedad interna y externa)

Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

En la anterior tabla (Tabla 4) se registraron datos en temporada de baja cosecha, datos de temperatura externa no mayores a 32°C esto quiere decir que las temperaturas internas no alcanzaron temperaturas mayores a 45°C; la temperatura máxima en la bandeja superior fue de 44,7°C en el día 7, los días 1, 3, y 8 alcanzaron temperaturas de 40°C a 42°C y para evitar que las temperaturas llegaran a mas de 50°C se dio uso a las cortinas laterales. En el proceso de secado la humedad interna mayor en la bandeja superior fue de 70% en el día 5 debido a que la radiacion solar en ese día fue poca y la temperatura en 23°C; la bandeja inferior alcanza humedades del 99% en el día 3 debido a las bajas temperaturas presentes en ese día.

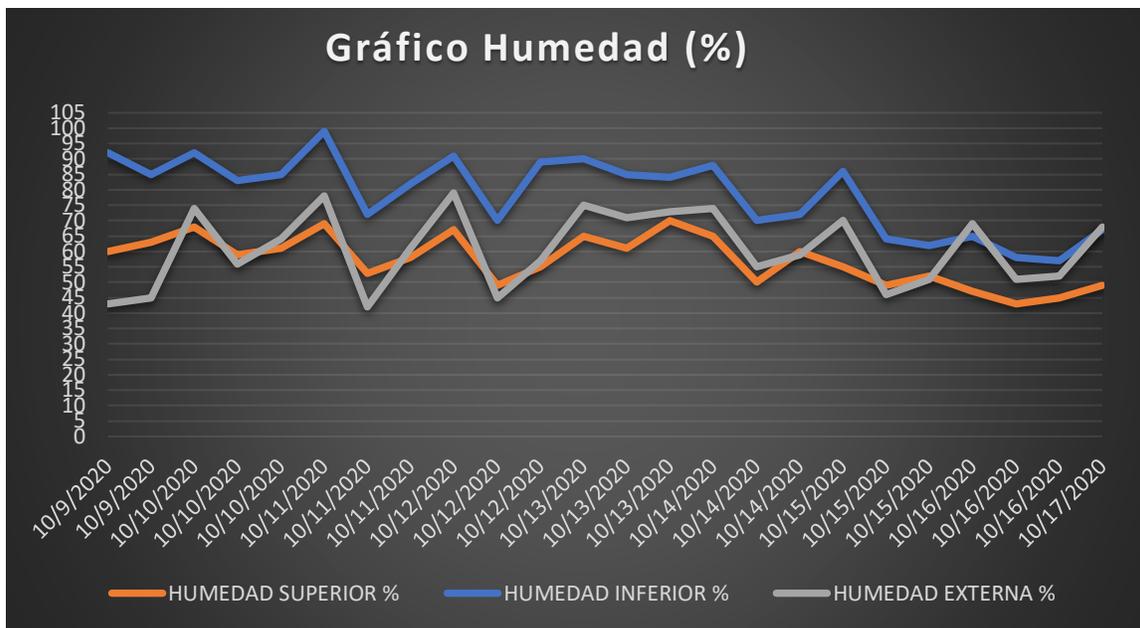
A continuación se muestra la grafica de temperatura en temporada de baja cosecha.



Gráfica 3. Temperatura interna y externa del secador en temporada de baja cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

En la grafica 3 se evidencia un registro de temperatura regular en el interior y exterior del secador, siendo siempre la temperatura en la bandeja superior mayor a la inferior y externa, esto a causa de la radiacion directa del sol a la bandeja superior; las temperaturas inferior y externas se mantienen sobre una misma línea registrando poca variación.

La siguiente gráfica (Gráfica 4) muestra la variabilidad de la humedad interna y externa del secador en temporadas de baja cosecha, indicada por la línea azul la bandeja inferior alcanza altos porcentajes de humedad debido a que la pérdida de humedad es menor ya que la radiacion solar es poca. La humedad externa se mantiene un poco mayor a la humedad en la bandeja superior debido a que la temperatura en la bandeja superior es mayor, por lo tanto el contenido de humedad disminuye.



Gráfica 4. Humedad interna y externa del secador en temporada de baja cosecha
 Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas.

7.2 Registro y análisis método gravimet.

En el análisis de datos del método gravimet se hallaron datos como el peso de la materia seca (gr) y el peso de la humedad (gr) para poder realizar el cálculo del porcentaje de humedad con el método gravimet; los datos para el análisis en temporada de alta y baja cosecha se encuentran depositados en las siguientes tablas.

	B.superior	B.inferior
P.inicial de la muestra	300	200
materia seca (gr)	146,64	97,76
humedad (gr)	153,36	102,24

Tabla 5. Datos para el cálculo del método gravimet en temporada de alta cosecha
 Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

	B.superior	B.inferior
P.inicial de la muestra	200	150
materia seca (gr)	94,62	70,965
humedad (gr)	105,38	79,035

Tabla 6. Datos para el cálculo del método gravimet en temporada de baja cosecha
 Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

Para la temporada de alta cosecha, se manejaron canastillas en las bandejas superiores con una masa de 300 gr de café húmedo y 200gr de café se depositaron en las bandejas inferiores; en temporada de baja cosecha se depositaron 200 gr en las bandejas superiores y 150gr en las bandejas inferiores; era necesario tener el dato del peso de la materia seca y el peso de la humedad en gramos para poder realizar los cálculos del porcentaje de humedad diario; en temporada de alta cosecha el peso de la materia seca para 300gr de café húmedo fue de 146,64gr y el peso de la humedad fue de 153,36gr, para 200gr fue de 97,76 gr en materia seca y 102,24gr de humedad. En temporada de baja cosecha el peso de la materia seca para 200gr fue de 94,62gr y 105,38gr de humedad, para 150gr de café húmedo la materia seca fue de 70,96gr y 79,03gr de humedad. (Tabla 5) (Tabla 6).

A continuación, se encuentra la tabla (Tabla 7) donde se registró el peso diario de las canastillas de las bandejas superior e inferior en temporada de alta cosecha.

