



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 30 de octubre de 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

MARÍA CAMILA GÓMEZ GUALTERO, con C.C. No. 1.077.875.995,

MARÍA ALEXANDRA VARGAS PERDOMO, con C.C. No. 1.077.876.313,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado "ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL PROCESO DE BENEFICIO EVALUANDO LA INFLUENCIA DE DIFERENTES VARIABLES EN EL SECADO DEL CACAO (THEOBROMA CACAO L.) EN LA ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES DE CACAO ASOCAGIGANTE 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: María Alexandra Vargas.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: María Camila Gómez G.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gómez Gualtero	María Camila
Vargas Perdomo	María Alexandra

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Calderón Alvarado	Luis Fernando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Garzón (Huila)

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2021

NÚMERO DE PÁGINAS: 95

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):



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

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

MATERIAL ANEXO:

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Cacao	Cocoa	6. Método Gravimet	Gravimet method
2. Humedad relativa	Relative humidity	7. Medidor de Humedad	Moisture meter
3. Temperatura ambiente	Ambient temperature	8. Humedad el cacao	Cocoa moisture
4. Radiación solar	Solar radiation		
5. Termohigrómetro	Thermohygrometer		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El proyecto de investigación tiene como fin, estudiar el efecto de algunas variables sobre el secado natural al sol del grano fermentado de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la comparación de 10 paseras de cacao con distinto volumen y frecuencia de remoción (0,5 y 1 y hora), teniendo en cuenta diversos factores que puedan influir en el proceso de secado considerando que el manejo de estas es importante para la obtención de una mayor eficiencia y rentabilidad de la producción, evitar pérdidas económicas en su comercialización, mejores condiciones de secado, mejorar las características del cacao, mayor aprovechamiento de la estructura empleada en el proceso de secado.

El área de estudio donde se llevó a cabo este proyecto fueron las instalaciones de la asociación de productores y comercializadores de cacao de Gigante (ASOCAGIGANTE) ubicada en el municipio de Gigante (Huila), el beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) se realizó mediante la evaluación de la influencia de algunas variables en el secado del secado al sol sobre los granos fermentados de cacao tales como la temperatura ambiente (°C), la humedad relativa (HR%), radiación (W/m^2), medidas con termohigrómetros, solarímetro, humedad inicial del grano, humedad final del grano, es decir, estimación de humedad del grano mediante el medidor de humedad Coffee Pro Moisture Mac y la implementación de prueba del Método Gravimet (desarrollado por Cenicafé y aplicado para el secado del café), el tiempo de secado en promedio y el volumen en kilos de cacao empleados por cajón de secado, (kg/m^2).



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The purpose of the research project is to study the effect of some variables on the natural drying in the sun of the fermented cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) by comparing 10 cocoa walkers with different volume and frequency of removal (0.5 and 1 and hour), taking into account various factors that may influence the drying process, considering that their management is important to obtain greater efficiency and profitability of production, avoid economic losses in their commercialization, better conditions of drying, improve the characteristics of cocoa, better use of the structure used in the drying process.

The study area where this project was carried out was the facilities of the association of producers and marketers of cacao de Gigante (ASOCAGIGANTE) located in the municipality of Gigante (Huila), the benefit of cacao (*Theobroma cacao* L.) was carried out by evaluating the influence of some variables in the drying of sun drying on the fermented cocoa beans such as ambient temperature ($^{\circ}$ C), relative humidity (RH%), radiation (W / m²), measured with thermo-hygrometers, solarimeter, initial grain moisture, final grain moisture, that is, grain moisture estimation using the Coffee Pro Moisture Mac moisture meter and the test implementation of the Gravimet Method (developed by Cenicafe and applied for coffee drying), the average drying time and the volume in kilos of cocoa used per drying drawer, (kg / m²).

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: **Ing. JOSÉ AGENER ZAPATA CASTAÑEDA**

Firma:

Nombre Jurado: **Ing. OSCAR MAURICIO BARRERA BERMEO**

Firma:



Análisis comparativo en el proceso de beneficio evaluando la influencia de diferentes variables en el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila.

Presentado por:

María Camila Gómez Gualtero

Cód. 20151139093

María Alexandra Vargas Perdomo

Cód. 20151138982

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agrícola
Garzón – Huila
2021



Análisis comparativo en el proceso de beneficio evaluando la influencia de diferentes variables en el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila.

Modalidad: Proyecto de grado

Presentado por:

María Camila Gómez Gualtero

Cód. 20151139093

María Alexandra Vargas Perdomo

Cód. 20151138982

Director:

Luis Fernando Calderón Alvarado

Ingeniero Agrícola

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agrícola
Garzón – Huila
2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El proyecto final de trabajo de grado titulado “Análisis comparativo en el proceso de beneficio evaluando la influencia de diferentes variables en el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) En la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila.” presentado por María Camila Gómez Gualtero y María Alexandra Vargas Perdomo, en cumplimiento de los requisitos para optar al título de Ingeniera Agrícola, fue aprobado en la fecha _____,

NOTA DE ACEPTACIÓN

JOSÉ AGENER ZAPATA CASTAÑEDA

Jurado

OSCAR MAURICIO BARRERA BERMEO

Jurado

LUIS FERNANDO CALDERÓN ALVARADO

Director de proyecto de grado

Garzón, 2021

Agradecimientos

A Dios por darme la fortaleza y la sabiduría que me permitieron culminar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana sede Garzón.

A mi familia, en especial a mis padres por su motivación y apoyo incondicional que generaron en mí la fuerza que me permitió seguir en mi formación profesional y como persona.

A la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila por permitirnos trabajar en sus instalaciones, por su amabilidad y ayuda no solo de sus asociados sino también de sus trabajadores, lo que nos permitió la realización del trabajo de grado.

A todos los docentes que a lo largo de 5 años nos compartieron sus conocimientos sobre las diferentes áreas, por su motivación y el apoyo que permitieron crecer académica y profesionalmente.

Al director de trabajo de grado el ingeniero y docente Luis Fernando Calderón Alvarado no solo por los conocimientos impartidos durante la carrera sino por su apoyo y ayuda para llevar a cabo este proyecto.

María Camila Gómez Gualtero

Agradecimientos

A Dios por darme la fortaleza y la sabiduría que me permitieron culminar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana sede Garzón.

A mi familia, en especial a mi hermano por su apoyo, a mis padres por su motivación y entrega que generaron en mí la fuerza que me permitió seguir en mi formación profesional y como persona, por inculcarme el amor por la agricultura y las labores de esta lo que me permitió culminar mi carrera profesional.

A la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila por permitirnos trabajar en sus instalaciones, por su amabilidad y ayuda no solo de sus asociados sino también de sus trabajadores, lo que nos permitió la realización del trabajo de grado.

A todos los docentes que a lo largo de 5 años nos compartieron sus conocimientos sobre las diferentes áreas, por su motivación y el apoyo que permitieron crecer académica y profesionalmente.

Al director de trabajo de grado el ingeniero y docente Luis Fernando Calderón Alvarado no solo por los conocimientos impartidos durante la carrera sino por su apoyo y ayuda para llevar a cabo este proyecto.

María Alexandra Vargas Perdomo

Dedicatoria

A Dios, quien nos da la salud, fuerza y sabiduría que me permiten culminar una de mis metas.

A mi familia que es mi principal motivación, por apoyarme y darme fuerza durante este proceso.

A todos los docentes a lo largo de la carrera quienes no solo impartieron su conocimiento sino también sus experiencias y consejos de vida.

A mis compañeros, quienes también se convirtieron en amigos y que junto a ellos cambié y crecí tanto personal como profesionalmente.

Finalmente, doy gracias a todas aquellas personas que ayudaron en la elaboración de este proyecto ya que cada esfuerzo fue una parte importante y permitió la realización del mismo.

María Camila Gómez Gualtero

Dedicatoria

A Dios que por darme la sabiduría y la fuerza que me permitieron culminar una de mis metas.

A mi familia que es mi principal motivación, por acompañarme, apoyarme y darme fuerza durante este proceso y que han sido de gran apoyo para cumplir mis metas.

A todos los docentes a lo largo de la carrera quienes no solo impartieron su conocimiento sino también sus experiencias y consejos de vida.

A mis compañeros, quienes también se convirtieron en amigos y que junto a ellos cambie y crecí tanto personal como profesionalmente.

Finalmente, doy gracias a todas aquellas personas que ayudaron en la elaboración de este proyecto ya que cada esfuerzo fue una parte importante y permitió la realización del mismo.

María Alexandra Vargas

Tabla de Figuras

<i>Figura 1. Ubicación de las instalaciones de la asociación ASOCAGIGANTE.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2. Vista lateral secador solar tipo invernadero.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. Plano de las instalaciones de la asociación ASOCAGIGANTE.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. Fermentador tipo trinitario (cajón de madera) de la asociación.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 5. Paseras empleadas para el proceso de secado del cacao.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 6. Distribución del volumen y la frecuencia de remoción por pasera de secado.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 7. Peso del volumen de cacao empleado por pasera.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 8. Muestra en el horno de convección forzada MEMMERT - modelo 30-1060.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 9. Determinación de la humedad inicial mediante el método de la estufa.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 10. Medidor de humedad digital Coffee Pro Moisture Mac para café y cacao.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 11. Instalación de las canastillas en las paseras de secado.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 12. Afeción de granos de cacao partidos.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 13. Granos de cacao antiguos y enmohecidos bajo malla cafetera o red 5.000.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 14. Grano de cacao enmohecido.....</i>	<i>83</i>

Tabla de Tablas

<i>Tabla 1. Registro variables de Temperatura ambiente T ($^{\circ}\text{C}$) y Humedad Relativa HR (%).</i>	63
<i>Tabla 2. Registro variable radiación solar (W/m^2) durante el proceso de secado.</i>	67
<i>Tabla 3. Registro de datos método de la estufa para la determinación de la humedad inicial del grano.</i>	70
<i>Tabla 4. Distribución del volumen y frecuencia de remoción del cacao.</i>	71
<i>Tabla 5. Registro de Humedad del grano (%) con el medidor Coffee Pro Moisture Mac (0,5 hr).</i>	72
<i>Tabla 6. Registro de la Humedad del grano (%) con el medidor Coffee Pro Moisture Mac (1hr).</i>	73
<i>Tabla 7. Datos para el cálculo del método gravimet.</i>	75
<i>Tabla 8. Registro de pesos para cálculo del método Gravimet.</i>	77
<i>Tabla 9. Registro de la humedad del grano (%) del cacao en las canastillas.</i>	78

Tabla de Graficas

<i>Grafica 1. Temperatura ambiente (°C) y Humedad Relativa (%) del secador (0,5 hr).</i>	64
<i>Grafica 2. Temperatura ambiente (°C) y Humedad Relativa (%) del secador (1hr).</i>	65
<i>Grafica 3. Temperatura ambiente T (°C) en las paseras de secado.</i>	65
<i>Grafica 4. Humedad relativa HR (%) en las paseras de secado.</i>	66
<i>Grafica 5. Radiación (W/m²) al interior del secador tipo invernadero.</i>	68
<i>Grafica 6. Curva de secado del cacao en las paseras.</i>	73
<i>Grafica 7. Curva de secado del cacao en las canastillas.</i>	79

Resumen

El proyecto de investigación tiene como fin, estudiar el efecto de algunas variables sobre el secado natural al sol del grano fermentado de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la comparación de 10 paseras de cacao con distinto volumen y frecuencia de remoción teniendo en cuenta diversos factores que puedan influir en el proceso de secado y como resultado poder darles algunas recomendaciones a los cacaocultores que permitan generar mejores condiciones de secado que a su vez puedan contribuir a mejorar las características del cacao y mayor aprovechamiento y uso de la estructura actual empleada en el proceso de secado.

El área de estudio donde se llevó a cabo este proyecto fueron las instalaciones de la asociación de productores y comercializadores de cacao de Gigante (ASOCAGIGANTE) ubicada en el municipio de Gigante (Huila), el beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) se realizó mediante la evaluación de la influencia de algunas variables en el secado del cacao; esta investigación sirvió como comparación para tener una evaluación aproximada de la dinámica de secado con los datos obtenidos teniendo en cuenta variables del secado al sol sobre los granos fermentados de cacao tales como la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa (HR%), radiación (W/m^2), medidas con termohigrómetros, solarímetro, humedad inicial del grano, humedad final del grano, es decir, estimación de humedad del grano mediante el medidor de humedad Coffee Pro Moisture Mac y la implementación de prueba del Método Gravimet (desarrollado por Cenicafé y aplicado para el secado del café), el tiempo de secado en promedio y el volumen en kilos de cacao empleados por cajón de secado, (kg/m^2).

La investigación se llevó a cabo por medio de lotes constituidos por mezclas de diversos tipos de cacao, fermentado por 10 días en un fermentador tipo trinitario (cajón de madera), fueron secados en cajones de hierro galvanizado de textura lisa, de calibre 16 con orificios y marco

perimetral en madera tipo mimbre, removiendo los granos cada 1 y 0,5 horas por 5-6 días, teniendo en cuenta los resultados y gracias a los análisis realizados se reveló que no existieron diferencias significativas entre las condiciones ambientales durante el día que influyeran en el porcentaje de humedad del grano, sin embargo, se evidenció una menor humedad final del grano en los cajones en los cuales se presentaron unos grados de temperatura mayor y, por consiguiente, un porcentaje de humedad relativa menor, pero se recomienda y es necesario controlar estas variables en la noche ya que debido a las condiciones de higroscopicidad de los granos de cacao se presentan re-humedecimientos de los mismos, alterando el tiempo requerido se secado, aumentando también las condiciones para el crecimiento de hongos; las remociones frecuentes aceleran la eliminación de la humedad externa o agua superficial de los granos de cacao la cual es más rápida y fácil de remover como es el caso de las remociones cada 0,5 hora, sin embargo, al incrementar la remoción aumentaron los granos partidos y nibs de cacao; el método Gravimet en este proyecto indica que los datos no son concluyentes ya que los resultados no aportaron suficiente información para discernir entre un resultado favorable o desfavorable acerca de su implementación en el cacao, entre otras conclusiones y recomendaciones, todo lo anterior para con la finalidad de generar información acerca de la influencia de estas variables considerando que el manejo de estas es importante para la obtención de una mayor eficiencia y rentabilidad de la producción, evitar pérdidas económicas en su comercialización y de los cuales se estudió su acción sobre las almendras de cacao seco.

Palabras clave: humedad relativa, temperatura ambiente, radiación solar, termohigrómetros, método Gravimet, medidor de humedad, cacao, humedad del cacao.

Abstract

The purpose of the research project is to study the effect of some variables on the natural drying in the sun of the fermented cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) by comparing 10 cocoa walkers with different volume and frequency of removal, taking into account various Factors that may influence the drying process and as a result be able to give some recommendations to cocoa farmers that allow generating better drying conditions that in turn can contribute to improving the characteristics of cocoa and greater use and use of the current structure used in the process. drying process.

The study area where this project was carried out was the facilities of the association of producers and marketers of cacao de Gigante (ASOCAGIGANTE) located in the municipality of Gigante (Huila), the benefit of cacao (*Theobroma cacao* L.) was carried out by evaluating the influence of some variables on the drying of cocoa; This research served as a comparison to have an approximate evaluation of the drying dynamics with the data obtained taking into account variables of sun drying on fermented cocoa beans such as ambient temperature ($^{\circ}$ C), relative humidity (RH%) , radiation (W / m²), measurements with thermo-hygrometers, solarimeter, initial grain moisture, final grain moisture, that is, grain moisture estimation using the Coffee Pro Moisture Mac moisture meter and the test implementation of the Gravimet Method (developed by Cenicafé and applied for drying coffee), the average drying time and the volume in kilos of cocoa used per drying drawer, (kg / m²).

The research was carried out by means of batches consisting of mixtures of various types of cocoa, fermented for 10 days in a trinitarian type fermenter (wooden box), were dried in smooth textured galvanized iron boxes, 16 gauge with holes. and perimeter frame in wicker wood, removing the grains every 1 and 0.5 hours for 5-6 days, taking into account the results and

thanks to the analyzes carried out it was revealed that there were no significant differences between the environmental conditions during the day that influence the grain moisture percentage, however, a lower final grain moisture was evidenced in the boxes in which there were a few degrees of higher temperature and, consequently, a lower percentage of relative humidity, but it is recommended and is It is necessary to control these variables at night since due to the hygroscopic conditions of the cocoa beans, re-wetting of them occurs, altering or the time required to dry, also increasing the conditions for the growth of fungi; frequent removals accelerate the removal of external moisture or surface water from the cocoa beans, which is faster and easier to remove, as is the case with removals every 0.5 hour, however, by increasing removal, the beans increased cacao nibs and matches; The Gravimet method in this project indicates that the data are not conclusive since the results did not provide enough information to discern between a favorable or unfavorable result about its implementation in cocoa, among other conclusions and recommendations, all of the above for the purpose to generate information about the influence of these variables considering that their management is important to obtain greater efficiency and profitability of production, avoid economic losses in their commercialization and of which their action on cocoa almonds was studied dry.