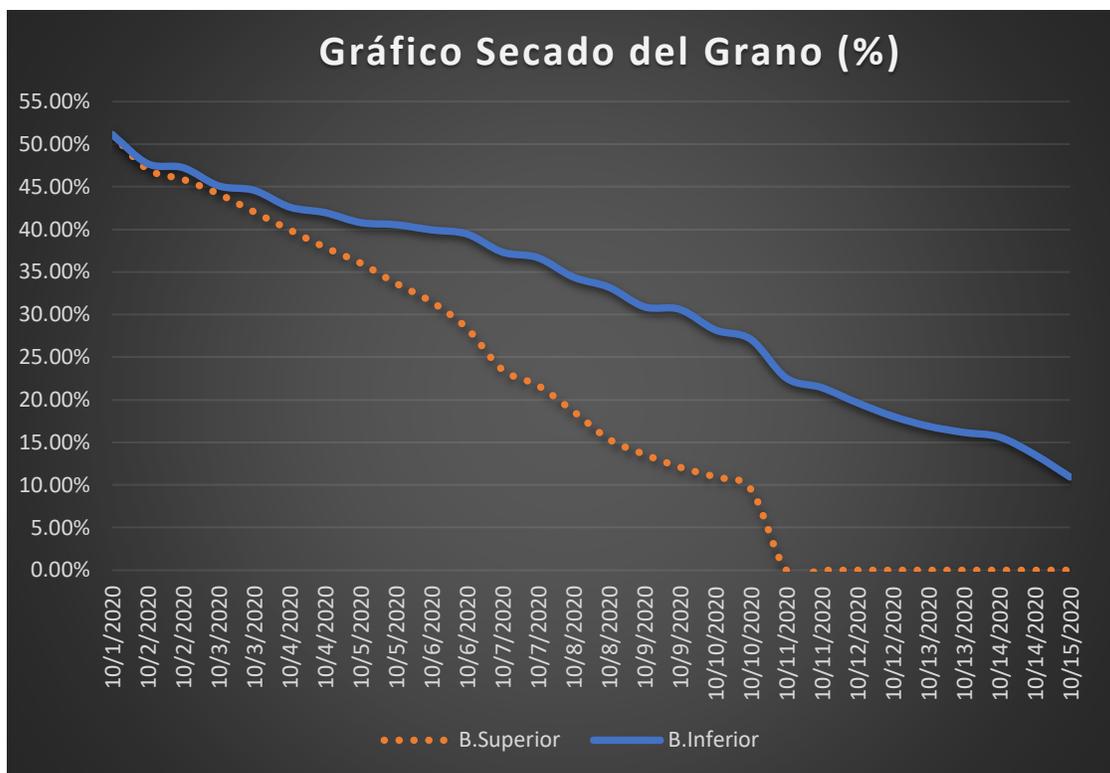
Dia	Hora	PESO		%H. GRAVIMET	
		B.Superior	B.Inferior	B.Superior	B.Inferior
1	11:30 a. m.	300	200	51,12%	51,12%
2	9:52 a. m.	276,86	186,94	47,03%	47,71%
2	12:00 p. m.	270,86	185,28	45,86%	47,24%
3	9:31 a. m.	262,59	178,07	44,16%	45,10%
3	1:30 p. m.	253,02	176,4	42,04%	44,58%
4	9:40 a. m.	244,15	170,36	39,94%	42,62%
4	1:55 p. m.	236,05	168,45	37,88%	41,96%
5	8:50 a. m.	229,27	165,12	36,04%	40,79%
5	12:40 p. m.	221,03	164,42	33,66%	40,54%
6	9:11 a. m.	214,04	162,77	31,49%	39,94%
6	1:05 p. m.	204,74	161,47	28,38%	39,46%
7	9:12 a. m.	191,74	155,99	23,52%	37,33%
7	1:46 p. m.	187,23	154,39	21,68%	36,68%
8	9:10 a. m.	180,23	149,01	18,64%	34,39%
8	1:30 p. m.	173,27	146,37	15,37%	33,21%
9	9:30 a. m.	169,72	141,49	13,60%	30,91%
9	1:21 p. m.	166,81	140,89	12,09%	30,61%
10	9:23 a. m.	164,64	136,15	10,93%	28,20%

10	1:38 p. m.	162,03	134,1	9,50%	27,10%
11	9:37 a. m.	***	126,23	***	22,55%
11	12:45 p. m.	***	124,42	***	21,43%
12	8:50 a. m.	***	121,67	***	19,65%
12	1:10 p. m.	***	119,32	***	18,07%
13	9:30 a. m.	***	117,65	***	16,91%
13	1:45 p. m.	***	116,62	***	16,17%
14	9:30 a. m.	***	115,89	***	15,64%
14	1:15 p. m.	***	113,11	***	13,57%
15	10:25 a. m.	***	109,76	***	10,93%

*Tabla 7 Registro de pesos para calculo del metodo gravimet en alta cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas*

Se registró el peso de las canastillas 2 veces al día, teniendo como resultado que la bandeja superior finalizó el proceso de secado en 10 días, se retiró el café del secador con un porcentaje de humedad de 9,50%, por recomendación del productor para lograr que los granos más secos equilibren los granos que les falta perder humedad se agrupó café en el centro de las bandejas, debido a esto el café en la bandeja superior perdió un poco más de humedad del rango de comercialización y almacenamiento. Las bandejas inferiores terminaron el proceso de secado en 15 días, (rango recomendado por Cenicafé en la cartilla cafetera 21 “El tiempo requerido para secar el café está entre 7 y 15 días, dependiendo de la temperatura del lugar y las lluvias.” (CENICAFÉ)) con un porcentaje de humedad de 10,93%.

Seguidamente se encuentra la gráfica de la curva de secado de los granos para la temporada de alta cosecha. (Gráfica 5)



Gráfica 5. Curva de secado de grano en las bandejas superior e inferior en temporada de alta cosecha.

Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas.

En la gráfica se evidencia una velocidad de secado mayor en las bandejas superiores debido a la alta radiación solar presente en la superficie del secador, gracias a esto el café depositado en estas bandejas finaliza el proceso de secado en 10 días; en la gráfica se observa una pérdida de humedad alta entre los días 6 y 7 coincidiendo que los resultados de los datos de temperatura registrados para estos días fueron mayores a 40°C. A diferencia de las bandejas superiores, las bandejas inferiores registraron un tiempo de secado de 15 días, siendo esta curva de secado más variable, debido a que las temperaturas no llegaron a ser mayores de 40°C. Entre los días 4 y 6 no se registra disminución significativa de la humedad. A partir del día 10 cuando el café de las bandejas superiores fue retirado, los granos presentaron una disminución relevante de la humedad a causa de la ausencia del material que generaba sombra en la parte superior de estas bandejas.

Para corroborar que el método gravimet arrojava datos aproximados se rectificó con el medidor de humedad de granos y semillas Kett PM-450 y se registraron los datos en la Tabla 8.

Dia	Hora	%H. Medidor		%H. Gravimet	
		B.Superior	B.Inferior	B. Superior	B.Inferior
1	11:30 a. m.	***	***	51,12%	51,12%
2	9:52 a. m.	***	***	47,03%	47,71%
2	12:00 p. m.	***	***	45,86%	47,24%
3	9:31 a. m.	***	***	44,16%	45,10%
3	1:30 p. m.	***	***	42,04%	44,58%
4	9:40 a. m.	39,4%	***	39,94%	42,62%
4	1:55 p. m.	38,2%	***	37,88%	41,96%
5	8:50 a. m.	35,5%	40,0%	36,04%	40,79%
5	12:40 p. m.	34,9%	39,6%	33,66%	40,54%
6	9:11 a. m.	30,2%	38,8%	31,49%	39,94%
6	1:05 p. m.	28,5%	38,2%	28,38%	39,46%
7	9:12 a. m.	26,3%	37,5%	23,52%	37,33%
7	1:46 p. m.	23,2%	37,2%	21,68%	36,68%
8	9:10 a. m.	21,4%	36,1%	18,64%	34,39%
8	1:30 p. m.	18,1%	34,5%	15,37%	33,21%
9	9:30 a. m.	15,8%	31,6%	13,60%	30,91%
9	1:21 p. m.	14,2%	30,7%	12,09%	30,61%
10	9:23 a. m.	12,9%	29,7%	10,93%	28,20%
10	1:38 p. m.	11,5%	28,4%	9,50%	27,10%
11	9:37 a. m.	***	24,8%	***	22,55%
11	12:45 p. m.	***	23,2%	***	21,43%
12	8:50 a. m.	***	20,9%	***	19,65%
12	1:10 p. m.	***	18,7%	***	18,07%
13	9:30 a. m.	***	16,5%	***	16,91%
13	1:45 p. m.	***	16,0%	***	16,17%
14	9:30 a. m.	***	15,8%	***	15,64%
14	1:15 p. m.	***	13,8%	***	13,57%
15	10:25 a. m.	***	11,8%	***	10,93%

Tabla 8. Registro gravimet y medidor de humedad de granos PM-450 alta cosecha.
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

Se evidencia que los datos arrojados por el medidor de humedad de granos y semillas fueron muy cercanos a los datos obtenidos en el método gravimet. **Nota: En los primeros 4 días para las bandejas superiores y 6 días para las bandejas inferiores, no se registra datos de humedad de

granos debido a que el medidor de humedad no arroja resultados en granos con humedad mayor a 40%.

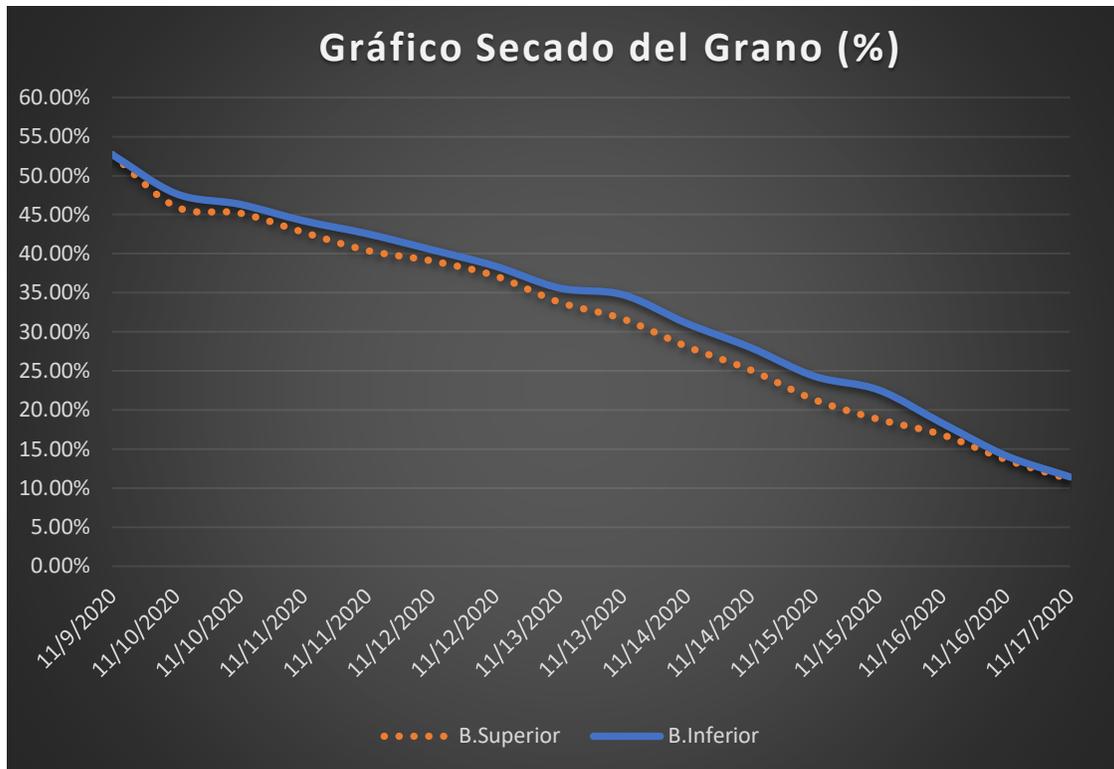
En la siguiente tabla (Tabla 9) se encuentra registrado el peso diario de las canastillas instaladas en las bandejas superiores e inferiores en temporada de baja cosecha, se pesaron diariamente las canastillas 2 veces, en horas donde la temperatura sea representativa.

Día	Hora	PESO		%H. GRAVIMET	
		B.Superior	B.Inferior	B.Superior	B.Inferior
1	11:30 a. m.	200	150	52,69%	52,69%
2	9:45 a. m.	175,23	135,67	46,00%	47,69%
2	1:20 p. m.	172,67	132,23	45,20%	46,33%
3	9:10 a. m.	165,23	127,21	42,73%	44,21%
3	12:45 p. m.	158,76	123,53	40,40%	42,55%
4	9:30 a. m.	155,34	119,32	39,09%	40,53%
4	1:20 a. m.	150,56	115,23	37,15%	38,41%
5	8:50 a. m.	142,92	110,23	33,80%	35,62%
5	1:15 p. m.	138,43	108,76	31,65%	34,75%
6	9:35 a. m.	131,62	102,97	28,11%	31,08%
6	1:00 p. m.	126,34	98,54	25,11%	27,98%
7	9:15 a. m.	120,23	93,76	21,30%	24,31%
7	12:50 p. m.	116,54	91,65	18,81%	22,57%
8	9:45 a. m.	113,75	86,86	16,82%	18,30%
8	12:38 p. m.	109,56	82,65	13,64%	14,14%
9	9:30 a. m.	106,43	80,12	11,10%	11,43%

Tabla 9. Registro de pesos para cálculo del método gravimet en baja cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

En temporada de baja cosecha se evidencia en el registro que la disminución de humedad es menos variable, el café de las bandejas se retiró en 9 días, tanto de la superior como de la inferior con diferencia de 1,46% de humedad, (11,10% bandeja superior, 11,43% para la bandeja inferior) encontrándose los dos en el rango ideal de almacenamiento y comercialización (10% - 12%).