Keywords: relative humidity, ambient temperature, solar radiation, thermo-hygrometers, Gravimet method, humidity meter, cocoa, cocoa humidity.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	18
1. Objetivos	20
1.1 Objetivo general	20
1.2 Objetivos específicos	20
2. Marco teórico.....	21
2.1 Generalidades del cacao.....	21
2.2 Reseña Histórica	21
2.3 Origen	21
2.4 Planta de cacao	23
2.4.1 Hojas.....	23
2.4.2 Flores	23
2.4.3 Vainas o Fruto de cacao.....	24
2.5 Requerimiento de suelos	25
2.6 Requerimientos climáticos	25
2.7 Tipos de cacao	26
2.7.1 Cacao criollo	27
2.7.2 Cacao forastero	28
2.7.3 Cacao trinitario.....	28
2.8 Beneficio del cacao.....	28
2.8.1 Recolección.....	29
2.8.2 Desgrane	30
2.8.3 Fermentación.....	30

2.8.4	Secado.....	32
2.9	Zonas de producción.....	33
2.9.1	Cacao a nivel internacional.....	33
2.9.2	Cacao en Colombia	35
2.10	Clasificación comercial del cacao	39
2.10.1	Cacao común o “Bulk”	40
2.10.2	Cacao “fino y de aroma”	40
2.11	Tipos de secado	41
2.11.1	Secado natural	41
2.11.2	Secado artificial.....	42
2.12	Secado de granos	42
2.12.1	Factores que inciden en el proceso de secado de granos	42
2.12.1.1	Temperatura del aire	43
2.12.1.2	Humedad Relativa.....	43
2.12.1.3	Velocidad del aire	44
2.12.1.4	Radiación solar	44
2.12.1.5	Humedad del grano	44
2.13	Metido Gravimet.....	45
2.13.1	Procedimiento para medir la humedad con el método Gravimet.....	46
3	Materiales	47
3.1	Materiales	47
4	Metodología	48
4.1	Localización	48

4.2	Ubicación del área de beneficio	49
4.3	Estudio del área y calibración de los equipos	50
4.4	Proceso de fermentación	51
4.5	Selección y tamaño de muestreo	53
4.6	Proceso de secado	54
4.7	Determinación de la humedad inicial	56
4.7.1	Método directo: Método de la estufa.....	56
4.8	Determinación de la humedad:	59
4.8.1	Método indirecto	59
4.9	Método Gravimet.....	60
5	Resultados	63
5.1	Condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación	63
5.2	Determinación de la humedad inicial mediante el método directo	69
5.3	Determinación de la humedad mediante el Método indirecto.....	70
5.4	Determinación de la humedad inicial mediante el Método Gravimet	74
5.5	Análisis físico de calidad	80
6	Conclusiones	84
7	Recomendaciones.....	86
8	Bibliografía	89

INTRODUCCIÓN

El cacao colombiano se produce en 422 municipios de 29 departamentos del país y para el 2020 Santander produjo (26.315 toneladas), Antioquia (5.974 toneladas), Arauca (5.082 toneladas), Tolima (4.312 toneladas) y Huila (4.197 toneladas), ocupando los primeros cinco puestos de la lista. (FEDECACAO, Así se comportó la producción de cacao por departamentos en el 2020, 2021).

Según (FEDECACAO, Así se comportó la producción de cacao por departamentos en el 2020, 2021) a pesar de que en el 2020 la pandemia ocasionada por la Covid -19 impactó sin duda a todos los sectores económicos del mundo, en Colombia el subsector cacaotero tuvo un buen comportamiento, pues con altas y bajas logró llegar a un nuevo récord en producción de cacao, pasando de 59.740 toneladas en 2019 a 63.416 en el 2020, dejando ver un importante crecimiento del 6%.

En el XXXII Congreso Nacional Cacaotero, la Vicepresidenta Marta Lucía Ramírez resaltó la importancia de este producto para impulsar el campo colombiano, el cacao se posiciona como uno de los tres productos que más dinamismo le han aportado al crecimiento del sector agropecuario en Colombia, con un 19.8% de participación, superado únicamente por la pesca y el arroz, afirmó la Vicepresidenta Marta Lucía Ramírez según el portal oficial de la presidencia de la república.

La calidad del cacao en grano y sus derivados, como el chocolate, no solo depende de la materia prima, sino también de las condiciones agroclimáticas y edafoclimáticas predominantes, las prácticas culturales y las técnicas de procesamiento poscosecha utilizadas (Horta et al., 2019), así mismo, (Bortolini et al., 2016) citado por (Peláez et al., 2016) la composición química del

cacao en grano y sus subproductos es compleja y varía según el tipo de grano, la zona geográfica y la madurez, así como el método de fermentación y secado.

De acuerdo con lo anterior, el cacao es un producto de gran importancia económica para el país por lo cual el objetivo de este trabajo es estudiar el proceso de secado natural de lotes constituidos por mezclas de diversos tipos de cacao cultivados en el municipio de Gigante en el departamento del Huila para analizar la influencia de algunas características en el proceso de secado. Los resultados nos permiten realizar algunas recomendaciones a realizar en el procedimiento del secado que conduzcan a un producto de cacao de buena calidad.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo en el proceso de beneficio evaluando la influencia de diferentes variables en el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE del municipio de Gigante – Huila.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del grosor de la lámina de cacao en el proceso de secado (kg/m^2).
- Analizar la influencia de variables como la humedad, temperatura y número de días en el desarrollo del proceso de secado.
- Comprobar la influencia de la cantidad de remociones realizadas en el transcurso del proceso de secado.

2. Marco teórico

2.1 Generalidades del cacao

2.2 Reseña Histórica

Según De la Cruz Medina *et al.*, (s.f), el cacao es una palabra que proviene de la palabra Maya Ka'kau, así como la palabra maya Chocol'ha Maya y el verbo chokola'j "beber chocolate juntos", fueron adoptados siglos más tarde por los aztecas.

Según (Dand, 2011), cuando Hernán Cortés pisó por primera vez lo que se convertiría en México, vio que beber una bebida llamada xocoatl era muy apreciado, el mito decía que el árbol de cacao fue traído al hombre por el dios del aire, Quetzalcoatl, después de que el hombre fuera expulsado del equivalente al Jardín del Edén. Habiendo ayudado al hombre, Quetzalcoatl partió, dejando el árbol de 'quachahuatl'.

Según (Villar, 2013) La palabra "Theobroma", que en griego significa "alimento de Dioses", fue empleada por Carlos Linneo, como término científico para denominar al árbol del cacao, a raíz de que el famoso gastrónomo holandés Lume de Mireles, al probar el chocolate exclamara: "Este es el alimento de los dioses" por lo cual se evidencia la importancia del cacao y de su vinculación con lo sagrado.

2.3 Origen

Según (Jaimes, 2018) el cacao ha sido cultivado en el sur y el centro de América desde hace siglos, se refieren como sitios de origen a México y Centroamérica en donde los aztecas y los toltecas lo cultivaban.

Según (Dand, 2011) Los granos o 'nueces de cacao' provienen del árbol del cacao, no originario de México sino de la región norte de América del Sur. Existían rutas comerciales a

esta área de América del Sur desde México. El cacao se ha utilizado desde al menos el año 1000

a. C., y los mayas, que también bebían cacao, habían establecido plantaciones en el año 600 d. C.

Según (AgrProcessTech, 2014) la palabra cacao fue usada por los Mayas entre los 400 A. C. y los 100 D. C. Según algunas investigaciones lingüísticas indican que también fue usada la palabra por los Olmecas alrededor de 1000 A. C.

Según el Laboratorio de Automatización y Control de Procesos Agroindustriales (AgrProcessTech), el grupo taxonómico Theobroma al cual pertenece el árbol del cacao se erigió hace millones de años en América del Sur hacia el Este de los Andes; sin embargo, a pesar de este conocimiento acerca del origen del grupo Theobroma, el lugar de origen de la especie Theobroma cacao no es muy certero y no existe un consenso al respecto. Existen afirmaciones científicas acerca del origen del árbol del cacao en varias áreas del Centro y Sur de América:

- Región Alta del Amazonas. Es posible que el árbol del cacao se desarrollara en esta zona 10,000 - 15,000 años atrás, ya que corresponde a uno de los principales centros de diversidad en nuestro planeta.

-Región Alta del Orinoco del Noreste de Colombia y Noroeste de Venezuela. Se sugiere la posibilidad del nacimiento del árbol del cacao en esta zona debido a la evidencia de un gran acervo genético. La transferencia del árbol a México habría sido fácil desde esta zona.

- Región Baja Andina del Noroeste de Colombia. Se postuló el origen del cacao en esta zona debido al gran número de especies encontradas en el lugar y por su fácil dispersión hacia México.

- Centroamérica desde el sureste mexicano hasta Guatemala. Otros estudios indican que el origen del árbol del cacao se dio en la Selva Lacandona en Chiapas (México) y en el área del Río Usumacinta en las fronteras de México y Guatemala.

El cacao se dispersó ya sea de manera natural o por su transporte por parte del hombre, hacia el norte de América del sur y a Centroamérica, que eventualmente se dividió en dos subespecies: cacao criollo en Centroamérica y cacao forastero en América del Sur.

2.4 Planta de cacao

2.4.1 Hojas

Según (Sanchez et al., 2017) las hojas son coriáceas simples (con limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado. El pecíolo es de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas.

2.4.2 Flores

Según (Sanchez et al., 2017) las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceoladas con pétalos de 6 a 9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineares: cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios. Todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo. Los estambres fértiles son de 2,5 a 3 mm de largo y

están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5 a 7.5 mm de largo. El ovario es de 2 a 3 mm de largo, anguloso ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6, 12 o 16 óvulos por fila.

La polinización natural del cacao es estrictamente entomófila. Normalmente ocurre en horas de la mañana cuando el estigma de la flor recién abierta está receptivo y el polen funcional (Parra, 2012), según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) la flor del cacao no tiene olor es por esta razón que las abejas y otros insectos polinizadores no fertilizan las flores de cacao sino por la acción de mosquitos y otros insectos, es quizás por esta razón que el árbol de cacao está equipado con las cantidades masivas de flores. Se ha estimado que en promedio sólo una de cada cien flores de cacao será fertilizado y formará una vaina de cacao.

2.4.3 Vainas o Fruto de cacao

Según (Dand, 2011) el árbol del cacao produce vainas que se desarrollan a partir de sus ramas y tronco; dentro de cada vaina puede haber hasta 40 granos cubiertos de mucílago. Y adherido a la placenta. En condiciones óptimas, un árbol maduro puede producir fácilmente más de 50 vainas al año, según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) cada vaina contiene un promedio de entre 20 a 40 granos y la gran mayoría contiene de 38 a 40 granos.

Según (Sanchez et al., 2017) el fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, con medidas de 10, 20 o 35 cm de largo y 7 cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpio es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnosos, y leñoso. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor.

El color de las mazorcas varía con muchas tonalidades, pero en realidad existen dos colores básicos, el verde y el color rojo. Las superficies de las mazorcas se presentan desde lisas hasta fuertemente rugosas, con surcos superficiales o profundos y lomos individuales o pareados (Parra, 2012), Las mazorcas de cacao por sus formas están clasificadas como: Amelonado, Calabacillo, Angoleta y Cundeamor, variando según el tipo o la especie (Batista, 2009).

2.5 Requerimiento de suelos

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) El cacao se adapta a un clima tropical húmedo, Altitud: 100 a 300 m, la temperatura media anual: 26 °C, precipitación media anual: 1000 a 3 000 mm.

- **Tipo de suelo:** el cacao es una planta de raíz primaria que crece verticalmente hacia abajo y requiere suelos profundos con buen drenaje, libre de acumulaciones de hierro, con alto contenido de nutrientes y un suelo rico en materia orgánica.

Un suelo arcilloso de buena estructura es el mejor para el cacao ya que la arena, el limo y la arcilla proporciona grandes espacios porosos para la aireación y drenaje, y al mismo tiempo, retener la humedad, el suelo es favorable si el pH es de 6.0 a 7.1, un valor de pH de 4 o menor no es adecuado para el cacao según (FAO, 2017)

2.6 Requerimientos climáticos

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) el cacao es estrictamente una planta tropical, que crece sobre todo en los 10 ° de la línea del Ecuador (latitud 20 ° N y 20 ° S), en la temperatura entre 22 ° C y 32 ° C. El límite de temperatura en frío es de 21 ° C, no inferior a 15 ° C en el mes más frío y un mínimo de 10 ° C. Para los límites de calor, la temperatura oscila entre 38 ° C a 40 ° C: el crecimiento es anormal a una temperatura constante por encima de 31 °

C, aunque un buen crecimiento se puede tener hasta 35 ° C, con una temperatura fluctuante entre el día y la noche.

- **Altura:** El cacao crece hasta 1.000 metros sobre el nivel del mar, siempre y cuando la temperatura no sea inferior a 21 ° C. Una altura ideal es de 600 m sobre el nivel del mar.
- **Lluvias:** Si la precipitación mensual cae por debajo de 10 cm al mes, el cacao sufrirá escasez de agua, las hojas comienzan a caer. Las áreas bajo tipo de clima subtropical húmedo son adecuadas para la producción de cacao,
- **Humedad relativa:** El cacao necesita temperatura húmeda, con una humedad relativa de aproximadamente el 80% como en un bosque tropical o las que ofrecen una sombra artificial. Por lo tanto, el cacao necesita sombra para crecer.

2.7 Tipos de cacao

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017), existen aproximadamente 22 especies de Theobroma, y cerca de 15 son utilizados por su pulpa comestible o semillas. El cacao es la especie más importante. Theobroma grandiflorum (cupuaçu), Theobroma gileri (cacao de montaña), T. bicolor (Macambo) y subincanum T. (cacao silvestre) son otras especies utilizadas por su pulpa dulce, comestibles y semillas comestibles.

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) el cacao se cultiva en las regiones donde los productores consideran el cacao como un cultivo comercial que utilizan para alimentar a sus familias y muy a menudo no toman en cuenta la variedad, sino que consideran más importantes otros factores como cuantas vainas produce, así como el número de semillas en una vaina de cacao.

Por todo ello, muchos, si no la mayoría de las plantaciones tienen una mezcla de material genético, y por lo tanto se hace casi imposible especificar qué variedad o variedades de una

plantación existen. Cuando los granos de cacao se cosechan de un árbol, se mezclan con los granos que se han cosechado de otros árboles. Esta es una de las razones por las que, por lo que el fabricante de chocolate se refiere, es mejor pensar en cada plantación tiene su genética propia y única.

Pese a lo anterior, desde el punto de vista botánico, la especie *Theobroma cacao* se diferencia en tres grandes grupos: criollo, forastero y trinitario, así mismo, según (Counet et al., 2004) se producen principalmente tres variedades de cacao en grano en todo el mundo: forastero (grado Bulk, 70% de la producción mundial), criollo (grado fino) y su híbrido, trinitario (grado fino).

2.7.1 Cacao criollo

Según (Peláez et al., 2016) los árboles de cacao criollo son relativamente raros y menos robustos en comparación con otras variedades. La copa del árbol Criollo es redonda y sus hojas de color verde pálido son pequeñas y ovaladas. Los granos de cacao son de color blanco marfil. El cacao criollo se caracteriza por mazorcas alargadas que son de color verde y rojo cuando los granos son inmaduros, y a medida que maduran se tornan de color amarillo y rojo anaranjado. Los granos de cacao de los árboles criollos son deseables debido a su sabor a nuez y afrutado.

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) Las semillas son grandes, redondas, de color blanco o púrpura pálido, no astringente, y son los que producen el chocolate más alta calidad. Por desgracia, los tipos criollo son de bajo rendimiento y susceptibles a muchas enfermedades, y son raramente cultivados.

Según (Navia y Pazmiño, 2012) citado por (Peláez et al., 2016) los granos criollos tardan entre dos y tres días en fermentar y son muy aromáticos. En base a estas cualidades, los granos Criollo tienen la denominación comercial de "cacao fino"

2.7.2 Cacao forastero

Los árboles de cacao Forastero o Amazonas tienen mazorcas que se vuelven amarillas al madurar. Las mazorcas son acanaladas y ligeramente rugosas con extremos lisos y redondeados. Las cáscaras de los granos de cacao Forastero son gruesas con un mesocarpio lignificado y los granos mismos están aplanados con cotiledones de color púrpura. El chocolate elaborado con cacao Forastero tiene un sabor básico según (Peláez et al., 2016).

Sus semillas son aplanas, menores de 3 cm., color oscuro, sabor amargo, aroma poco pronunciado y requieren de 5 a 7 días para lograr su completa fermentación, su producción es más elevada y es bajo su contenido de grasa (Liendo, 2000) citado por (Parra, 2012).

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) el tipo de cacao forastero es muy productivo y es el que domina la producción de cacao en el mundo.

Según (Quintero & Díaz Morales, 2004) se caracteriza por ser de mayor tolerancia a las enfermedades que el cacao Criollo. Representa aproximadamente un 95% de la producción mundial, proveniente de los países de África Occidental y Brasil.

2.7.3 Cacao trinitario

El tipo de cacao trinitario surgió en Trinidad, como un híbrido de los tipos Criollo y Forastero. Son muy variables, y se considera de alta calidad para la producción de chocolate según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017), el cacao Trinitario tiene una calidad intermedia (Navia y Pazmiño, 2012) citado por (Peláez et al., 2016).

2.8 Beneficio del cacao

Son todas aquellas operaciones a las cuales ha de someterse un producto agrícola natural para convertirlo en un artículo comercializable; en el caso del cacao estas operaciones consisten,

sucesivamente en: cosecha, desgrane, fermentación, secado, seguido de una buena clasificación y almacenamiento (Álvarez, 1997) citado por (Parra, 2012), el manejo poscosecha del cacao es muy importante y determina la calidad del producto en el mercado según (Sandhya et al., 2016) citado por (Peláez et al., 2016), el olor, el sabor, la suavidad, la textura son rasgos que definen la calidad de los productos de cacao, que también dependen de cómo fue procesado (Horta et al., 2019).

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) La calidad del cacao en grano es altamente dependiente de las tecnologías de procesamiento y las condiciones de almacenamiento para la prevención de la calidad defectuosa. Los únicos procesos que recibe el grano de cacao, luego de cosechado, es el secado y el fermentado. Esos procesos de poscosecha, muchas veces son aplicados de manera ineficiente lo que repercute en los precios de comercialización (INIAP, 2019).