La siguiente gráfica muestra la curva de secado para los granos que reposaban en las bandejas superior e inferior en temporada de baja cosecha.



Gráfica 6. Curva de secado de grano en las bandejas superior e inferior en temporada de baja cosecha

Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

La gráfica 6 presenta una curva poco pronunciada, no se evidencian pérdidas significativas de humedad en los granos, esto indica que el proceso de secado fue controlado y la temperatura aportó positivamente al sistema. Al iniciar, la pérdida de humedad en la bandeja superior fue mayor que en la bandeja inferior, entre los días 10/11 y 11/11 la humedad en la bandeja superior disminuyó muy poco y la humedad en la bandeja inferior se aproximó al contenido de humedad de la bandeja superior. En el día 13/11 se evidencia poca pérdida de humedad en la bandeja inferior mientras la bandeja superior continuaba secando los granos. La curva mas variable es la de la bandeja inferior a causa de la cantidad de humedad que no se logra evacuar fácilmente como lo hace la bandeja superior.

Finalmente, para corroborar los datos arrojados por el método gravimet para el proceso de secado de granos en temporada de baja cosecha, se utilizó el Medidor de humedad de granos y semillas anteriormente mencionado y el registro se presenta en la siguiente tabla (Tabla 10).

Día	Hora	%H. MEDIDOR		%GRAVIMET	
		B.Superior	B.Inferior	B. Superior	B. Inferior
1	11:30 a. m.	***	***	52,69%	52,69%
2	9:45 a. m.	***	***	46,00%	47,69%
2	1:20 p. m.	***	***	45,20%	46,33%
3	9:10 a. m.	***	***	42,73%	44,21%
3	12:45 p. m.	39,5%	***	40,40%	42,55%
4	9:30 a. m.	38,7%	***	39,09%	40,53%
4	1:20 a. m.	37,9%	38,2%	37,15%	38,41%
5	8:50 a. m.	34,6%	36,7%	33,80%	35,62%
5	1:15 p. m.	32,1%	35,1%	31,65%	34,75%
6	9:35 a. m.	28,9%	30,7%	28,11%	31,08%
6	1:00 p. m.	24,7%	28,5%	25,11%	27,98%
7	9:15 a. m.	21,2%	25,1%	21,30%	24,31%
7	12:50 p. m.	19,4%	21,3%	18,81%	22,57%
8	9:45 a. m.	16,6%	17,9%	16,82%	18,30%
8	12:38 p. m.	12,5%	13,5%	13,64%	14,14%
9	9:30 a. m.	11,7%	11,5%	11,10%	11,43%

Tabla 10. Registro gravimet y medidor de humedad de granos PM-450 baja cosecha
Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro – Soranyi A. Lizcano Vargas

Los datos arrojados por el medidor de humedad varían muy poco de los datos obtenidos del método gravimet, esto hace que los datos del gravimet sean verídicos y confiables. El proceso de secado para la temporada de baja cosecha culmina entre 11% y 12% de humedad. No se registran datos de humedad en los primeros 4 días de la bandeja superior y 6 días de la bandeja inferior debido a que el medidor de humedad no arroja datos en granos con humedad mayor al 40%.

7.3 Socialización con productores beneficiarios.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
ACREDITADA DE ALTA CALIDAD

• Calibración de equipos.



Calibración de grameras
Autor: Soranyi Aracely Lizcano Vargas



Calibración de termómetros
Autor: Soranyi Aracely Lizcano Vargas

No.	Producto	Mediador rango	Estándar método	S.E.C. (Porcentaje)
1	General	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
2	Batata	0-40%	100°C Ag general Dhr	0.2%
3	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
4	Soja	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
5	Maíz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
6	Alfalfa	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
7	Soja	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
8	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
9	Soja	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
10	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
11	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
12	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
13	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
14	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
15	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
16	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
17	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
18	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
19	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
20	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
21	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
22	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
23	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
24	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
25	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
26	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
27	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%
28	Arroz	0-100%	100°C Ag general Dhr	0.2%

Listado de calibración del medidor de humedad PM-450
Fuente: Catalogo Kett PM-450



soranie lizcano vargas

Figura 12 Evidencia de Intervención de la autora Soranyi Lizcano Vargas

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
ACREDITADA DE ALTA CALIDAD

Gráficas y análisis de temperatura y humedad relativa interna y externa.

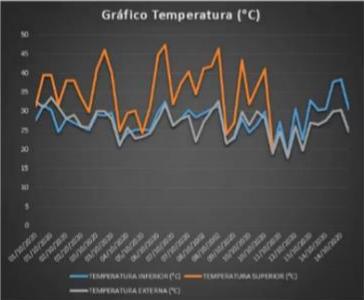


Gráfico Temperatura (°C)



Gráfico Humedad (%)

Temperatura y humedad interna y externa del secador en temporada de alta cosecha



ASTRID SOLANYI ORTIZ NAVARRO

Figura 13 Evidencia de Intervención de la autora Astrid Solanyi Ortiz Navarro

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
ACREDITADA DE ALTA CALIDAD

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barzola Cárdenas, A., Quiñones Huatungari, L., Vásquez Ochoa, B., Pérez Quevara, I., & Díaz Torres, M. (2020). Estimation of pergamine coffee moisture using an *Tecnia*, 30(1), 107-111. doi:10.21754/tecnia.v30i1.824
- Cardenas Gutierrez, J. (1993). La industria de café en Colombia. 3-12.
- CENICAFÉ. (s.f.). Cartilla 21 cafetera. En *Cenicafé, Beneficio del café II: Secado del café pergamino*.
- Chamorro Hernandez, L., Anchunda Lucas, M. A., Jácome Cedillo, C. J., & Rivas Rosero, C. A. (2018). Incidence of Ocratoxin A in coffee production. *Horizontes de enfermería No. 4*, 29-43. doi:10.32645/13969984.790
- Gotteland, M., & de Pablo V, S. (2007). Some trues concerning coffee. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. doi:10.4067/S0717-75182007000200002
- ICONTEC. (2005). NTC 2325. En I. C. Certificación, *Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 103°C*. Bogotá D.C.
- Puerta Quintero, G. I. (2006). Avance Técnico 0352: La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., Lopez Posada, U., Mejía Conzales, C. A., & Ramirez Gomez, C. A. (2007). Avance Técnico 0361: Paleta plástica para lavar café con menor esfuerzo. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Wei Lee, L., Wai Chong, M., Curran, P. Ya, B., & Quan Liu, S. (2015). Fermentation and flavor of coffee: an intricate and delicate relationship. *Food chemistry*, 185, 182-191. doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.124