2.8.1 Recolección

Es el proceso que consiste en la recolección de las mazorcas del árbol de cacao, esta madurez generalmente se aprecia mediante el cambio de color en la mazorca, las mazorcas verdes pasan a un color amarillo y las mazorcas rojas en anaranjadas.

Las mazorcas verdes no se deben recolectar porque el grano sin madurez origina un producto de sabor amargo, ya que las sustancias azucaradas que recubren el grano, aun no se encuentran en óptimas condiciones para el desarrollo de los procesos bioquímicos que se llevan a cabo durante la fermentación (FEDECACAO, 2009).

Según la (FAO, 2017), un factor determinante en el grano de cacao madurado apropiadamente es la apariencia externa. Hay variaciones considerables en la forma, color y textura de la superficie de las vainas, dependiendo del genotipo.

Generalmente en plantaciones pequeñas o medianas, la recolección debe hacerse cada dos o tres semanas, con lo que se evita la sobremaduración de los frutos o pérdidas por insectos o enfermedades. La recolección se hace con herramientas adecuadas siendo la tijera podadora la principal. Con cualquier otra herramienta, como el machete, se puede herir al árbol o dañar los granos de la mazorca (FEDECACAO, 2009).

2.8.2 Desgrane

Es el proceso mediante el cual se parte y se extraen los granos de cacao de la mazorca, este se recomienda que no supere las 24 horas posteriores a la recolección de las mazorcas, el desgrane por lo general se realiza a mano, golpeando la mazorca con un trozo de madera o contra una piedra, la extracción de los granos se realiza deslizando los dedos a lo largo de la placenta a la cual se encuentran adheridos.

2.8.3 Fermentación

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) la fermentación y el secado son particularmente importantes ya que son en gran parte responsables de los precursores de sabor típico del cacao que se desarrollan más tarde durante el tostado de los granos y por la calidad de los granos crudos durante su conservación. . En general, estos procesos están sujetos a variaciones locales.

Según (Gil, 2012) citado por (Peláez et al., 2016) la fermentación debe durar entre durante 2 a 3 días para los granos de cacao Criollo, o de 5 a 7 días para los granos de cacao Forastero.

Según (Nielsen et al., 2008) y citando varios autores, la fermentación del cacao es un proceso espontáneo. Tras la apertura de las vainas de la pulpa mucilaginosa ricas en azúcar y pH ácido, que rodea el grano de cacao el cual puede estar contaminado con una variedad de

microorganismos procedentes de las manos de los trabajadores, los contenedores utilizados para el transporte, los cuchillos, las superficies de la vaina, etc. Durante la fermentación las levaduras de diferentes especies y bacterias del ácido láctico (LAB), las bacterias del ácido acético (AAB) y, posiblemente, Bacillus se desarrollan en una forma sucesiva para llevar a cabo la fermentación. Las levaduras y LAB principalmente metabolizan los azúcares fermentables de celulosa en etanol y ácido láctico. Posteriormente parte del etanol es más oxidado a ácido acético a través de un proceso exotérmico a través de la actividad de la AAB. El etanol y ácido acético presente penetran en los granos que, en combinación con el calor producido, mata a los gérmenes y rompe las paredes celulares del grano en el inicio de los procesos que conducen a los granos fermentados. Tras la ruptura de las paredes celulares en los granos numerosos procesos bioquímicos conducen a la degradación de las proteínas a péptidos y aminoácidos, sacarosa en fructosa y glucosa y antocianinas y antocianidinas de azúcares (galactosa y arabinosa). Más tarde, los polifenoles (incluyendo las antocianidinas) se oxidan y polimerizan a los compuestos insolubles de alto peso molecular (taninos). Además, hay un flujo de salida neta de polifenoles y en teobromina en menor medida de los granos durante la fermentación. En conjunto, estos procesos conducen a un cambio de color en los granos de color gris pasando por violeta hasta el marrón, una reducción de la amargura y la astringencia asociados con cacao crudo y la formación de los precursores importantes para el sabor y el desarrollo durante los procesos posteriores de secado ya sea solar o en forma mecánica así como el tostado. Se ha establecido que las actividades microbianas que tienen lugar en la pulpa que rodea los granos tiene una influencia decisiva en los procesos bioquímicos en el interior del grano para el desarrollo del color y sabor del producto final.

Algunos de los sistemas de fermentación empleados en Colombia son la caja de madera rectangular, el sistema en escalera de madera de tres niveles, el de escalera de dos niveles, el tambor rotatorio y en pila de baldosa (Contreras, 2017)

2.8.4 Secado

Según Cros y Jeanjean, 1995; Jinap et al., 1994) citado por (Ortiz de Bertorelli et al., 2004), el secado es una etapa del beneficio del cacao en la que se elimina el exceso de humedad de los granos por calentamiento y se completa la formación del aroma y sabor a chocolate. Al finalizar la fermentación del cacao el grano queda con un contenido de humedad de aproximadamente 60%, que debe ser reducido hasta un valor próximo a 8% para evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad (Rohan, 1964) y además para facilitar el almacenamiento, transporte, manejo y comercialización del cacao.

Para (Covenin, 1995a) citado por (Ortiz de Bertorelli et al., 2004), es recomendable reducir la humedad hasta valores del 6 a 7%, máximo 8% (COVENIN, 1995a), ya que si se reduce demasiado la cáscara se vuelve muy quebradiza, en caso contrario existe el riesgo del crecimiento de hongos al almacenar el grano (Rohan, 1964).

Sistemas ineficientes de secado puede conducir a la actividad de hongos, el deterioro por hongos depende de la variedad, cosecha, manipulación, transporte y condiciones de almacenamiento post-cosecha y comercialización. La mala actividad fungicida puede resultar en la contaminación con micotoxinas y podría suponer un riesgo para la salud de los consumidores según (Guehi et. al. 2007) citado por la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017).

En el secado la acidez desciende y el pH se incrementa (Jinap et al., 1994; Nogales, 1999; Rodríguez y Rojas, 2000) debido a la pérdida de ácidos conjuntamente con la evaporación del

agua (Días y Avila, 1993). Además, los compuestos fenólicos disminuyen por difusión fuera del cotiledón y por la formación de complejos con las proteínas y los polisacáridos (Brito et al., 2000) citados por (Ortiz de Bertorelli et al., 2004).

Durante el secado continúa la fase oxidativa de la fermentación, por lo que juega un papel importante en la disminución de la astringencia, amargor y acidez del grano, así como en el desarrollo del color marrón a partir de los compuestos fenólicos, lo que ocurre solamente en esta etapa (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap et al., 1994) citado por (Ortiz de Bertorelli et al., 2004).

2.9 Zonas de producción

2.9.1 Cacao a nivel internacional

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) la revolución industrial provocó una disminución en la producción en América del Sur, a pesar de la expansión de sus áreas de cultivo en el río Amazonas y vio emerger a un imperio de cacao en suelo africano. En efecto, desde el inicio del siglo 20, África ha tomado la iniciativa y se ha convertido en el mayor productor de cacao.

Según (Quintero & Díaz Morales, 2004) el comercio mundial de productos primarios, entre ellos el cacao en grano, es de significativa importancia, dado que la producción y el comercio de estos bienes constituyen la base de la economía nacional de la mayoría de los países subdesarrollados.

Según (Vergara, 2016) la producción mundial de cacao ocupa en la actualidad más de siete millones de hectáreas y las principales zonas productoras se encuentran en áreas de bosque lluvioso tropical. Los ocho mayores países productores de cacao son Costa de Marfil, Indonesia,

Ghana, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador, y Togo, que juntas representan el 87% de la producción mundial.

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017), la producción mundial y las exportaciones están dominadas por Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún, siendo los dos primeros los que participan en la producción y exportación de más de la mitad del total mundial.

Según (Vergara, 2016) el cacao es una de las materias primas agrícolas más importantes del comercio internacional y como tal, es una fuente indispensable de divisas para los países productores.

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) el cacao juega un papel económico muy importante para los pequeños agricultores. Como cultivo comercial puede garantizar ingresos necesarios para la compra de alimentos y es especialmente importante en áreas donde la seguridad alimentaria ha sido un problema, así mismo, según (Vergara, 2016) la gran mayoría de la producción de cacao es realizada por pequeñas comunidades productoras, lo cual hace que los medios de vida de millones de hogares campesinos en muchos países del mundo dependan directamente de los precios internacionales.

Pese a lo anterior, la producción de cacao se ha visto limitada en los últimos años en varios países por las condiciones climáticas desfavorables, tales como El Niño, la propagación de plagas y patógenos del cacao, el bajo uso de insumos químicos, y el envejecimiento de la población campesina según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017).

Según datos de la Organización Internacional del Cacao (ICCO, por sus siglas en inglés) y citado por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF, 2019), la producción mundial de cacao en grano fue de 4.652.000 toneladas en el período 2017-2018 y el 18% (836.000 tons)

corresponde a América Latina, donde se encuentran cinco de los 10 principales productores de cacao a nivel mundial: Ecuador (286.600 tons), Brasil (204.200 tons), Perú (134.300 tons), República Dominicana (84.500 tons) y Colombia (55.000 tons). En total la producción de estos cinco países suma 748.000 toneladas y según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) el precio mundial del cacao se cotiza en las bolsas internacionales tales como las de Londres y Nueva York, y está determinado por la oferta y la demanda.

2.9.2 Cacao en Colombia

Según (Espinal et al., 2005) el cacao es uno de los productos que cuentan con ventajas comparativas en Colombia derivadas de las condiciones naturales para su producción, esto es, de las características agroecológicas en términos de clima y humedad y su carácter de sistema agroforestal conservacionista del medio ambiente. Además, una porción no despreciable de la producción de cacao se cataloga como de cacao fino y de aroma, asimismo, la hace deseable para la producción de chocolates finos.

En Colombia el cacao se cultiva en altitudes comprendidas entre los 100 hasta los 1400 m.s.n.m, en paisajes que van desde montaña hasta planicies aluviales y en ambientes secos y húmedos, es decir en múltiples condiciones edáficas, fisiográficas y climáticas que originan una gama amplia de ambientes agroecológicos, que responden de manera diferencial a las recomendaciones tecnológicas y a opciones de manejo (García et al., 2006).

Según (Minagricultura, 2020) en los departamentos de Santander, Antioquia, Arauca, Huila, Tolima, y Nariño se concentra el 77% de la producción de cacao en Colombia y en 422 municipios de 27 departamentos se registró producción de cacao en el año 2019, según también el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural actualmente, el subsector cacaotero se caracteriza porque el 95% de su base social productiva es catalogada como pequeño productor.

En Colombia, la producción del cacao se ha clasificado como economía campesina de pequeños y medianos productores donde la utilización de mano de obra familiar es muy importante (INIAP, 2019) y según MADR (2018) citado por (INIAP, 2019), en el país, existen alrededor de 35000 familias productoras, las cuales pertenecen a un estrato social bajo en su mayoría. Se ubican en zonas económicamente deprimidas (ej. bajos niveles de escolaridad, escasas vías de acceso y bajos ingresos) y en muchos casos con problemas de orden público. Los productores poseen en promedio tres hectáreas, con rendimientos inferiores a los 500 kg/ha y bajos niveles de tecnificación y productividad, lo cual sólo les permite auto sostenerse.

La producción nacional de éste bien ha venido en descenso. Las variables que explican la disminución de la producción están sustentadas en los menores rendimientos por hectárea y la caída del área, que a su vez son el resultado del envejecimiento de los cultivos, la falta de renovación de los cultivos, la falta de mejoramiento genético, la presencia creciente de enfermedades que atacan los cultivos y la falta de capacitación del capital humano que permita una mayor transferencia de tecnología. De hecho, según el censo cacaotero la tecnología predominante empleada en el cultivo es catalogada como de nivel bajo según (Espinal et al., 2005) así mismo, según la Superintendencia de industria y comercio el cultivo de cacao en Colombia presenta niveles de baja productividad en razón a que escasamente se producen 450 kilogramos de cacao seco por hectárea al año destacando las mismas causas anteriormente nombradas tales como la baja fertilidad del material genético, la edad avanzada de los cultivos y el reducido número de árboles por hectárea.

Pese a lo anterior, desde el año 2006 hasta el 2016 la superficie de cultivo ha aumentado en más de 377 mil hectáreas. El aumento de la superficie de cultivo está concentrado en cinco países: Ecuador, Colombia, Brasil, Perú y República Dominicana, pues, en conjunto incrementan

alrededor de 354 mil hectáreas. Colombia y Perú han incrementado la superficie de cultivo en más del 100% si se la compara con el 2006 según la (FAO, 2018) citado por (INIAP, 2019).

Según (Minagricultura, 2020) el rendimiento promedio nacional es bajo y se asocia principalmente a que el 45% de las plantaciones se encuentran en un estado de envejecimiento avanzado o incluso improductivo, lo cual se agudiza por la presencia de problemas fitosanitarios, dada la baja cultura y acceso a herramientas de extensión rural que permitan la adopción de tecnología adecuada para el cultivo de cacao. A esta situación se suma la deficiente infraestructura (cajón fermentador y secadero) y capacitación a los productores, para lograr aprovechar el alto potencial que tiene el país en la producción de cacao fino de sabor y aroma, como es reconocido nuestro grano a nivel mundial.

El (DANE, 2004) en el documento llamado Guía Metodológica para el cultivo de cacao indica que el cultivo se encuentra en un nivel bajo de tecnología 78,27%, alrededor de un 22,87% en nivel medio y menos del 1% en un nivel de tecnología alto. En general el agricultor solo realiza las labores básicas de recolección, control de malezas y poda.

Pese a lo anterior según (Minagricultura, 2020) en el periodo comprendido entre 2015 y 2019, el área sembrada en cultivos de cacao en Colombia ha tenido un crecimiento del 11% y la producción se ha incrementado en un 9%, para el año 2019, se incrementó el área en 7.447 hectáreas sembradas, para una tasa del 4% con respecto al año anterior y la producción en 2.873 toneladas para una aumento del 5%. El aumento en la producción del 2019, fue producto de las condiciones climáticas favorables presentadas durante todo el año, que favorecieron positivamente la florescencia de los árboles.

Según (Minagricultura, 2020) el departamento de Santander es el principal productor de cacao a nivel nacional, con una participación del 42% del total de la producción, seguido por Antioquia con una participación del 9%, Arauca y Huila 8% cada uno, Tolima con 7% y Nariño con un 5%, el departamento que presenta el rendimiento más alto es Arauca, alcanzando 660 kilos por hectárea en el año 2019.

El proceso de comercialización del grano en Colombia tiene diferentes canales. El canal tradicional ha sido el manejado por el acopiador o intermediario, que en algunas regiones del país compra finca a finca, en otros acopia en las veredas para luego ir a comercializar la mercancía a las cabeceras municipales. Este canal es criticado por varios actores de la cadena porque en su afán de obtener volúmenes, compran cacao de diferentes calidades, las cuales posteriormente mezclan para unificar y vender a las casas comerciales y en algunos casos a la industria (Contreras, 2017), los principales criterios de calidad exigidos por los comercializadores de cacao son limpieza, humedad y tamaño de grano (INIAP, 2019).

El cacao juega un papel económico muy importante no solo como un cultivo comercial sino también en la generación de empleo, según (Minagricultura, 2020) en el año 2019, el subsector cacaotero generó cerca de 165.000 empleos entre directos e indirectos. En el periodo de 2011 a 2019, se presentó un crecimiento del 29% en el total de empleos que generó el subsector cacaotero, concentrándose en los departamentos con mayores áreas sembradas. Se calcula que aproximadamente cada hectárea sembrada de cacao utiliza 1,1 empleos directos e indirectos al año.

En cuanto a los destinos de exportación, según (Minagricultura, 2020) los principales países destino de exportaciones en el 2018 fueron en su orden; México, Malasia, Bélgica, Estados Unidos, Argentina, Holanda e Indonesia; que en conjunto suman cerca del 98% del total de las

exportaciones de cacao colombiano, Colombia en el año 2019 exportó cacao a 23 países, con un total de 9.116 toneladas y teniendo un ingreso FOB de USD \$23 Millones, el principal país destino de las exportaciones durante el año 2019 fue México, con una contribución en el mercado del 54% y llegando a las 4.948 toneladas enviadas.

2.10 Clasificación comercial del cacao

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017), la calidad de los granos de cacao crudo después de la cosecha está influenciada por una amplia variedad de factores abióticos y bióticos. La contaminación de los alimentos en la alimentación humana y animal es difícil de predecir, porque depende de una compleja interacción de factores, como la temperatura, la humedad, las especies endógenas de hongos, las condiciones de almacenamiento y tiempo de almacenamiento. En general, el mal manejo después de la cosecha puede conducir al rápido deterioro de la calidad y a la iniciación de la actividad de hongos, o grave disminución del valor comercial y nutricional y pérdidas económicas significativas.

Por otro lado, de acuerdo con la UNCTAD (2003) citado por (Quintero & Díaz Morales, 2004), los estándares internacionales para cacao requieren que el grano de calidad negociable sea fermentado, completamente seco, libre de olores extraños y de cualquier evidencia de adulteración, así como razonablemente libre de insectos vivos, de granos partidos, fragmentos y partes de cáscara, así como uniforme en tamaño.

En el documento “El mercado mundial del cacao del año 2004”, se dice que la calidad del producto final está estrechamente vinculada con las características de la materia prima utilizada. El término calidad comprende diversos aspectos asociados a criterios objetivos y subjetivos. Algunos aspectos pueden ser mensurables y comparables, como por ejemplo, el tamaño del

grano, el contenido de manteca de cacao y la dureza de ésta; en cambio otros aspectos son de difícil medición como el sabor y el aroma.

Además, la apreciación de la calidad difiere según los actores del circuito del cacao: productores, intermediarios, fabricantes o consumidores. Desde el punto de vista del cliente, los dos factores más resaltantes de un buen cacao están referidos a la calidad uniforme y la regularidad de los suministros, cumpliendo estrictamente con los términos pactados.

Según (Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT, 1991) citado por (Quintero & Díaz Morales, 2004) indica que, desde el punto de vista comercial e industrial, en el mercado mundial generalmente se clasifican los granos de cacao en dos categorías: Cacao ordinario y Cacao fino o de aroma.

2.10.1 Cacao común o “Bulk”

Según (Quintero & Díaz Morales, 2004) granos producidos por los cacaos tipo Forastero; éstos son utilizados en la fabricación de manteca de cacao y de productos que tengan una elevada proporción de chocolate.

Según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017), existen dos tipos principales de granos de cacao a granel (o básico), que constituye más del 90% de la producción y proviene principalmente de África y Brasil y es mayoritariamente de la variedad Forastero. Los granos de cacao de sabor fino, que tienen características distintivas de sabor, constituyen sólo el 5% de la producción.

2.10.2 Cacao “fino y de aroma”

Para (Quintero & Díaz Morales, 2004) En términos generales, los granos de cacaos Criollos y Trinitarios corresponden a lo que en el mercado mundial se conoce como cacao fino o de aroma.

Éste es utilizado usualmente en mezclas con granos ordinarios o Forastero para producir sabores específicos en los productos terminados. Los granos correspondientes a esta categoría dan características específicas de aroma o color en chocolates finos de revestimientos o capas de cobertura. También se usan (aunque cada vez menos) para producir cacao en polvo que se emplea como aroma en algunas recetas y en la preparación de algunos alimentos y bebidas.

La oferta mundial de cacao fino o de aroma es relativamente reducida y representa aproximadamente el 5% del cacao producido en el mundo.

2.11 Tipos de secado

2.11.1 Secado natural

Las condiciones más favorables de secado se obtienen cuando se realiza con el calor del sol, que es la fuente más barata y adecuada (FEDECACAO, 2009).

Se entiende por secado natural aquél en que el movimiento del aire de secado se debe a la acción de los vientos, y la energía para evaporar la humedad proviene de la capacidad de secado del aire y de la incidencia directa de la energía solar. Para reducir el tiempo de secado es común construir patios de secado o secadores simples que aprovechan la acción del viento y la energía solar. Este método de secado es muy utilizado por la mayoría de los agricultores de los países en vías de desarrollo, a veces por desconocimiento de técnicas más modernas y porque las condiciones climáticas permiten su uso a un costo muy reducido. Otra gran limitante para el uso de tecnologías más elaboradas lo constituye el nivel de inversiones que se requiere y que, por lo general, se encuentran muy por encima de las posibilidades de muchos productores rurales según la (FAO, 1993).

Para el secado al sol, se utilizan estructuras como las paseras, casaelba, camillas de madera o carros corredizos tipo elba. No se deben usar patios de cemento ni áreas pavimentadas, pues sobre todo en estas últimas se produce contaminación por elementos nocivos (FEDECACAO, 2009).

2.11.2 Secado artificial

Los sistemas para el secado artificial de granos están constituidos por un ventilador que mueve el aire y que lo fuerza a pasar por la masa de granos, una cámara para contener el grano y un quemador que permite aumentar la temperatura del aire de secado. Cuando el grano se va a secar en flujos continuos, los secadores requieren equipos especiales para llenarlos con granos húmedos y para vaciarlos cuando los granos están secos. En los secadores estacionarios o por lotes, el grano se retira del secador después que se ha secado y enfriado (FAO, 1993), debe tenerse cuidado para que la temperatura no sobrepase los 60 grados centígrados (FEDECACAO, 2009).

2.12 Secado de granos

El secado se realiza para que el producto pueda ser almacenado, con la seguridad de que no se afectara por causa del ataque de hongos, es necesario acondicionar su humedad a un contenido de agua cercano al 7 % (FEDECACAO, 2009) en caso del cacao.

2.12.1 Factores que inciden en el proceso de secado de granos

En los países en desarrollo, los métodos disponibles para secar los productos agrícolas a nivel del agricultor están limitados, la mayoría de las veces, al uso de una combinación de radiación solar y el movimiento natural del aire ambiente o sea, el secado natural (FAO, 1993).

Se entiende por secado natural aquel en que el movimiento del aire se realiza por acción de los vientos y en que la evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar (FAO, 1991), por lo anterior para llevar a cabo el proceso de secado y llevar el grano a la humedad requerida de almacenamiento es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

2.12. 1.1 Temperatura del aire

A mayor temperatura la energía cinética de las moléculas de agua localizadas en la superficie del grano aumenta, y será suficiente para vencer las fuerzas intermoleculares de la fase líquida, y en consecuencia, evaporarse. La temperatura también afecta a la humedad relativa del aire, ya que a mayor temperatura aumenta la presión de saturación de vapor de agua, por lo tanto, mayor margen de captación de agua (Magem, 2017).

La temperatura y la humedad relativa del aire ambiente son factores fundamentales en la tasa de secado del producto, pues el aire posee una capacidad máxima para evaporar humedad. Una parte de la energía solar se absorbe y produce el calentamiento de los granos, lo que ayuda a acelerar el movimiento de la humedad, desde el interior hacia la superficie de los granos y facilita, por tanto, el secado (FAO, 1991).

2.12.1.2 Humedad Relativa

La humedad relativa es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen de aire, y la cantidad máxima que este aire podría contener al punto de estar saturado, o sea, al punto de rocío. La humedad relativa, expresada generalmente en porcentaje, se representa como HR, y es tal vez, la característica del aire que está más relacionada con el secado de los granos (Caro, 1998), a menor contenido de humedad en el aire, mayor será su capacidad de absorción de agua (Magem, 2017).

2.12.1.3 Velocidad del aire

El movimiento del aire tiene como funciones, transmitir el calor al agua del grano para su evaporación, y transportar esta agua evaporada. A mayor velocidad, mayor renovación de aire y más rápido será el transporte del agua evaporada (Magem, 2017).

2.12.1.4 Radiación solar

Según el IDEAM, la radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, para Solís (2005) citado por (Bahamón y Torres 2013), la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y su temperatura es lo que determina el flujo de energía casi constante que incide en la superficie terrestre y aunque existen varios modelos para calcularlo, el valor comúnmente aceptado es de 1.354 W/m². Este valor se define cómo el flujo de energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie de un metro cuadrado, ubicada fuera de la atmósfera terrestre, perpendicular a los rayos solares y a una distancia media de la Tierra al Sol y es conocido como Constante Solar.

No se espera que el método tradicional de secado varíe sustancialmente en el futuro, porque el aprovechamiento de la energía disponible (la radiación solar incidente y la energía propia del aire) es muy aceptable (CENICAFE, 2000).

Para mantener la buena transmisión de la radiación solar es necesario lavar la superficie exterior con agua y jabón (detergente) para remover el polvo (CENICAFE, 2000).

2.12.1.5 Humedad del grano

Según el (INTA, 2013) el concepto de Humedad de los granos hace referencia a la cantidad de agua contenida en los mismos, por unidad de masa del grano. El contenido de humedad de los granos puede expresarse tanto en “base húmeda” como en “base seca”. La primera modalidad es

la más utilizada entre productores, comerciantes y procesadores de grano y es la empleada típicamente en los estándares de comercialización. La segunda modalidad es usada por los ingenieros para describir la tasa de secado. El contenido de humedad de los granos puede ser eliminada mediante secado, sin alterar la estructura físico-química (Caro, 1998).

Conocer el contenido de humedad de los granos es imprescindible para una adecuada conservación de los mismos durante la poscosecha, pues la humedad determinará en gran medida el período durante el cual el grano puede ser almacenado sin que se deteriore su calidad (INTA, 2013).

Rojas (2015), afirma que el grano puede tomar o ceder agua en forma de vapor de agua desde el medio que lo rodea, es decir busca su equilibrio higroscópico. El agua en los granos puede encontrarse en tres formas distintas:

Agua superficial y agua capilar: Es de fácil y rápida remoción, es el agua presente en la superficie y en los espacios capilares. Agua interna o de absorción: Es de mediana remoción. Es el agua que rodea a las partículas que constituyen el grano. Es el agua retenida por las moléculas (carbohidratos y proteínas del grano) y por último el agua de constitución: Es el agua de composición, es decir la que forma las proteínas y carbohidratos de granos. Es muy difícil su remoción.

2.13 Método Gravimet

Para medir la humedad de los granos de cacao en campo, los cacaocultores lo realizan de forma práctica ya que para medir el punto de secado toman un puñado de granos y lo aprietan, si este cruje es señal para ellos de que los granos de cacao están secos, pero pese a que esta es una forma común y tradicional de medir la humedad no es precisa y puede que los granos de cacao estén aun

fuera del rango de humedad requerido o por el contrario, haya un exceso de secado lo que podría generar pérdidas económicas.

El método Gravimet se emplea para medir la humedad del café, determinando que esta esté en el rango de humedad exigido para su comercialización, para determinar la humedad durante el secado solar Cenicafé desarrollo un método de fácil uso y bajo costo que permite medir la humedad del café durante el proceso controlando el peso de una masa de café durante el secado (CENICAFE, 2009).

2.13.1 Procedimiento para medir la humedad con el método Gravimet

Para la aplicación del método, denominado Gravimet, se debe emplear café sano, limpio y escurrido en el tanque con al menos una hora, utilizar una canastilla de 12x12cm en la base y 5cm de altura fabricada en malla plástica con aberturas que permitan retener los granos de café depositados en su interior, aun los más pequeños (4mm x 4mm). Las canastillas deben ser translúcidas o blancas, para reducir el efecto de la radiación solar y lograr que las condiciones del aire que rodea a la muestra contenida en su interior (temperatura y humedad relativa) sean similares a las de la capa externa. Cuando se trabaja con capas de café pergamino de 2 cm de altura, se colocan en la canastilla 200 g 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 (CENICAFE, 2009).

Para iniciar la determinación del peso, se debe esperar aproximadamente hasta después del tercer día, cuando el peso de la muestra de café de la canastilla sea igual o menor que 115 gr, se deben realizar pesos más seguidos, cuando el peso de la muestra de café contenida en la canastilla está entre 104 y 105 g el café debe estar con humedad del 10% al 12%, y es el momento de retirarlo del secador (CENICAFE, 2009).

3 Materiales

3.1 Materiales

- ✓ (1) Secador solar tipo invernadero de multi-túnel con ventana cenital construida en estructura tubular metálica de hierro galvanizado al carbón de 2 pulgadas de diámetro y un calibre de 1.5 mm y cubierta plástica de Europlast.
- ✓ (1) Medidor de humedad digital para granos portátiles y de mesa café y cacao COFFEE PRO MOISTURE MAC con rango de medición de entre 5% a 44% de humedad dependiendo del tipo de grano probado (Café pergamino, café verde, café tostado y cacao), de precisión de +/- 0.5%.
- ✓ (1) Datalogger de Temperatura Y Humedad Con Display DT-172, con un rango de temperatura de -40 a 70°C y una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$; rango de humedad de 0 a 100% y una precisión de +3% RH.
- ✓ (2) 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 y una precisión: $\pm 1^\circ\text{C} / \pm 10\% \text{ HR}$.
- ✓ (1) Medidor de radiación solar PCE-SPM 1, con rango de 0-2000 W/m² y una precisión de $\pm 10 \text{ W/m}^2$ o $\pm 5 \%$.
- ✓ Horno o estufa de convección forzada MEMMERT modelo 30-1060.
- ✓ (1) Balanza solo peso TRUMAX, capacidad máxima 1500g x 0.1g.
- ✓ (1) Balanza electrónica con precisión 1 gramo * 5 kilogramos.
- ✓ (1) Rastrillo revolvedor.
- ✓ (5) Canastillas plásticas color blanco con filtro UV, con dimensiones y método Cenicafé (canastilla fabricada en malla plástica de 12 cm x 12 cm en la base y 5 cm de altura).

4 Metodología

4.1 Localización

Este proyecto de investigación se desarrolló durante el periodo comprendido en el mes de diciembre del 2020 en el Municipio de Gigante-Huila, esta zona presenta una precipitación anual de 3453 mm y una temperatura media anual de 18.3 °C., Gigante es una ciudad con precipitaciones significativas, incluso en el mes más seco hay mucha lluvia.

El área de estudio donde se llevó a cabo este proyecto fueron las instalaciones de la asociación de productores y comercializadores de cacao del municipio de Gigante – Huila (ASOCAGIGANTE) ubicada en la vereda El Tendido a pocos kilómetros de la cabecera central del municipio aproximadamente a 5 minutos del casco urbano, vía 45, su coordenada se localiza 2°23'12.24" N 75°31'45.38" O; con una elevación de 896 m.s.n.m.



Figura 1. Ubicación de las instalaciones de la asociación ASOCAGIGANTE.

Fuente: Google Earth.

4.2 Ubicación del área de beneficio

El área de beneficio donde la asociación ASOCAGIGANTE lleva a cabo el proceso de fermentación y secado del cacao de sus asociados se encuentra ubicada aproximadamente a 5 minutos del municipio de Gigante - Huila, esta instalación fue con anterioridad una planta de sacrificio siendo adoptada su infraestructura como central de beneficio en provecho de la asociación, en la instalación principal se lleva a cabo el proceso de fermentación y en su área restante se encuentra constituido el secador solar tipo invernadero de multi-túnel.

Fue empleado un lote de granos proporcionado por lo asociación ASOCAGIGANTE constituido por mezclas de diversos tipos de cacao procedentes de los productores del área y que forman parte de la misma, quienes llevan las almendras de cacao a las instalaciones de la asociación para continuar con el proceso de beneficio: fermentación y secado.



Figura 2. Vista lateral secador solar tipo invernadero.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

4.3 Estudio del área y calibración de los equipos

Fueron realizadas 3 visitas previas a la ejecución del proyecto de investigación con el fin de conocer los procedimientos llevados a cabo por los trabajadores en el proceso de secado en las instalaciones de beneficio de la asociación ASOCAGIGANTE, además de sondear los equipos para conocer su correcto manejo, toma de datos y la graduación de los mismos, comprobando mediante la calibración entre dos grameras la diferencia o igualdad de un peso, colocando en cada gramera la misma masa asegurando que los pesos fueran próximos entre ellas determinando una diferencia despreciable entre ± 1 gramo.

Así mismo, los termo-higrómetros o medidores de temperatura y humedad relativa (termo-higrómetros (2) - datalogger (1)) se ubicaron simultáneamente dentro del secador solar tipo invernadero de multi-túnel determinando que el rango de diferencia de temperatura resultado entre ellos no generó datos que pudieran tenerse en cuenta al momento de ejecutar el proyecto y que pudieran alterar significativamente los resultados finales de la investigación, en los datos de humedad relativa (HR %) en los medidores de temperatura y humedad relativa, los termo-higrómetros (2) y el datalogger (1) se determinó un rango de diferencia de hasta 10%, que puede deberse a la diferencia entre ambos modelos influyendo en su precisión y rango de humedad, finalmente mediante lo anterior se garantizó su adecuado funcionamiento con el fin de corroborar la veracidad de los datos recolectados.

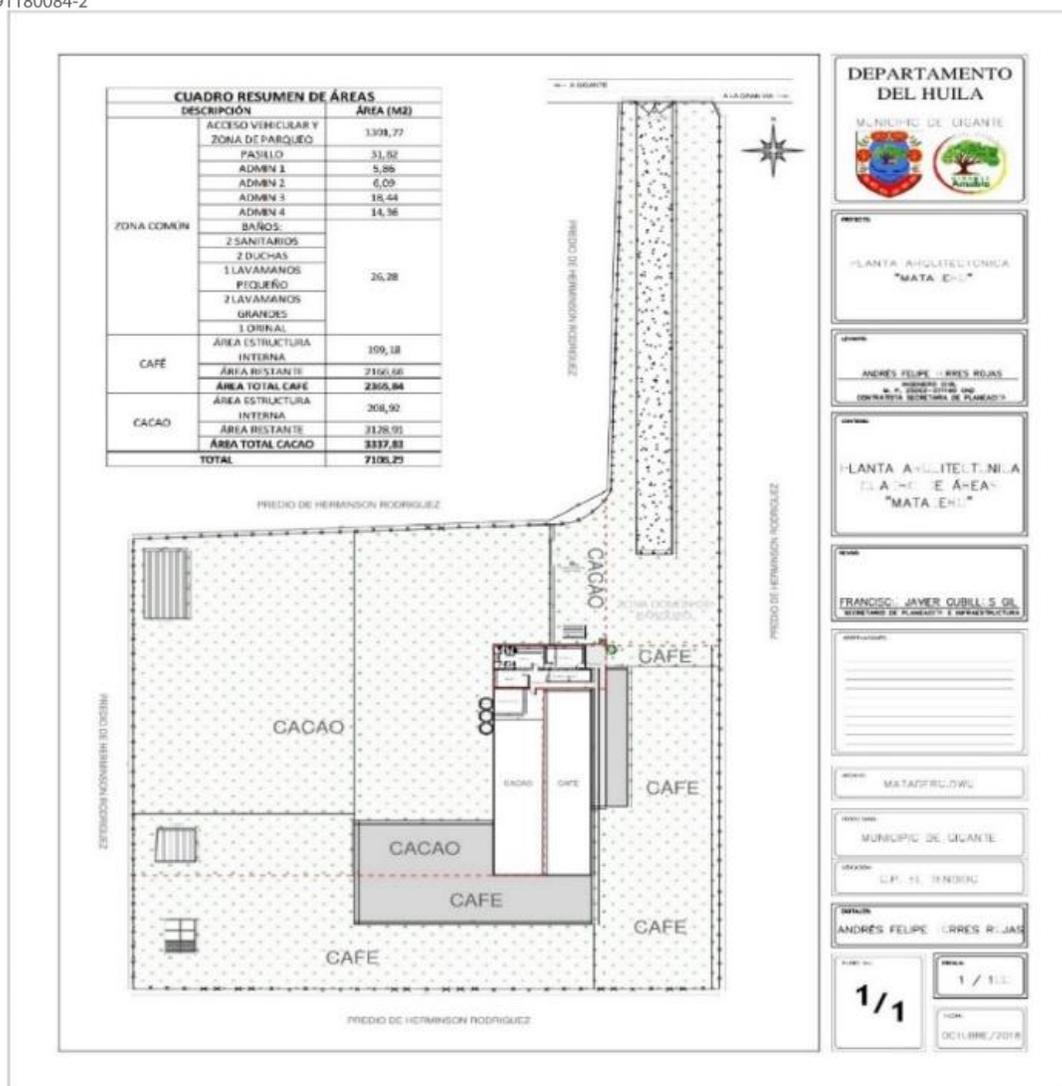


Figura 3. Plano de las instalaciones de la asociación ASOCAGIGANTE.