- Kramer, D., Brestenstein, B., Kleinwachter, M., & Selmar, D. (8 de 4 de 2010). Stress Metabolism in Green Coffee Beans (Coffea arabica L.): Expression of Deltoids and Accumulation of GABA during Drying. *Fisiología vegetal y celular*. doi:10.1093/pcp/pcp019
- Nito, A. C. (1980). Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos. En A. C. Nito. *Bogotá*.
- Oliveros Tascón, C. E., Lopez Posada, U., Sanz Uribe, J. R., & Ramirez Gomez, C. A. (2006). Avance Técnico 0346: Nuevo rastreo para revolver café en proceso de secado al sol. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Oliveros Tascón, C. E., Peñuela Martínez, A. E., & Jurado Chama, J. M. (2009). Avance Técnico 0387: Controle la humedad del café en el secador solar, utilizando el método Gravimet. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Parra Coronado, A., Roa Mejía, G., & Oliveros Tascón, C. (2008). Modeling and mathematical simulation in the mechanical drying of parchment coffee. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. doi:10.1590/S1415-43662008000400013
- Peñuela Martínez, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Sanz Uribe, J. R. (2013). Avance técnico 0431: Método fermentoso para determinar la finalización de la fermentación del mucilago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Quintanar Olguin, J., & Ros Duran, R. (2017). Thermal and financial evaluation of the drying process of coffee bean in a active solar dryer type greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas: PBI*, 8, 321-331. doi:10.29312/remexca.v8i2.53



LUIS FERNANDO CALDERON ALVARADO

Figura 14 Evidencia de Intervención del director de tesis Luis Fernando Calderon

Se realizó con éxito la socialización de los resultados obtenidos de la investigación con una cantidad significativa de productores que cuentan con esta estructura para realizar el proceso de secado del café en sus fincas, recibiendo de ellos una buena aceptación de las observaciones y datos registrados y respetando cada una de las recomendaciones dadas al finalizar la exposición.

7.4 Análisis de Varianza de los datos registrados.

7.4.1 Análisis de varianza de temperatura.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1577,19466	2	788,59733	30,74028114	0,00	3,076574309
Dentro de los grupos	2898,85112	113	25,6535497			
Total	4476,04578	115				

Tabla 11 Análisis de varianza de datos de temperatura en alta cosecha

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	733,007778	2	366,503889	17,0851009	0,00	3,12964398
Dentro de los grupos	1480,165	69	21,4516667			
Total	2213,17278	71				

Tabla 12 Análisis de varianza de datos de temperatura en baja cosecha

En el análisis de varianza presentado en las tablas 11 y 12 para los datos recolectados de temperatura superior e inferior dentro del secador y temperatura externa, F es la cantidad de variación que hay en los grupos de datos y el valor crítico para F es un valor estándar que Excel toma de una base de datos interna. El valor de F es mayor que el valor crítico para F, esto significa que los cambios entre los factores en los datos tuvieron un efecto estadísticamente significativo para los resultados de esta investigación.

7.4.2 Análisis de varianza de humedad.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	13827,93124	2	6913,96562	31,4298632	0,00	3,07657431
Dentro de los grupos	24857,82738	113	219,980773			
Total	38685,75862	115				

Tabla 13 Análisis de varianza de datos de humedad en alta cosecha

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6352,08333	2	3176,04167	26,4485138	0,00	3,12964398
Dentro de los grupos	8285,79167	69	120,083937			
Total	14637,875	71				

Tabla 14 Análisis de varianza de datos de humedad en baja cosecha

En las tablas 13 y 14, se observa el análisis de varianza para los datos recolectados de humedad superior e inferior dentro del secador y humedad externa en el, como en el análisis de datos de la temperatura, F es la cantidad de variación que hay en los grupos de datos y el valor crítico para F es un valor estándar que Excel toma de una base de datos interna. El valor de F es mayor que el valor crítico para F, esto significa que los cambios entre los factores en los datos tuvieron un efecto estadísticamente significativo para los resultados de esta investigación.

7.4.3 Análisis de varianza Gravimet vs. Medidor PM-450.

Los datos recolectados para el cálculo diario del porcentaje de humedad del café en las canastillas a través del método gravimet fueron corroborados con el medidor de humedad de granos y semillas PM-450, debido a que el instrumento no arroja datos en granos con humedad superior al 40% se realizó el análisis de varianza con los datos tomados a partir del 40% de humedad según el método gravimet.

	GRAVIMET	MEDIDOR PM-450		GRAVIMET	MEDIDOR PM-450
	<i>B. SUPERIOR</i>			<i>B. INFERIOR</i>	
Media	0,23764875	0,25007143	Media	0,27337615	0,278
Varianza	0,011532508	0,00941992	Varianza	0,00994218	0,009319
Observaciones	14	14	Observaciones	21	21
Grados de libertad	13	13	Grados de libertad	20	20
F	1,224268512		F	1,06687156	
P(F<=f) una cola	0,360343684		P(F<=f) una cola	0,44317178	
Valor crítico para F (una cola)	2,576927084		Valor crítico para F (una cola)	2,12415521	

Tabla 15 Analisis de varianza Gravimet vs. medidor PM-450 alta cosecha

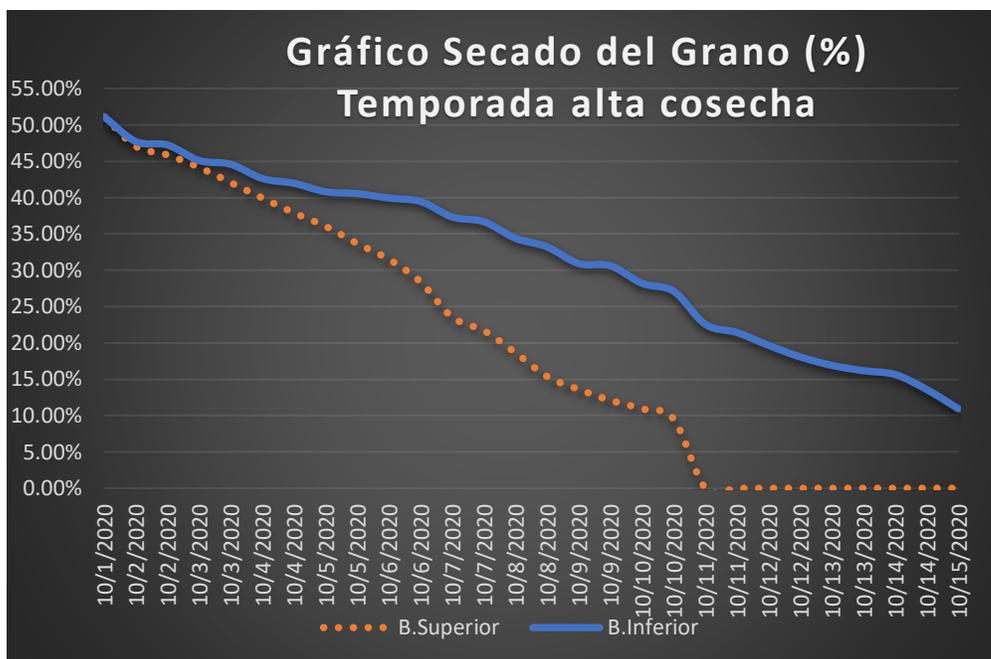
En temporada de alta cosecha el tiempo de secado se prolongó a 15 días y se obtuvieron mas datos; en el análisis de datos (tabla 15) se evidencia claramente que el F es mayor al valor crítico para F, significa que se rechaza la hipótesis alternativa (que indica que si hay diferencia entre los datos gravimet vs medidor) y se acepta la hipótesis nula (indica que las variables sometidas al análisis fueron iguales).

	GRAVIMET	MEDIDOR PM-450		GRAVIMET	MEDIDOR PM-450
	<i>B. SUPERIOR</i>			<i>B. INFERIOR</i>	
Media	0,26413744	0,26479167	Media	0,25859744	0,2585
Varianza	0,01029142	0,01042543	Varianza	0,00866476	0,00921406
Observaciones	12	12	Observaciones	10	10
Grados de libertad	11	11	Grados de libertad	9	9
F	0,98714577		F	0,94038534	
P(F<=f) una cola	0,4916336		P(F<=f) una cola	0,46427445	
Valor crítico para F (una cola)	0,35487036		Valor crítico para F (una cola)	0,31457491	

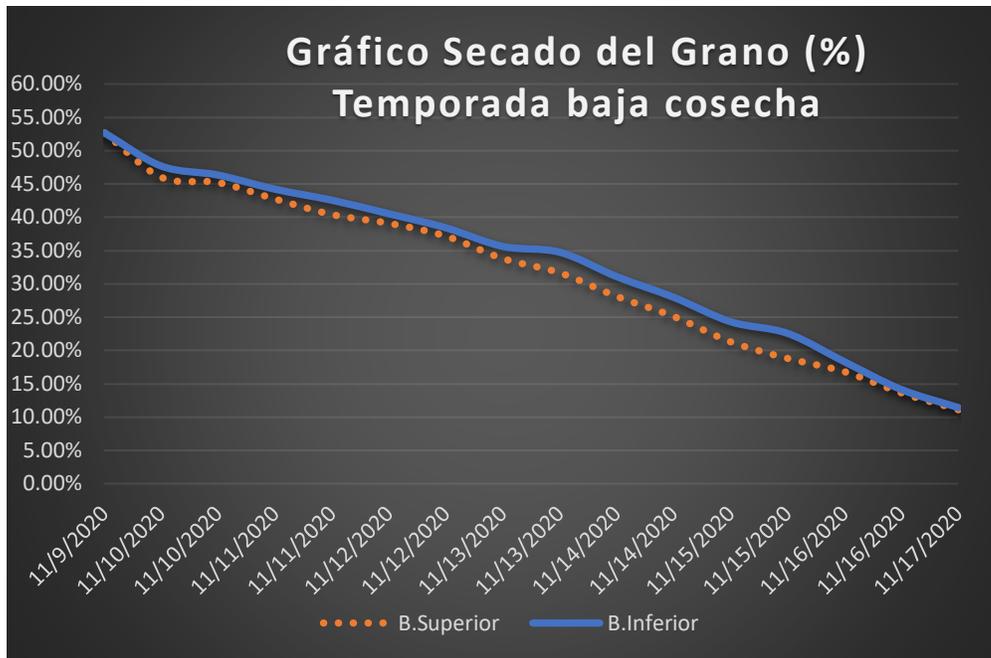
Tabla 16 Analisis de varianza Gravimet vs. medidor PM-450 baja cosecha

En temporada de baja cosecha los datos recolectados fueron menores debido a que los días de secado se redujeron a causa de la cantidad de masa presente en cada bandeja. La tabla 16 muestra un F mayor que el valor crítico para F, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa, esto significa que las variables evaluadas tuvieron diferencia entre sus datos, esto se debe a que la cantidad de observaciones fueron menores que en la temporada de alta cosecha.

7.5 Comparación de las graficas de secado temporada de alta y baja cosecha



Gráfica 7 Curva de secado alta cosecha



Gráfica 8 Curva de secado baja cosecha

Las gráficas anteriores (grafica 7, grafica 8) representan la disminución de humedad de los granos, se evidencia en la grafica de temporada de alta cosecha que los granos alcanzaron su humedad ideal de comercialización en 15 días para la bandeja inferior y 10 días en la bandeja superior, a comparación del grafico de secado de la temporada de baja cosecha, los granos alcanzaron el rango de humedad ideal de comercialización a los 10 días, esto debido a que la masa de café a secar fue menor; en la grafica de temporada de baja cosecha se evidencia que en las dos bandejas se llevo a cabo un secado homogéneo, a diferencia de la grafica en temporada de alta cosecha, los granos situados en la bandeja superior terminaron su proceso de secado más rápido ya que se encontraba directamente expuesto a la radiacion solar; esta claro en las graficas que no se presenta rehumedecimiento del grano en ninguna de las temporadas (alta y baja cosecha).