Fuente: Municipio de Gigante.

4.4 Proceso de fermentación

Los granos de cacao fueron fermentados durante 10 días en un fermentador tipo trinitario (cajón de madera) en la central de beneficio de la asociación, este proceso fue realizado por la asociación, por lo cual para este proyecto de investigación en el que se realizará un análisis

comparativo en el proceso de beneficio evaluando la influencia de diferentes variables en el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.), el cacao fue entregado fermentado y listo para iniciar el proceso de secado, la investigación se llevó a cabo por medio de un lote constituido por mezclas de diversos tipos de cacao procedentes de distintas fincas de cacaocultores que forman parte de la asociación ASOCAGIGANTE y quienes llevan a las instalaciones de la misma las almendras de cacao fresco recomendándose que no supere las 24 horas posteriores a la recolección y desgrane de las mazorcas donde finalmente se lleva a cabo la fermentación y el secado de los granos.

El cacao empleado en el proyecto fue fermentado por 10 días en un fermentador tipo trinitario (cajón de madera) en el cual los granos de cacao fresco son depositados y cubiertos con sacos de fique, los fermentadores se encuentran elevados a 5 cm del suelo aproximadamente, estos cajones de madera cuentan con orificios que permiten la salida de los lixiviados que se desprenden durante el transcurso del proceso, contados desde el momento en que se colocó la masa de grano fresco dentro del fermentador tipo trinitario hasta el décimo día en que termina el proceso cuando se tiene un porcentaje de fermentación entre el 75 - 80%.



Figura 4. Fermentador tipo trinitario (cajón de madera) de la asociación.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

4.5 Selección y tamaño de muestreo

La identificación y selección del sitio de muestreo del área de estudio se realizó con el apoyo de la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao ASOCAGIGANTE, la cual en sus instalaciones de beneficio cuentan con 49 paseras de secado elaboradas en dos tipos de material, 9 fabricadas en madera y guadua y 40 paseras en hierro galvanizado dentro de las cuales en ese periodo se hallaban una parte con cacao en proceso de secado y otra en proceso de mantenimiento y renovación, en el momento de la ejecución del proyecto y la disponibilidad de los mismos, se seleccionaron 10 paseras con estructura tubular cuadrada de ½ pulgada calibre 18, base en lámina de hierro galvanizado de calibre 16 con orificios, y malla cafetera o red 5.000 de 4x4 mm y marco perimetral en madera tipo mimbre colocada con la finalidad de ser empleada como aislante entre la masa de cacao y la lámina de hierro galvanizado.



Figura 5. Paseras empleadas para el proceso de secado del cacao.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

4.6 Proceso de secado

Para el secado del cacao se empleó el método natural, también llamado secado al sol, distribuyendo el material en 10 paseras en capas de aproximadamente 2- 2.5 cm de espesor donde se empleó un volumen en kilos diferente por pasera de secado en una superficie o base en lámina de hierro galvanizado de textura lisa, de calibre 16 con orificios y marco perimetral en madera tipo mimbre, con un área de 3.27 m² con las siguientes dimensiones: 1.84 m de largo, 1.78 m de ancho y 9 cm de alto. El volumen de kilos de cacao fue dividido así:

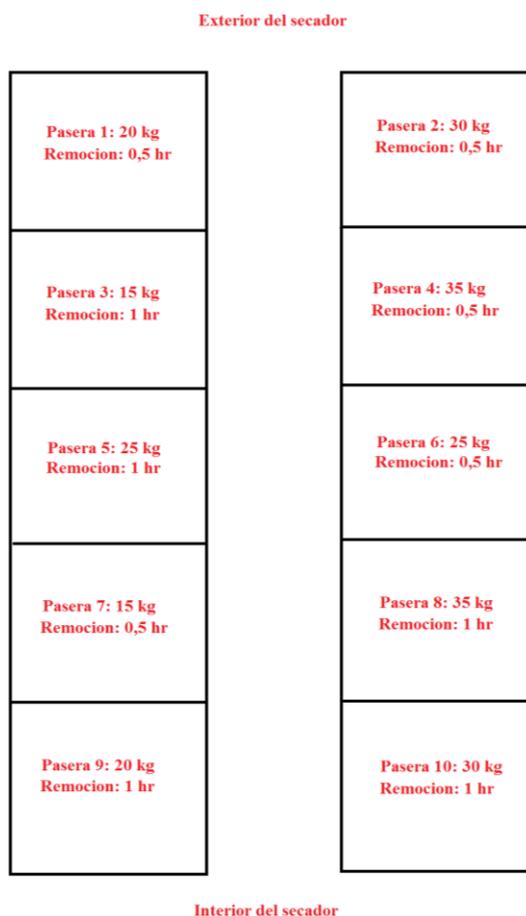


Figura 6. Distribución del volumen y la frecuencia de remoción por pasera de secado.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Para lo anterior, se emplearon 250 kg de cacao en baba para lo cual, con una balanza industrial se pesaron los kilos de cacao que fueron posteriormente distribuidos en las paseras, inicialmente se determinó el peso de la canastilla plástica empleada teniendo esta un peso de 1,80 kg, que fue descontado en cada pesaje del cacao.

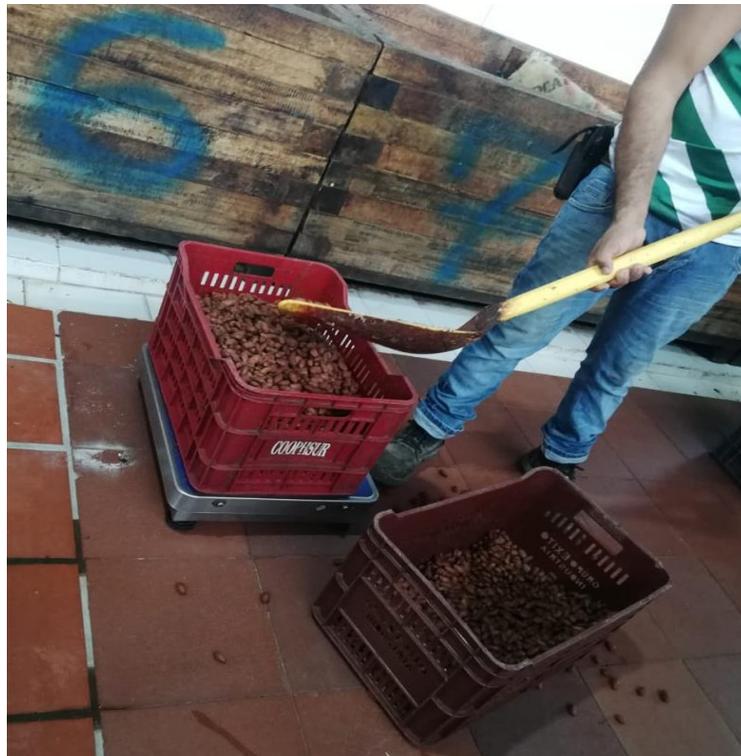


Figura 7. Peso del volumen de cacao empleado por pasera..

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Las paseras fueron divididas en dos frecuencias de remoción, es decir que, durante el secado, los granos de cacao fueron removidos con distintas frecuencias, tratando de mantener constantemente el espesor en cada tratamiento, la remoción de la masa de cacao se realizó de dos maneras: removiendo cada 0,5 horas (media hora) y con remoción cada hora, las dos frecuencias de remoción empleadas fueron aplicadas durante aproximadamente 2 minutos con un rastrillo

artesanal de madera, instrumento comúnmente usado en la zona para realizar la distribución homogénea del cacao en las paseras.

El cacao fue secado bajo cubierta hasta obtener una humedad de entre el 6 y 7%, la que se alcanzó en 5-6 días, midiendo variables de temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa (HR%) y radiación (W/m^2), peso de los granos para la implementación de prueba del Método Gravimet y el porcentaje de humedad del grano, el periodo de tiempo donde se tomaron los datos es de 9:00 am a 5:00 p.m. (8 horas diarias), al final de cada día desde el primer día de la ejecución de la investigación los granos se dejaban en las mismas paseras de secado hasta el día siguiente, es decir que no eran recogidos, guardados o cubiertos por lo cual quedaban expuestos a factores de temperatura y humedad relativa de las horas de la noche.

4.7 Determinación de la humedad inicial

4.7.1 Método directo: Método de la estufa

Para calcular la humedad inicial de los granos de cacao y dar inicio al análisis de secado se empleó el método directo, siendo los principales los métodos de la estufa, la destilación y los rayos infrarrojos (FAO, 1993), para este proyecto de investigación como método directo se utilizó el método de la estufa, en el cual, para determinar la humedad de los granos se somete una muestra de granos de peso conocido al secado y se calcula el porcentaje de humedad a través del peso que se pierde durante el secado (FAO, 1993).

La humedad de los granos de cacao se empezó a medir cuando terminó la etapa de fermentación e inició el proceso de secado, la investigación se llevó a cabo por medio de un mismo lote constituido por mezclas de diversos tipos de cacao procedentes de distintas fincas de cacao cultores que forman parte de la asociación y quienes llevan a las instalaciones de la misma

las almendras de cacao sin que estas superen las 24 horas posteriores a la recolección y desgrane de las mazorcas, con la balanza TRUMAX se tomaron 3 muestras de aproximadamente 200 gramos de cacao antes de dar inicio al análisis de secado, pesadas en un beaker plástico el cual tuvo un peso de 92 gr y que fue tarado para eliminar el peso del recipiente en el que estaba contenida la muestra.



Figura 8. Muestra en el horno de convección forzada MEMMERT - modelo 30-1060.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Las muestras fueron empacadas en bolsas con cierre hermético Ziploc para evitar la pérdida de humedad y la contaminación por sustancias o agentes externos hasta ser trasladadas desde las instalaciones de beneficio de la asociación ASOCACAGIGANTE hasta la Universidad Surcolombiana Sede Garzón donde se llevó a cabo el método de la estufa.

Para determinar de la humedad inicial de la muestra, estas fueron llevadas al horno de convección forzada MEMMERT – modelo 30-1060 a una temperatura de 105°C durante 24 hr para determinar la pérdida de masa y por consiguiente el contenido de humedad de los granos;

este método para la determinación de humedad en las semillas se basa en las Reglas Internacionales aprobadas por el ISTA (International Seed Testing Association), el cual según la (FAO, 1993), para todas las especies de semillas, este reglamento recomienda el método de la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por un período de 24 horas, sin moler el grano.



Figura 9. Determinación de la humedad inicial mediante el método de la estufa.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Transcurrido el tiempo determinado, se sacó la muestra dejándola reposar y continuamente se pesaron los granos en la balanza TRUMAX, obteniendo el peso final de la muestra, finalmente, la humedad inicial de los granos de cacao se determinó mediante la siguiente ecuación teniendo en cuenta la diferencia entre los pesos inicial y final obteniendo el porcentaje de humedad base húmeda de la muestra.

$$\% \text{ Humedad Base húmeda} = \frac{P_i \text{ muestra} - p_f \text{ muestra}}{P_i \text{ muestra}} * 100$$

Donde:

Pi muestra: Peso inicial de la muestra

Pf muestra: Peso final de la muestra

$$\% \text{ Materia seca} = 100 - \% \text{ Humedad Base humeda}$$

De esta manera se determinó el porcentaje de humedad inicial de la muestra de cacao a secar en el sistema de secado solar tipo invernadero de multi-túnel.

En la Asociación de Productores y Comercializadores de Cacao (ASOCAGIGANTE), cuentan con un medidor de humedad digital para granos portátiles y de mesa café y cacao Coffee Pro Moisture Mac, el cual fue el equipo que se utilizó para determinar la humedad del grano durante el proceso de secado, sin embargo, el contenido de humedad inicial no se determinó con este medidor de humedad debido a que no hay equipos que determinen la humedad de los granos de cacao en baba ni de cualquier otro grano, debido a que presenta un contenido de humedad muy alto y no es posible realizar la lectura; por tal razón se determinó la humedad con el método directo, el método de la estufa.

4.8 Determinación de la humedad:

4.8.1 Método indirecto

La toma de datos se realizó con el determinador de humedad, donde se tomó una muestra y se depositó los granos de cada pasera en el equipo para medir la humedad hasta obtener un valor de entre el 6 y 7%, la cual es la requerida para el grano seco.

ASOCAGIGANTE para medir el porcentaje de humedad cuenta con un medidor de humedad digital para granos portátiles y de mesa café y cacao Coffee Pro Moisture Mac, para lo cual se tomó una muestra con un recipiente plástico, evitando el contacto de nuestra piel con la muestra con el fin de prevenir alterar el resultado y se depositaban los granos de cacao en el equipo para la determinación del porcentaje de humedad.

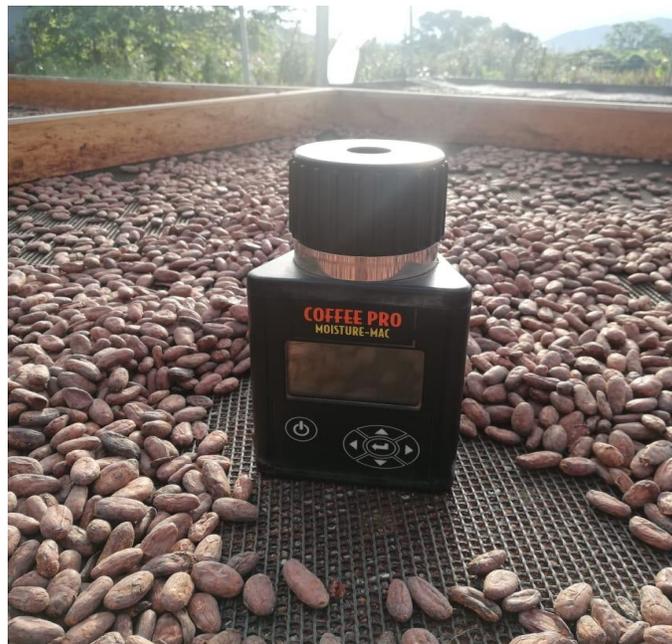


Figura 10. Medidor de humedad digital Coffee Pro Moisture Mac para café y cacao.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

4.9 Método Gravimet

Para la ejecución de este proyecto se decidió implementar el método Gravimet, este es empleado para medir la humedad de los granos del café, siendo una forma sencilla y fácil que le permite al agricultor tener un mejor conocimiento y control del proceso de secado, determinando la humedad mediante el registro del peso del contenido de las canastillas que irá disminuyendo a

medida que va trascurriendo el proceso de secado, por estas razones, se pretendió evaluar este método en el proceso de secado de los granos de cacao para ver si su efectividad se aplica también a éste, permitiendo a aquellos cacaocultores que no posean un medidor de humedad, monitorear diariamente la humedad del grano mediante este método, para ello se instalaron 5 canastillas ubicadas a lo largo de las 10 paseras empleadas para este proyecto, removiendo cada 0,5 horas (media hora), inicialmente con la balanza electrónica se tararon las canastillas para determinar y restar su peso, siendo este de 9 gr, posterior a esto, se pesaron 200 gr de cacao que fueron añadidos a las canastillas y se colocaron en el centro de la pasera de secado.

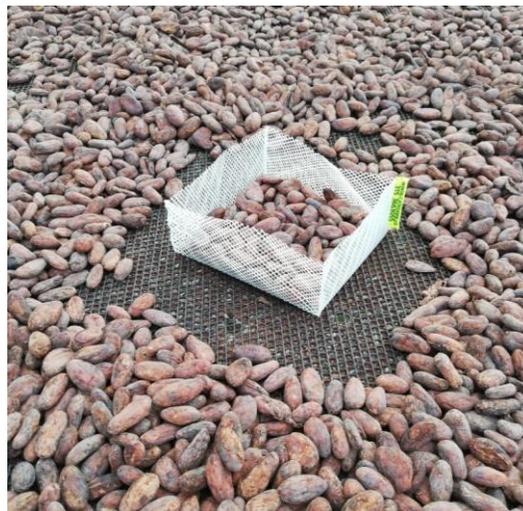


Figura 11. Instalación de las canastillas en las paseras de secado.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Después de ubicadas, las canastillas se pesaron a lo largo de los 6 días que duro el proceso de secado determinando 2 pesos por día, uno a las 9:00 a.m. y otro a las 5:00 p.m., para calcular diariamente el porcentaje de humedad de los granos de cacao se emplearon las siguientes formulas:

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

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

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

Donde:

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

Media (%): Promedio de humedad inicial del grano

Peso canastilla: Peso diario que se registra de las canastillas

5 Resultados

5.1 Condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación

En la Tabla No.1, se representan las variables Temperatura ambiente T (°C) y Humedad Relativa HR (%), para cada día que duro el proceso de secado se tomaron datos cada media hora y cada hora teniendo en cuenta la asignación de la frecuencia de remoción para cada pasera entre las 9:00 a.m. a las 5:00 p.m., aproximadamente 8 horas diarias, sin embargo, para el análisis se tuvieron en cuenta 3 datos por día en horarios que presentaran alteraciones significativas de la Temperatura ambiente T (°C) y Humedad Relativa (HR %), las 9:00 a.m., 12:00 p.m. y 5:00 p.m. siendo realizado un promedio del proceso de secado de los días en el municipio de Gigante (Huila), en los cuales se realizó el proceso de secado.