8 Conclusiones

El secador solar tipo marquesina implementado por Asodesarrollo en el municipio de Gigante Huila según la literatura y la empresa constructora tiene una capacidad total de 1190 kg (104,72@) que equivalen a 25kg de café pergamino húmedo por metro cuadrado.

En temporada de alta cosecha, la humedad inicial de los granos al ingresar al secador fue de 51,12%, los días 3, 6, 7, 8, 9 y 10 fueron parte importante de la investigación debido a que la temperatura en el interior del secador fue mayor a 40°C (día 6/10 con temperatura de 47,3°C) principalmente en horas de la tarde, esto nos permitió dar uso a las ventanas laterales para evitar que los granos llegaran a cristalizarse por las altas temperaturas. Para el análisis en baja cosecha los granos fueron llevados al secador con una humedad inicial de 52,69%, los días que se reporta temperaturas mayor a 40°C en el interior del secador fueron los días 3, 7 y 8, llegando el día 7 a una temperatura de 44,7°C sin complicaciones por cristalización de granos.

La humedad relativa en tiempo de alta cosecha sobre la bandeja inferior al iniciar el proceso de secado fue constante y mayor del 80% hasta el día sexto, causado por los altos porcentajes de humedad presentes en los granos, en la superficie del secador la humedad se mantuvo regular gracias a que la radiación solar era directa en esta parte. En temporada de baja cosecha durante el proceso de secado la humedad relativa dentro del secador en las bandejas inferiores fue constante y mayor al 80% hasta el séptimo día, la humedad superior y externa del secador fueron regulares y no mayores a 80% a excepción de los días 4 y 6, donde la humedad interna y externa fue de 79%.

El tiempo de secado para la temporada de alta cosecha fue de 10 días para el café ubicado en las bandejas superiores con una humedad final de 9,50% y 15 días para el café en las bandejas inferiores y una humedad final del grano de 11,43% según los datos obtenidos del método gravimet; para temporada de baja cosecha cuando la masa de café fue menor el tiempo de secado

para las dos bandejas fue de 9 días, la bandeja superior con una humedad final del 11,10% y la bandeja inferior con humedad final de los granos de 11,43% según los datos registrados por el método gravimet. Si se llena el secador a su capacidad máxima el tiempo de secado será mayor a 15 días, produciendo microorganismos por alta humedad, esto causará defectos en taza, para evitar estos inconvenientes se debe abrir y cerrar las cortinas según el clima lo permita.

El método gravimet propuesto por Cenicafé es muy eficiente si se lleva a cabo un seguimiento continuo y detallado del peso de las canastillas, se deben seleccionar los granos que van dentro de ellas, evitar ingresar granos brocados o partidos, en el momento de realizar los volteos de la masa se debe tener en cuenta que los granos del exterior no ingresen ni los granos dentro de las canastillas salgan y alteren el peso, ya que esto causará un registro mayor de la humedad y por ende altera los resultados de la humedad final.

Para obtener café de buena calidad, un tiempo de secado de aproximadamente 10 días, y una curva de secado continua sin rehumedecimiento de granos, se debe ingresar al secador una cantidad máxima de 250 kg para las bandejas superiores, aproximadamente entre 50 Kg y 70 Kg menos para las bandejas inferiores ya que en estas bandejas la radiación solar será menor y la humedad mayor.

9 Recomendaciones.

En el uso adecuado de las cortinas laterales del secador solar tipo marquesina, se recomienda a los productores abrirlas en el momento que la temperatura interna supere los 40°C, o que un día soleado lo permita.

Procurar cerrar las cortinas aproximadamente entre 4:00 pm a 5:00 pm para conservar el calor en la noche, debido a que la temperatura empieza a disminuir a partir de estos horarios y puede causar rehumedecimiento del grano. Sí el día se torna lluvioso se recomienda mantener las cortinas cerradas.

Al final de la tarde con el fin de reducir el enfriamiento producido en la noche y lograr un secado homogéneo de los granos, se recomienda recoger el café o agruparlo en el centro de la pasera, y al día siguiente extenderse nuevamente con ayuda del rastrillo Cenicafé.

La cubierta del secador debe permanecer limpia para permitir el paso de radiación solar y optimizar el tiempo de secado, además, de prolongar la vida útil de la cubierta. Con frecuencia debe limpiarse con agua limpia y un paño apropiado. No se puede usar detergente porque deteriora el plástico.

Para llevar a cabo el método gravimet se recomienda realizar un seguimiento minucioso en el peso de las canastillas para no alterar los datos de humedad final del grano y causar confusiones.

Se recomienda a los productores que cuentan con esta estructura no llevar el secador a su capacidad máxima debido a que se tardará más del tiempo máximo recomendado en secar (15 días aproximadamente) causando producción del hongo Ochratoxina A por presentar altos porcentajes de humedad en tiempos prolongados.

Si el caficultor desea producir café de alta calidad se recomienda seleccionar los granos maduros antes del despulpado y después del despulpado seleccionar granos cortados, brocados y enfermos; durante el proceso de secado sacar de las bandejas los granos que tengan presencia de hongos y finalmente manejar una masa de café en cada bandeja entre 2 y 3 cm para obtener granos sanos y un secado constante.

Se recomienda a los productores no agregar café mojado en las bandejas superiores (La bandeja que primero termina el proceso de secado) ya que puede retroceder el proceso de secado en las bandejas inferiores causando rehumedecimiento de los granos por alta presencia de humedad en la parte superior.

Para moniterar las temperaturas internas en el secador y poder determinar el momento adecuado de abrir o cerrar las cortinas se recomienda al caficultor adquirir un termohigrometro digital y ubicarlo en un lugar estratégico dentro de la marquesina.

Se debe tener en cuenta que la investigación se realizó en un sistema de secado a 1299 msnm por lo tanto el análisis de los datos y recomendaciones se deben tomar para secadores ubicados a alturas aproximadas, ya que los datos de temperatura y humedad relativa en altitudes diferentes, podrían variar los datos.

10 Anexos.

CUIDADOS CON LA ESTRUCTURA.

- La cubierta del secador debe permanecer limpia, para permitir el mayor paso de radiación solar y optimizar el tiempo de secado. Con frecuencia debe asearse con agua y un paño apropiado. No se puede usar detergente porque deteriora el plástico.
- Revisar periódicamente, antes del inicio de la cosecha o mitaca, toda la estructura metálica de la marquesina, en busca de algún deterioro o síntomas de oxidación. Si es así, retirar el óxido con lija de 220, y luego aplicar anticorrosivo y pintura.
- No sobre cargue los tubos metálicos, colgando o apoyando pesos para los que no fue diseñado la estructura, ya que puede deteriorar y reducir su vida útil.
- Como ya se mencionó, para brindar mayor vida útil a la malla plástica cafetera, se recomienda utilizar el rastrillo para café, diseñado por CENICAFÉ.