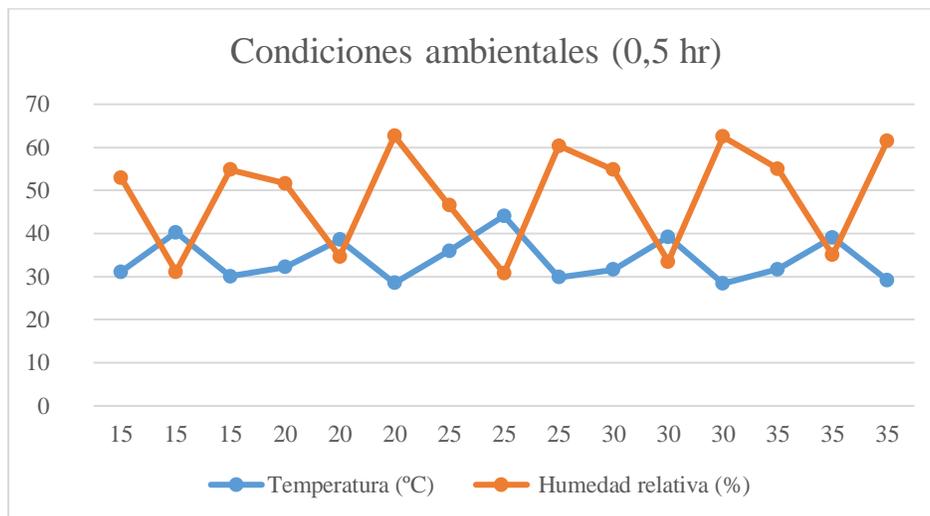
Día	Hora	Kilos	Remoción	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Remoción	Temperatura(°C)	Humedad Relativa (%)
1 - 6	9:00 a. m.	15	0,5 horas	31,1	53,00	1 hora	32,7	51,7
1 - 6	12:00 p. m.	15	0,5 horas	40,3	31,1	1 hora	40,3	33,1
1 - 6	5:00 a. m.	15	0,5 horas	30,1	54,8	1 hora	28,7	61,5
1 - 6	9:00 a. m.	20	0,5 horas	32,2	51,7	1 hora	29,6	56,0
1 - 6	12:00 p. m.	20	0,5 horas	38,6	34,7	1 hora	41,1	32,2
1 - 6	5:00 a. m.	20	0,5 horas	28,5	62,7	1 hora	30,4	54,5
1 - 6	9:00 a. m.	25	0,5 horas	36,0	46,5	1 hora	36,1	44,7
1 - 6	12:00 p. m.	25	0,5 horas	44,1	30,8	1 hora	43,4	31,5
1 - 6	5:00 a. m.	25	0,5 horas	29,9	60,4	1 hora	29,9	60,0
1 - 6	9:00 a. m.	30	0,5 horas	31,6	54,8	1 hora	30,1	54,7
1 - 6	12:00 p. m.	30	0,5 horas	39,2	33,5	1 hora	40,4	31,0
1 - 6	5:00 a. m.	30	0,5 horas	28,4	62,5	1 hora	30,2	54,7
1 - 6	9:00 a. m.	35	0,5 horas	31,7	55,1	1 hora	30,8	54,7
1 - 6	12:00 p. m.	35	0,5 horas	39,1	35,0	1 hora	40,4	31,7
1 - 6	5:00 a. m.	35	0,5 horas	29,2	61,5	1 hora	29,8	56,2
Varianza (9:00 a. m.)							5,3	15,7
Varianza (12:00 p. m.)							3,2	2,4
Varianza (5:00 a. m.)							0,56	11,6

Tabla 1. Registro variables de Temperatura ambiente T (°C) y Humedad Relativa HR (%).

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

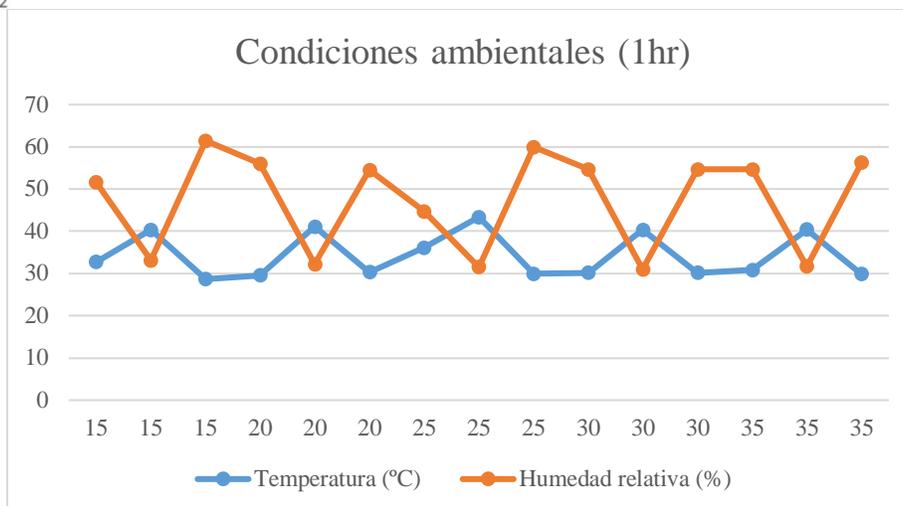
Como se observa, el rango de temperatura ambiente a las 9:00 a.m. varió aproximadamente entre 30 y 32 °C, a las 12:00 p.m. entre 39 y 40 °C y finalmente a las 5:00 p.m. entre 28 y 30 °C, con rangos de humedad relativa a las 9:00 a.m. entre 50 y 55%, a las 12:00 p.m. entre 30 y 33 % y finalmente a las 5:00 p.m. entre 54 y 61 %, esto coincide con la tendencia de una temperatura inicial más baja y una humedad relativa más alta al inicio del día, pero a medida que avanzan el día se eleva la temperatura y la humedad relativa descende, siendo entonces dos magnitudes inversamente proporcionales, ya que al aumentar la temperatura se observa una disminución de la humedad y por el contrario, al disminuir la temperatura aumenta la humedad relativa, el mayor registro de temperatura fue de 44,1 °C con una humedad relativa de 30,8 % y el registro de mayor humedad relativa fue de 62,7 % con una temperatura de 28,5 °C viéndose nuevamente la relación inversa entre los datos.

A continuación se encuentra la gráfica (Gráfica 1.) que representa la Tabla 1. Donde se registran variables de temperatura ambiente T (°C) y humedad relativa HR (%) del secador.



Gráfica 1. Temperatura ambiente (°C) y Humedad Relativa (%) del secador (0,5 hr).

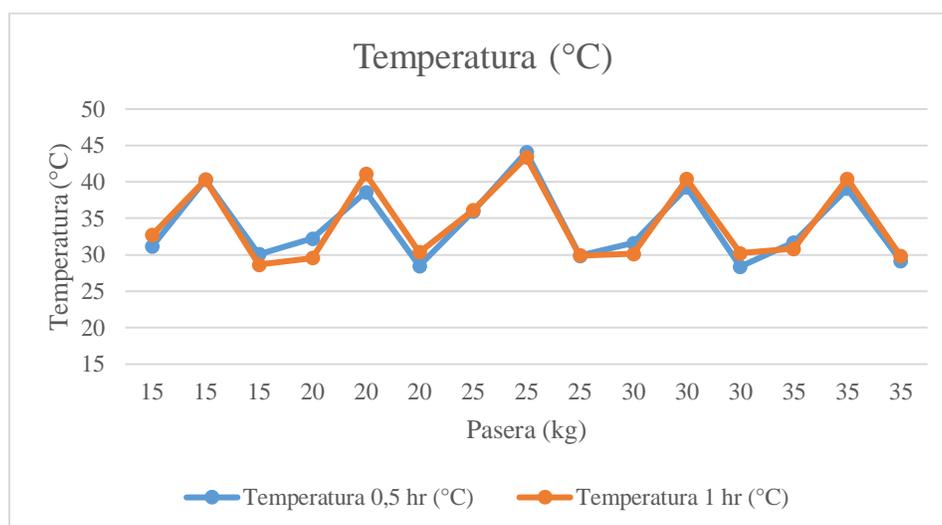
Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.



Grafica 2. Temperatura ambiente (°C) y Humedad Relativa (%) del secador (1hr).

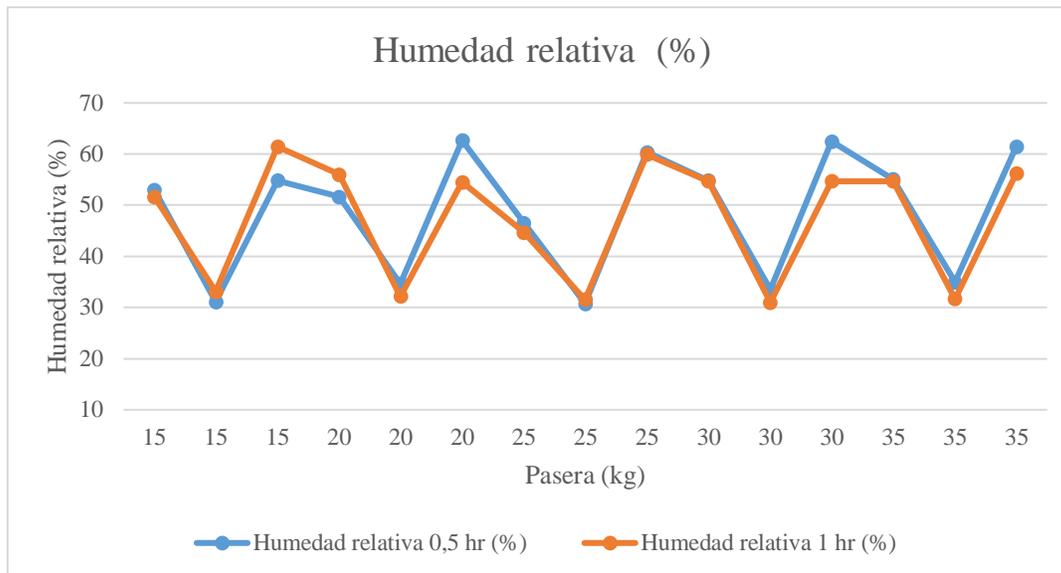
Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

De las anteriores dos gráficas, al realizar una comparación se puede observar variación en cuanto a la temperatura ambiente T (°C) y humedad relativa HR (%), para cada día que duro el proceso de secado, si comparamos individualmente estas dos variables tenemos las siguientes gráficas:



Grafica 3. Temperatura ambiente T (°C) en las paseras de secado.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.



Grafica 4. Humedad relativa HR (%) en las paseras de secado.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

En general, gracias a los dos graficas se puede analizar que se tienen diferencias poco pronunciadas en ambas variables, especialmente en la temperatura ambiente T ($^{\circ}\text{C}$) y pese a que en la relativa humedad relativa HR (%) se observan leves variaciones, estas diferencias no superan el 8% y son atribuidas a las condiciones climáticas presentadas en el área durante el proceso de secado, siendo estas, lluvias repentinas que incrementaban la humedad relativa HR (%) y generaban una disminución en la temperatura del entorno.

En la Tabla No. 2, se representa la variable de radiación solar (w/m^2) para cada día que duro el proceso de secado, se tomaron datos cada hora entre las 9:00 a.m. a las 5:00 p.m., aproximadamente 8 horas diarias, con el medidor de radiación solar PCE-SPM 1, que nos permitió realizar una medición solar directa in situ, este medidor de radiación reconoce la

radiación solar completa, es decir, tanto la radiación directa como la radiación solar difusa en la atmósfera, teniendo como resultado los datos que se muestran a continuación:

Fecha	Hora	Radiación w/m ²	Fecha	Hora	Radiación w/m ²
7/12/2020	9:00 a.m.	63,5	10/12/2020	9:00 a.m.	448,8
7/12/2020	10:00 a.m.	120,5	10/12/2020	10:00 a.m.	156,4
7/12/2020	11:00 a.m.	203,5	10/12/2020	11:00 a.m.	701,3
7/12/2020	12:00 p.m.	172,8	10/12/2020	12:00 p.m.	569,2
7/12/2020	1:00 p.m.	148,3	10/12/2020	1:00 p.m.	135,3
7/12/2020	2:00 p.m.	146,5	10/12/2020	2:00 p.m.	77,8
7/12/2020	3:00 p.m.	38,7	10/12/2020	3:00 p.m.	73,4
7/12/2020	4:00 p.m.	24,2	10/12/2020	4:00 p.m.	113,5
7/12/2020	5:00 p.m.	10,7	10/12/2020	5:00 p.m.	94
8/12/2020	9:00 a.m.	236,4	11/12/2020	9:00 a.m.	154,8
8/12/2020	10:00 a.m.	362,4	11/12/2020	10:00 a.m.	724,2
8/12/2020	11:00 a.m.	96,2	11/12/2020	11:00 a.m.	742,9
8/12/2020	12:00 p.m.	69,2	11/12/2020	12:00 p.m.	380,2
8/12/2020	1:00 p.m.	89,5	11/12/2020	1:00 p.m.	300,3
8/12/2020	2:00 p.m.	79,4	11/12/2020	2:00 p.m.	520,9
8/12/2020	3:00 p.m.	73,4	11/12/2020	3:00 p.m.	220,3
8/12/2020	4:00 p.m.	33,6	11/12/2020	4:00 p.m.	67,5
8/12/2020	5:00 p.m.	11,8	11/12/2020	5:00 p.m.	31,0
9/12/2020	9:00 a.m.	276,8	12/12/2020	9:00 a.m.	240,6
9/12/2020	10:00 a.m.	242,3	12/12/2020	10:00 a.m.	694,6
9/12/2020	11:00 a.m.	286,4	12/12/2020	11:00 a.m.	714,9
9/12/2020	12:00 p.m.	170,9	12/12/2020	12:00 p.m.	425,4
9/12/2020	1:00 p.m.	164,1	12/12/2020	1:00 p.m.	416,6
9/12/2020	2:00 p.m.	447,4	12/12/2020	2:00 p.m.	96,3
9/12/2020	3:00 p.m.	130,5	12/12/2020	3:00 p.m.	176,8
9/12/2020	4:00 p.m.	61,7	12/12/2020	4:00 p.m.	231,9
9/12/2020	5:00 p.m.	26,8	12/12/2020	5:00 p.m.	63,2

Tabla 2. Registro variable radiación solar (W/m²) durante el proceso de secado.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

Como se observa, el rango de radiación (w/m²) no fue similar teniendo en cuenta la misma hora cada día, ya que esta varió entre una y otra significativamente, sin embargo, se observa que

Gracias a la gráfica se pueden observar las diferencias pronunciadas de esta variable al igual que la disminución de la radiación a lo largo del día, estas diferencias son atribuidas a las condiciones climáticas presentadas en el área durante el proceso de secado y que consideramos influyeron en los datos obtenidos, estas condiciones fueron lluvias repentinas y nubosidad variable que alteraban las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación evaluadas en este proyecto.

5.2 Determinación de la humedad inicial mediante el método directo

Para la determinación de la humedad inicial de los granos de cacao ingresados al sistema de secado solar en el secadero tipo invernadero se utilizó el método de la estufa, este procedimiento empleado para la determinación de humedad se hizo con el objetivo de obtener los datos de laboratorio que nos permitieran conocer el contenido de humedad inicial del grano al empezar la etapa de secado y que no fue posible determinar por el método indirecto, es decir, con el medidor de humedad Coffee Pro Moisture Mac ya que no es posible realizar la lectura debido a que los granos de cacao en baba presentan un contenido de humedad de muy alto.

Muestra	P. Inicial (GR)	P. Final (GR)	Materia seca (%)	Humedad (%)
1	200	101	50,5	49,5
2	200,1	93,2	46,6	53,4
3	200,6	96,5	48,1	51,9
Media				51,6
Varianza				3,87
Desviación Estándar				1,97
Coeficiente De Variación (%)				0,04

Tabla 3. Registro de datos método de la estufa para la determinación de la humedad inicial del grano.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

La Tabla No.3 indica que las tres muestras de cacao analizadas con las cuales se realizó el método de la estufa cuentan con un porcentaje de humedad inicial del 48,40%, de igual forma, la varianza nos indica la variabilidad de los datos de las 3 muestras empleadas para el cálculo de la humedad inicial la cual tiene como posibles causas el origen de las muestras de granos de cacao procedentes de dos cajones de fermentación tipo trinitario y, de igual manera, la granulometría de los granos ya que se encuentran constituidos por mezclas de diversos tipos de cacao.

5.3 Determinación de la humedad mediante el Método indirecto

Durante la ejecución del proyecto para cada día la humedad del grano fue tomada una vez al día a las 5:00 p.m. a excepción del primer día en el que se tuvo en cuenta la hora en la que fueron empacadas las muestras en bolsas con cierre hermético mediante la cual se determinó la humedad inicial de los granos de cacao con el método de la estufa, para el análisis se tuvo en cuenta la asignación de la frecuencia de remoción para cada pasera, la cual fue removiendo los granos cada 0,5 y 1 hora, teniendo finalmente, 5 paseras con remociones cada 0,5 horas y 5 paseras con remociones cada hora y así mismo, divididos en parejas con igual cantidad de kilos pero con frecuencia de remoción del grano diferente, como se muestra a continuación:

# de pasera	Kilos (kg)	Kg/m ²	Frecuencia de remoción
1	15	4,59	0,5 horas
2	15	4,59	1 hora
3	20	6,12	0,5 horas
4	20	6,12	1 hora

5	25	7,65	0,5 horas
6	25	7,65	1 hora
7	30	9,17	0,5 horas
8	30	9,17	1 hora
9	35	10,70	0,5 horas
10	35	10,70	1 hora

Tabla 4. Distribución del volumen y frecuencia de remoción del cacao.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

En las tablas (Tabla 5. y Tabla 6.), se representan las variaciones de los datos de las humedades de los granos en las paseras a lo largo de todo el proceso de secado, la toma de datos se realizó con el determinador de humedad Coffee Pro Moisture Mac para granos portátiles y de mesa café y cacao de la asociación, el cual nos permitió realizar el seguimiento para la determinación del porcentaje de humedad de los granos de cacao hasta obtener una humedad de entre el 6 y 7%, la cual es la requerida para el grano seco.

Fecha	Hora	Kilos (kg)	Remoción	Humedad del grano (%)
7/12/2020	9:00	15	0,5 horas	51,6
7/12/2020	9:00	20	0,5 horas	51,6
7/12/2020	9:00	25	0,5 horas	51,6
7/12/2020	9:00	30	0,5 horas	51,6
7/12/2020	9:00	35	0,5 horas	51,6
9/12/2020	5:00	15	0,5 horas	9,3
9/12/2020	5:00	20	0,5 horas	9,7
9/12/2020	5:00	25	0,5 horas	10,7
9/12/2020	5:00	30	0,5 horas	11,6
9/12/2020	5:00	35	0,5 horas	11,3
10/12/2020	5:00	15	0,5 horas	10,5
10/12/2020	5:00	20	0,5 horas	11
10/12/2020	5:00	25	0,5 horas	9,4
10/12/2020	5:00	30	0,5 horas	10,1
10/12/2020	5:00	35	0,5 horas	9,9
11/12/2020	5:00	15	0,5 horas	7,2
11/12/2020	5:00	20	0,5 horas	7,3

11/12/2020	5:00	25	0,5 horas	7,2
11/12/2020	5:00	30	0,5 horas	7,4
11/12/2020	5:00	35	0,5 horas	7,2
12/12/2020	5:00	15	0,5 horas	6,1
12/12/2020	5:00	20	0,5 horas	6,6
12/12/2020	5:00	25	0,5 horas	6,6
12/12/2020	5:00	30	0,5 horas	6,7
12/12/2020	5:00	35	0,5 horas	6,6

Tabla 5. Registro de Humedad del grano (%) con el medidor Coffee Pro Moisture Mac (0,5 hr).

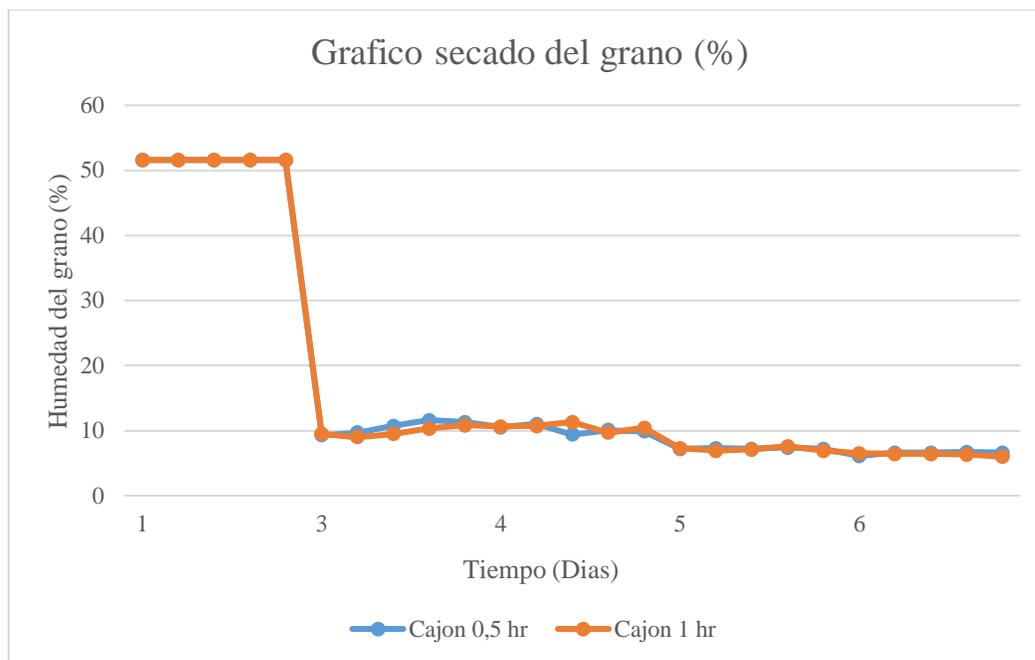
Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

Fecha	Hora	Kilos (kg)	Remoción	Humedad del grano (%)
7/12/2020	9:00	15	1 hora	51,6
7/12/2020	9:00	20	1 hora	51,6
7/12/2020	9:00	25	1 hora	51,6
7/12/2020	9:00	30	1 hora	51,6
7/12/2020	9:00	35	1 hora	51,6
9/12/2020	5:00	15	1 hora	9,5
9/12/2020	5:00	20	1 hora	9,0
9/12/2020	5:00	25	1 hora	9,5
9/12/2020	5:00	30	1 hora	10,3
9/12/2020	5:00	35	1 hora	10,8
10/12/2020	5:00	15	1 hora	10,6
10/12/2020	5:00	20	1 hora	10,7
10/12/2020	5:00	25	1 hora	11,3
10/12/2020	5:00	30	1 hora	9,7
10/12/2020	5:00	35	1 hora	10,4
11/12/2020	5:00	15	1 hora	7,3
11/12/2020	5:00	20	1 hora	6,9
11/12/2020	5:00	25	1 hora	7,1
11/12/2020	5:00	30	1 hora	7,6
11/12/2020	5:00	35	1 hora	6,9
12/12/2020	5:00	15	1 hora	6,5
12/12/2020	5:00	20	1 hora	6,4
12/12/2020	5:00	25	1 hora	6,4
12/12/2020	5:00	30	1 hora	6,3
12/12/2020	5:00	35	1 hora	6,0

Tabla 6. Registro de la Humedad del grano (%) con el medidor Coffee Pro Moisture Mac (1hr).

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

En la Gráfica 6., se muestra la disminución de los contenidos de humedad de los granos de cacao fermentados a medida que transcurrió el secado al sol en las 10 paseras empleadas, con distintas frecuencias de remoción y distintos volúmenes, hasta la obtención del porcentaje de humedad (6-7%) requerido por los mercados para la comercialización como requisito de calidad, el porcentaje que fue alcanzado entre los 5 y 6 días de exposición al sol.



Grafica 6. Curva de secado del cacao en las paseras.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

Como se observa en la gráfica, el porcentaje de humedad tanto de las paseras en las que se implementó una frecuencia de remoción de los granos cada 0,5 hora como en las de 1 hora no se

distinguen variaciones significativas, por el contrario a lo largo de la curva de secado se observan características constantes en las 10 paseras estudiadas independientemente de su frecuencia de remoción; sin embargo, se observó que en las paseras en las que se realizó una remoción de los granos cada 0,5 hora visualmente los granos de cacao se percibían más secos que las paseras en las que se realizó una frecuencia de remoción cada 1 hora, por lo cual podemos decir que, una frecuencia de remoción cada 0,5 hora genera mayor celeridad en la eliminación de la humedad externa ya que la frecuencia de remoción permitió que el agua superficial fuera eliminada con mayor rapidez, a pesar de ello, al final las paseras en los que los granos presentaron una menor humedad fueron aquellos en los que se realizaron remociones de los granos de cacao cada 1 hora, de igual forma, según los datos de las condiciones ambientales, temperatura ambiente T ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa HR (%) y radiación (w/m^2) expuestos en las tablas (Tabla 1. y Tabla 2.), las paseras presentaron rangos de temperatura y humedad relativa similares, no obstante, las seis paseras que se encontraban ubicadas en la parte inferior (paseras 5,6,7,8,9,10) en los cuales se evidenció una menor humedad final del granos se observó que en ellas se presentó una radiación mayor, unos grados de temperatura mayor y, por consiguiente, un porcentaje de humedad relativa menor.

5.4 Determinación de la humedad inicial mediante el Método Gravimet

En el método Gravimet para cada día que duro el proceso de secado consistió en el control y la toma del peso contenido de las 5 canastillas ubicadas a lo largo de las 10 paseras empleados para este proyecto, removiendo cada 0,5 horas (media hora), para poder realizar el cálculo del porcentaje de humedad.

Para implementar el 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 según la

ecuación empleada en el método gravimet desarrollado por Cenicafé y aplicado para conocer la humedad de los granos de café, para este proceso de secado de los granos de cacao los datos para el análisis se muestran a continuación:

Peso inicial de la muestra (gr)	200
Humedad (gr)	103,20
Materia seca (gr)	96,80

Tabla 7. Datos para el cálculo del método gravimet.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

Para determinar la eficiencia del método gravimet se manejaron 5 canastillas con una masa de aproximadamente 200 gr de cacao en baba que se ubicaron en el centro de las paseras; para realizar los cálculos fue necesario determinar datos como el peso de la materia seca y el peso de la humedad en gramos para realizar los cálculos del porcentaje de humedad diario del cacao en las canastillas según el método gravimet desarrollado por Cenicafé ; determinando que el peso de la materia seca para 200gr de cacao en baba fue de 96,80 gr y el peso de la humedad fue de 103,20 gr (Tabla 7).

Fecha	Hora	Kilos (kg)	Remoción	Peso del cacao (gr)	H. Gravimet (%)
7/12/2020	9:00	15	0,5 hora	200,2	51,60
7/12/2020	9:00	20	0,5 hora	200,2	51,60
7/12/2020	9:00	25	0,5 hora	200,2	51,60
7/12/2020	9:00	30	0,5 hora	200,2	51,60
7/12/2020	9:00	35	0,5 hora	200,2	51,60
7/12/2020	5:00	15	0,5 hora	164	40,98
7/12/2020	5:00	20	0,5 hora	154	37,14
7/12/2020	5:00	25	0,5 hora	161	39,88
7/12/2020	5:00	30	0,5 hora	165	41,33

Vigilada Mineducación



7/12/2020	5:00	35	0,5 hora	169	42,72
8/12/2020	9:00	15	0,5 hora	161	39,88
8/12/2020	9:00	20	0,5 hora	151	35,89
8/12/2020	9:00	25	0,5 hora	157	38,34
8/12/2020	9:00	30	0,5 hora	165	41,33
8/12/2020	9:00	35	0,5 hora	161	39,88
8/12/2020	5:00	15	0,5 hora	135	28,30
8/12/2020	5:00	20	0,5 hora	128	24,38
8/12/2020	5:00	25	0,5 hora	130	25,54
8/12/2020	5:00	30	0,5 hora	139	30,36
8/12/2020	5:00	35	0,5 hora	133	27,22
9/12/2020	9:00	15	0,5 hora	132	26,67
9/12/2020	9:00	20	0,5 hora	126	23,17
9/12/2020	9:00	25	0,5 hora	126	23,17
9/12/2020	9:00	30	0,5 hora	131	26,11
9/12/2020	9:00	35	0,5 hora	134	27,76
9/12/2020	5:00	15	0,5 hora	115	15,83
9/12/2020	5:00	20	0,5 hora	110	12,00
9/12/2020	5:00	25	0,5 hora	110	12,00
9/12/2020	5:00	*30	0,5 hora	113	14,34
9/12/2020	5:00	35	0,5 hora	117	17,26
10/12/2020	9:00	15	0,5 hora	116	16,55
10/12/2020	9:00	20	0,5 hora	110	12,00
10/12/2020	9:00	25	0,5 hora	109	11,19
10/12/2020	9:00	30	0,5 hora	113	14,34
10/12/2020	9:00	35	0,5 hora	118	17,97
10/12/2020	5:00	15	0,5 hora	111	12,79
10/12/2020	5:00	20	0,5 hora	104	6,92
10/12/2020	5:00	25	0,5 hora	104	6,92
10/12/2020	5:00	30	0,5 hora	107	9,53
10/12/2020	5:00	35	0,5 hora	112	13,57
11/12/2020	9:00	15	0,5 hora	112	13,57
11/12/2020	9:00	20	0,5 hora	105	7,81
11/12/2020	9:00	25	0,5 hora	105	7,81
11/12/2020	9:00	30	0,5 hora	108	10,37
11/12/2020	9:00	35	0,5 hora	113	14,34
11/12/2020	5:00	15	0,5 hora	109	11,19
11/12/2020	5:00	20	0,5 hora	102	5,10
11/12/2020	5:00	25	0,5 hora	102	5,10
11/12/2020	5:00	30	0,5 hora	106	8,68
11/12/2020	5:00	35	0,5 hora	109	11,19

12/12/2020	9:00	15	0,5 hora	110	12,00
12/12/2020	9:00	20	0,5 hora	103	6,02
12/12/2020	9:00	25	0,5 hora	103	6,02
12/12/2020	9:00	30	0,5 hora	106	8,68
12/12/2020	9:00	35	0,5 hora	112	13,57
12/12/2020	5:00	15	0,5 hora	107	9,53
12/12/2020	5:00	20	0,5 hora	102	5,10
12/12/2020	5:00	25	0,5 hora	102	5,10
12/12/2020	5:00	30	0,5 hora	103	6,02
12/12/2020	5:00	35	0,5 hora	109	11,19

Tabla 8. Registro de pesos para cálculo del método Gravimet.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

Teniendo en cuenta los datos de humedad de los granos de cacao en las canastillas según el método gravimet desarrollado por Cenicafé y aplicado para conocer la humedad del café expuestos en la Tabla No. 8, el método gravimet en este proyecto indica que los datos no son concluyentes ya que los resultados no aportaron suficiente información para discernir entre un resultado favorable o desfavorable que nos permita indicar la eficiencia para su implementación en el cacao esto probablemente debido a la dificultad para determinar una humedad inicial homogénea al momento de salir de los cajones de fermentación, el origen de las muestras de granos de cacao procedentes de dos cajones de fermentación tipo trinitario, la posible salida de granos de cacao de las canastillas al momento de realizar la remoción y, de igual manera, la granulometría de los granos ya que se encuentran constituidos por mezclas de diversos tipos de cacao por lo cual se observan granos de diferente tamaño y grosor, todo lo anterior como posibles causas en la variación de los pesos de la humedad del grano y materia seca necesarios para el cálculo del método gravimet.

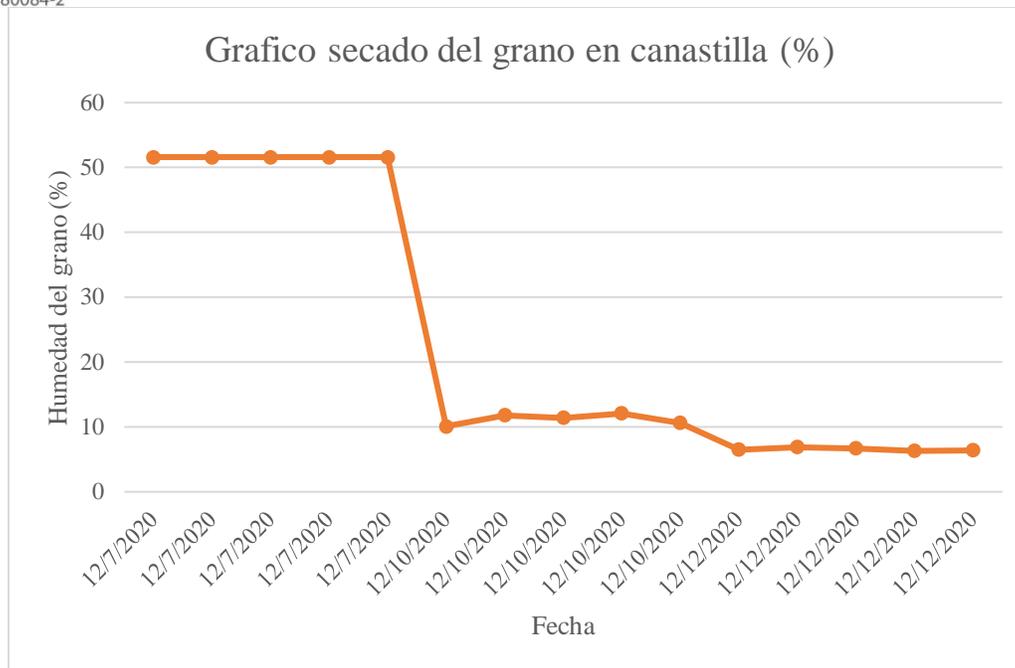
Estos valores fueron corroborados con el medidor de humedad Coffee Pro Moisture Mac con el cual medimos el porcentaje de humedad de los granos de cacao en las canastillas determinando que éste se encontraba entre 6%, valor que es el requerido para su almacenamiento, comercialización y demás, debido a la disponibilidad del equipo para la toma del porcentaje de humedad del grano se obtuvieron los siguientes datos como se muestra a continuación:

Fecha	Hora	Kilos (kg)	Humedad del grano (%)
7/12/2020	9:00	15	51,6
7/12/2020	9:00	20	51,6
7/12/2020	9:00	25	51,6
7/12/2020	9:00	30	51,6
7/12/2020	9:00	35	51,6
10/12/2020	9:00	15	10,1
10/12/2020	9:00	20	11,8
10/12/2020	9:00	25	11,4
10/12/2020	9:00	30	12,1
10/12/2020	9:00	35	10,6
12/12/2020	5:00	15	6,5
12/12/2020	5:00	20	6,9
12/12/2020	5:00	25	6,7
12/12/2020	5:00	30	6,3
12/12/2020	5:00	35	6,4

Tabla 9. Registro de la humedad del grano (%) del cacao en las canastillas.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

A continuación se encuentra la gráfica (Gráfica 6.) donde se evidencia la pérdida de humedad del grano de cacao depositado en las canastillas empleadas para el estudio del método gravimétrico (%):



Grafica 7. Curva de secado del cacao en las canastillas.