Manual de operación y mantenimiento del secador solar ecológico de café.

PRESENTA:
ASTRID SOLANYI ORTIZ NAVARRO
SORANYI ARACELI LIZCANO VARGAS
ASESOR:
LUIS FERNANDO CALDERÓN ALVARADO.





UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

MANUAL DE OPERACIÓN

Para mejorar los resultados en el proceso de secado de café con el secador solar ecológico tipo marquesina se recomienda:

- Dejar escurrir la masa de café en el tanque de lavado el menos una hora antes de llevarlo al secador.
- Llevar máximo 300kg de café mojado a cada bandeja (capacidad máxima del secador 1200kg café mojado)

Nota: no descargar sobre las paseras bultos pesados que puedan deformar o deteriorar las paseras



- Expandir el café en las paseras del secador aprovechando el área disponible con ayuda del rastrillo CENICAFÉ formando una capa de espesor de 3.0 cm aproximadamente.
- Revolver la masa de café diariamente, de 4 a 6 veces al día.
- Al iniciar el día, y observando que el clima sea favorable (soleado), subir las cortinas para permitir la circulación del aire al interior de la marquesina.
- Antes de las 5:30 de la tarde, las cortinas se deben cerrar para conservar parte del calor generado durante el día, si las cierra tarde en la noche, puede ingresar aire cargado de humedad que puede re-humedecer el café.







RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN.

- Se recomienda usar el FERMAESTRO para determinar el momento justo de finalización de la fermentación del café y continuar con el proceso de lavado.
- Mantener cunetas o acequias de drenaje alrededor de la marquesina limpias para evitar el ingreso de agua al secador.
- Finalizando la tarde, con el fin de reducir el enfriamiento del grano en la noche, se recomienda amontonar el café o en el centro de la pasera, y al día siguiente se debe extender nuevamente.
- En días de baja temperatura, mantener las cortinas del secador solar cerradas para evitar el ingreso del agua lluvia y mantener el calor.
- En un día soleado, abrir las ventanas, especialmente en las horas del mediodía para evitar que el café reciba altas temperaturas y pueda ser afectado su germen.
- No mezclar muestras de café de diferentes humedades, esto da como resultado café disperejo que afecta su calidad y precio.
- No permita el ingreso de animales, ni guarde en el secador productos diferentes a café.



Figura 15. Manual de operación y mantenimiento del secador solar ecológico de café.

Fuente: A. Solanyi Ortiz Navarro

11 Referencias

- Barzola Cárdenas, A., Quiñones Huatangari, L., Vásquez Ochoa, B., Pérez Guevara, I., & Díaz Torres, M. (2020). Estimation of pergamine coffee moisture using an. *Tecnia*, 30(1), 107-113. doi:10.21754/tecnica.v30i1.824
- Cardenas Gutierrez, J. (1993). La industria de café en Colombia. 3-12.
- CENICAFÉ. (s.f.). Cartilla 21 cafetera. En Cenicafé, *Beneficio del cafe II: Secado del café pergamino*.
- Chamorro Hernandez, L., Anchundia Lucas, M. A., Jácome Cedillo , C. J., & Rivas Rosero, C. A. (2018). Incidence of Ocratoxin A in coffee produccion. *Horizontes de enfermeria No.8*, 29-43. doi:10.32645/13906984.790
- Gotteland , M., & de Pablo V., S. (2007). Some trues concerning coffee. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. doi:10.4067/S0717-75182007000200002
- ICONTEC. (2005). NTC 2325. En I. C. Certificación, *Café verde. Determinacion de la perdida de masa a 105°C*. Bogotá D.C.
- Kramer, D., Breitenstein, B., Kleinwächter, M., & Selmar, D. (8 de 4 de 2010). Stress Metabolism in Green Coffee Beans (*Coffea arabica* L.): Expression of Dehydrins and Accumulation of GABA during Drying. *Fisiología vegetal y celular*. doi::10.1093/pcp/pcq019
- Magem, J. B. (s.f). Informe tecnico para la construccion de un secador solar de café. *ingenieria sin fronteras*.
- media), F. V. (2017). *proceso de beneficio del cafe* .
- Niño, A. C. (1980). Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos. En A. C. Niño. Bogotá.

Oliveros Tascon, C. E., Lopez Posada, U., Sanz Uribe, J. R., & Ramirez Gomez, C. A. (2006).

Avance Técnico 0346 Nuevo rastrillo para revolver café en proceso de secado al sol.

Avances Técnicos Cenicafé.

Oliveros Tascón, C. E., Peñuela Martinez, A. E., & Jurado Chana, J. M. (2009). Avance Técnico

0387 Controle la humedad del cafe en el secador solar, utilizando el metodo Gravimet.

Avances Técnicos Cenicafé.

Parra Coronado, A., Roa Mejia, G., & Oliveros Tascón, C. (2008). Modeling and mathematical

simulation in the mechanical drying of parchment coffee. *Revista Brasileira de*

Engenharia Agrícola e Ambiental. doi:10.1590/S1415-43662008000400013

Peñuela Martinez, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Sanz Uribe, J. R. (2013). Avance técnico 0431

Metodo fermaestro: para determinar la finalizacion de la fermentacion del mucilago de

café. *Avances Técnicos Cenicafé.*

Puerta Quintero, G. I. (2006). Avance Técnico 0352 La humedad controlada del grano preserva la

calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé.*

Quintanar Olguin, J., & Roa Duran, R. (2017). Thermal and financial evaluation of the drying

process of coffee bean in a active solar dryer type greenhouse. *Revista Mexicana de*

Ciencias Agrícolas Vol.8, 321-331. doi:10.29312/remexca.v8i2.53

Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascon, C. E., Lopez Posada, U., Mejia Gonzales, C. A., & Ramirez

Gomez, C. A. (2007). Avance Técnico 0361 Paleta plástica para lavar café con menor

esfuerzo. *Avances Técnicos Cenicafé.*

Valencia Mehan , A., & Uribe Henao, A. (1976). Normas para el diseño de beneficiaderos de

café. *Avances Tecnicos Cenicafé 058.*

Wei Lee, L., Wai Cheong, M., Curran, P., Yu, B., & Quan Liu, S. (2015). Fermentation and flavor of coffee: an intricate and delicate relationship. *Food chemistry*, 185, 182-191.
doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.124