Fuente: M. Alexandra Vargas Perdomo – M. Camila Gómez Gualtero.

En la gráfica se observa que el porcentaje final de humedad de los granos se encontraba entre 6% según el medidor de humedad Coffee Pro Moisture Mac, a pesar de que el método Gravimet en este proyecto indica que los datos no son concluyentes ya que los resultados no aportaron suficiente información para indicar su viabilidad para medir el porcentaje de humedad de los granos de cacao, es necesario realizar más estudios teniendo en cuenta aspectos que influyen en los datos para el cálculo del método gravimet como investigaciones que permitan estandarizar la humedad inicial del cacao al salir de los cajones de fermentación tipo trinitario y al ser ingresados a las paseras de secado y estudios para medir la granulometría de los granos al ser mezclas de diferentes tipos de cacao.

Teniendo en cuenta lo anterior, si se logra implementar el método gravimet sería de gran ayuda ya que es una forma sencilla y fácil que le permitiría al cacaocultor que no posea un medidor de humedad tener un mejor conocimiento y control del proceso de secado mediante el registro del peso del contenido de las canastillas que irá disminuyendo a medida que va transcurriendo el proceso de secado y determinar la humedad del grano mediante este método.

5.5 Análisis físico de calidad

La frecuencia de remoción aplicada en el secado afectó el porcentaje de granos partidos, generando un aumento de estos ya que se observó una gran cantidad de nibs de cacao, producto de granos partidos que son atribuidos a la frecuente remoción de las almendras de cacao, lo que pudo ser ocasionado por el roce entre los mismos granos, con la superficie de la pasera y con los utensilios usados para remover la masa de cacao.

Según (Ortiz de Bertorelli et al., 2004), al aplicar la remoción durante el secado el porcentaje de cáscara disminuye, lo que puede ser atribuido al desprendimiento del mucílago causado por la fricción de los granos entre sí, con el piso y con la herramienta utilizada para la remoción, se forma una película sobre el piso que se pulveriza al secarse, mientras que cuando la masa no es removida, el mucílago se adhiere al grano seco, engrosando la cáscara y dificultando su desprendimiento, lo cual puede tener importancia artesanal e industrial al incidir negativamente sobre el rendimiento del proceso y la calidad de los productos de cacao, sin embargo, la remoción periódica de los granos es importante para alcanzar un secado uniforme, distribuir el calor, separar los granos, evitar que se peguen entre sí y prevenir el crecimiento de moho.



Figura 12. Afección de granos de cacao partidos.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante monitorear la humedad del grano y las condiciones ambientales a las que está sujeto su proceso de secado no solo con el fin de evitar granos partidos sino también la calidad final del cacao, ya que según (Rojas, 2015) cuando el grano de cacao se seca rápidamente a altas temperaturas, la velocidad de pérdida de agua de las cáscaras es más rápida que la migración de ácidos de los granos a las cáscaras teniendo como consecuencia que el agua se evapora y se pierda dando preferencia a un aumento del sabor ácido inhibiendo el sabor del cacao por lo tanto afectando la calidad de los granos de cacao.

De igual manera, desde el segundo día de secado el cacao presento una apariencia enmohecida, ya que se observó una apariencia blanquecina en los granos de cacao, según la (FAO, CACAO: Operaciones poscosecha, 2017) en todos los países cálidos y húmedos, el clima y las condiciones agronómicas son favorables para el crecimiento de hongos, por lo cual se

consideran como posibles causas no solo la humedad relativa de la zona sino también a la presencia de granos enmohecidos de cacao con aspecto negro y verdusco que se encuentran bajo las mallas donde se realiza el proceso de secado.



Figura 13. Granos de cacao antiguos y enmohecidos bajo malla cafetera o red 5.000.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

Por lo anterior podemos decir que es necesario que el proceso de secado sea controlado con el fin de evitar granos partidos, enmohecidos, al igual que, remover la humedad de los granos de tal forma que no se genere una rápida eliminación de la humedad externa, es decir, el agua superficial ya que la remoción por ejemplo cada 0,5 hora genera un rápido secado del exterior del grano, pero hay una retención de humedad dentro del grano como se constató en este proyecto, sino remover la humedad a un ritmo que evite el daño en los granos y una pérdida de humedad rápida de los granos de cacao.



Figura 14. Grano de cacao enmohecido.

Fuente: María Camila Gómez Gualtero.

6 Conclusiones

- Teniendo en cuenta los kg/m² depositados en las paseras, podemos deducir que, aquellas en las que se puede llevar a cabo un secado más homogéneo, con mayor facilidad y con un tiempo aproximado de 6 días son las paseras de entre 20-30 kg, debido a que primeramente en las paseras de 15 kg no hay un aprovechamiento total del espacio, además de que en estas se evidenció una mayor evaporación del agua superficial tornando el grano más quebradizo aumentando el porcentaje de granos partidos y se observó una gran cantidad de nips de cacao; mientras que en las paseras de 35 kg el proceso de secado no resultó ser homogéneo porque la cantidad de masa no permitió una correcta distribución y homogenización al momento de realizar la remoción de los granos, además de necesitar un lapso mayor de tiempo para eliminar el re-humedecimiento de los granos adquirido durante la noche.
- Debido a las condiciones ambientales durante la noche, a la exposición en la que se encuentran las paseras y al hecho de no contar con cortinas perimetrales, a lo largo de todo el proceso de secado analizamos que este puede finalizar entre 4-5 días, pero en la toma de datos se apreció un re-humedecimiento de los granos y por consecuencia el proceso de secado necesitó de un lapso de tiempo mayor, siendo éste de 6 días.
- Según los datos de la tabla No.1, las paseras presentaron rangos de temperatura y humedad relativa similares, sin embargo, las seis paseras inferiores (paseras 5, 6, 7, 8, 9,10) en las cuales se evidenció una menor humedad final del grano presentaron unos grados de temperatura mayor y, por consiguiente, un porcentaje de humedad relativa menor.

- En las paseras en las que se aplicó una frecuencia de remoción cada 0,5 hora, los granos de cacao presentaban una humedad externa menor ya que la frecuencia de remoción permitió que el agua superficial fuera eliminada con mayor rapidez, sin embargo, al final las paseras en las que los granos presentaron una menor humedad fueron aquellos en las que se realizaron remociones cada hora.
- Se concluye que las remociones no influyen en la eliminación de todas las formas en las que el agua está presente en el grano, sino que acelera únicamente la evaporación del agua superficial, la cual es más rápida y fácil de remover, entonces una mayor frecuencia de remoción genera mayor celeridad en la eliminación de la humedad externa o agua superficial de los granos de cacao.
- El método Gravimet en este proyecto indica que los datos no son concluyentes debido a que los resultados no aportaron suficiente información que nos permita indicar la eficiencia y viabilidad para su implementación en el cacao esto probablemente debido a la dificultad para determinar una humedad inicial homogénea al momento de salir de los cajones de fermentación, el origen de las muestras de cacao procedentes de dos cajones de fermentación tipo trinitario, la posible salida de granos de cacao de las canastillas al momento de realizar la remoción y la granulometría de los granos ya que se encuentran constituidos por mezclas de diversos tipos de cacao.

7 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de cortinas perimetrales que permitan un mayor control de las condiciones ambientales al interior del secador solar, especialmente de la temperatura ambiente T ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa HR (%) para evitar el re-humedecimiento del cacao como se evidenció en este proyecto teniendo en cuenta que según la (FAO, 2017) los granos de cacao son conocidos por ser altamente higroscópicos (higroscopicidad).
- Es necesario que la asociación invierta en equipos que les permita monitorear las condiciones ambientales del secador tipo invernadero principalmente Datalogger de Temperatura Y Humedad o Termo higrómetros digitales ya que la zona presenta condiciones variables de temperatura ambiente y humedad relativa para de esta forma actuar o poder determinar el momento adecuado para bajar o subir las cortinas (una vez sean instaladas).
- Procurar cerrar las cortinas aproximadamente entre 5:00 p.m. a 6:00 p.m. con el fin de conservar y mantener condiciones de temperatura ambiente T ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa HR (%) en la noche, debido a que la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) empieza a disminuir a partir de las 5:00 p.m. y, por ende, aumentar la humedad relativa (%) y puede causar re-humedecimiento del grano, siendo lo ideal iniciar un nuevo estudio con el fin de medir nuevamente estas condiciones ambientales al interior del secador tipo invernadero una vez sean las cortinas perimetrales.
- En caso de que no se implementen las cortinas perimetrales, es necesario que el cacao sea apilado en la noche en el centro de los cajones y cubiertos ya sea con sacos de yute o fique, con el fin de evitar la pérdida de temperatura teniendo en cuenta la higroscopicidad

de los granos de cacao, es decir, que el contenido de humedad del grano varíe de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire ambiente que los rodea y, al día siguiente extenderse nuevamente a lo largo del cajón para lograr un secado homogéneo de los granos.

- Pese a que la cubierta del secador tipo invernadero se encontraba limpia de polvo y otras impurezas en el momento de la ejecución del proyecto, es necesario resaltar que esta debe permanecer limpia para permitir el correcto paso de la radiación solar y optimizar el tiempo y proceso de secado, además, de prolongar la vida útil de la cubierta, por lo cual debe limpiarse con frecuencia con agua limpia, desinfectantes y utensilios apropiados para evitar el deterioro de la misma.
- Se recomienda para estudios posteriores realizar más investigaciones que permitan determinar la humedad inicial del cacao al salir de los cajones de fermentación tipo trinitario y al ser ingresados a las paseras de secado para establecer una humedad estándar con el fin de obtener datos efectivos para llevar a cabo el método Gravimet y establecer tiempos de secado, para ello se recomienda determinar la humedad inicial mediante el método de destilación que según (Manrique, 2004) permite por medición volumétrica del agua evaporada y condensada en una probeta de medición; determinar directamente el contenido de humedad de los granos.
- Es necesario determinar la granulometría de los granos de cacao ya que al ser mezclas de diferentes tipos existen granos de diferente tamaño y grosor y por ende, influir en los datos necesarios para el cálculo del porcentaje de humedad de los granos por el método gravimet, de igual manera, al momento de realizar las remociones en las canastillas es importante tener especial cuidado de evitar la salida de granos de cacao de las canastillas

ya que esto influirá también en el resultado, lo anterior con el fin de perfeccionar el rango de peso en el que el porcentaje de humedad del grano esté dentro del valor requerido para su almacenamiento y comercialización (6 y 7%).

- Se recomienda colocar entre 20-30 kg de cacao en los cajones para llevar a cabo un secado más homogéneo, correcta distribución y homogenización al momento de realizar la remoción de los granos y no se aconseja a los encargados de las instalaciones de la asociación llevar el secador a su capacidad máxima, ya que teniendo en cuenta los kilos evaluados en este proyecto, con 35 kg el proceso de secado no resultó ser homogéneo porque la cantidad de masa no permitió una correcta distribución y homogenización al momento de realizar la remoción de los granos, además de necesitar un lapso mayor de tiempo para eliminar el re-humedecimiento de los granos adquirido durante la noche por lo que tardará más del tiempo máximo recomendado en secarse, además de favorecer el crecimiento de hongos.
- Se recomienda la utilización de un rastrillo más liviano, compacto, durable, de fácil limpieza, inocuo, que permita el respectivo giro del grano al momento de su remoción con el fin de evitar el fracturamiento de los granos, ya sea por fricción, o al ser golpeados al caer sobre los mismos.
- Se recomienda restaurar la malla cafetera o red 5.000 de las paseras de secado por una malla más resistente a la abrasión (material sugerido: malla sarán), que no permita el ingreso de granos a su interior o la retención de granos de secados anteriores, pero que a su vez permita la aireación de la masa de cacao en el fondo. No deben dejarse granos de cacao de “cochadas”, anteriores.

8 Bibliografía

Agroclima. (Diciembre de 2020). Boletín Meteorológico Diario. Obtenido de

https://agroclima.cenicafe.org/boletin_diario

AgrProcessTech. (2014). *Secado del Cacao*. Obtenido de

http://agrprocesstech_lab.upbbga.edu.co/cacao.html#:~:text=El%20cacao%5B2%5D%2C%20es,caf%C3%A9%20en%20el%20mercado%20mundial.&text=La%20cadena%20del%20cacao%20abarca,producci%C3%B3n%20de%20chocolates%20y%20confites.

Bahamon , M., & Torres, J. (2013). *Construcción y evaluación de un secador solar parabólico en material no higroscópico*.

Batista, L. (2009). *Guía Técnica El Cultivo de Cacao*. Obtenido de

<http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>

CAF. (Julio de 2019). *OBSERVATORIO DEL CACAO FINO Y DE AROMA PARA AMÉRICA LATINA*. Obtenido de

<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1452/Iniciativa%20Latinoamericana%20del%20Cacao%20Bolet%C3%ADn%20No.%206.pdf?sequence=1>

Caro, A. (1998). *Breves normas de control de calidad en granos almacenados*. Obtenido de

<https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13950919933370/c11.pdf>

CENICAFE. (2000). *Utilice la energía solar para secar correctamente el café*. Obtenido de

<https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/AVT0281-Utilice-la-energ%C3%ADa-solar-para-secar-correctamente-el-caf%C3%A9..pdf>

- CENICAFE. (2009). *Controle la humedad del cafe en el secado solar, utilizando el metodo gravimet.* Obtenido de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>
- Contreras, C. A. (2017). *Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado.* Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60801/1032373448-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Counet, C., Ouwerx, C., Rosoux, D., & Collin, S. (2004). Relación entre la procianidina y el contenido de sabor de los licores de cacao de diferentes orígenes. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf040105b#>
- Dand, R. (2011). El comercio internacional del cacao (tercera edición). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978085709125350001X>
- DANE. (2004). *Guía Metodológica para el cultivo de cacao.* Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/doc_met_cacao.pdf
- Espinal, C. F., Martínez Covalada, H. J., & Ortíz Hermida, L. (2005). LA CADENA DEL CACAO EN COLOMBIA UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINAMICA. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/5890/1/2005112145659_caracterizacion_cacao.pdf
- FAO. (1991). *Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas.* Obtenido de <http://www.fao.org/3/x5058s/x5058S03.htm>

FAO. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Obtenido de

<http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S00.htm#Contents>

FAO. (2017). *CACAO: Operaciones poscosecha*. Obtenido de [http://infocafes.com/portal/wp-](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/03/a-au995s.pdf)

[content/uploads/2017/03/a-au995s.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/03/a-au995s.pdf)

Fariñas, L. G., Ortiz de Bertorelli, L., Lemus, M., & Parra, P. (2002). Efecto del mezclado de

granos de dos tipos de cacao sobre algunas características químicas durante la

fermentación. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300005)

[192X2002000300005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300005)

FEDECACAO. (2009). *Guia tecnica para el cultivo del cacao cuarta edicion* .

FEDECACAO. (25 de Febrero de 2021). Así se comportó la producción de cacao por

departamentos en el 2020. Obtenido de

[http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1385-asi-se-](http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1385-asi-se-comporto-la-produccion-de-cacao-por-departamentos-en-el-2020)

[comporto-la-produccion-de-cacao-por-departamentos-en-el-2020](http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1385-asi-se-comporto-la-produccion-de-cacao-por-departamentos-en-el-2020)

FEDECACAO. (09 de Febrero de 2021). En tiempos de pandemia, producción de cacao alcanzó

cifra récord. Obtenido de [http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-](http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1381-en-tiempos-de-pandemia-produccion-de-cacao-alcanzo-cifra-record)

[20-00-33/1381-en-tiempos-de-pandemia-produccion-de-cacao-alcanzo-cifra-record](http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1381-en-tiempos-de-pandemia-produccion-de-cacao-alcanzo-cifra-record)

García Lozano, J., Ortíz, L. A., & Romero Carrascal, M. (2006). *Caracterizacion y zonificacion*

de areas ppotenciales ppara el cultivo del cacao en Colombia. Obtenido de

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1907>

Horta Téllez, H. B., Sandoval Aldana, A. P., García Muñoz, M. C., & Cerón Salazar, I. X.

(2019). Evaluación del proceso de fermentación y calidad final de cinco clones de cacao

del departamento de Huila, Colombia. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532019000300233&lang=es

ICONTEC. (2005). NTC 2325. En I. C. Certificación, *Café verde. Determinacion de la perdida de masa a 105°C*. Bogotá D.C.

IDEAM. (s.f.). *Caracteristicas de la radiacion solar*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

INIAP. (2019). *La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe*. Obtenido de

https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf

INTA. (2013). *Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos*. Obtenido de

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf

Jaimes, A. L. (2018). *EL CACAO: UNA APUESTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL TERRITORIO EN EL OCCIDENTE DE BOYACÁ*. Obtenido de

[https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/681/1/DHA-spa-2018-](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/681/1/DHA-spa-2018-El_cacao_una_apuesta_para_la_transformacion_del_territorio_en_el_occidente_de_Boyaca.pdf)

[El_cacao_una_apuesta_para_la_transformacion_del_territorio_en_el_occidente_de_Boyaca.pdf](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/681/1/DHA-spa-2018-El_cacao_una_apuesta_para_la_transformacion_del_territorio_en_el_occidente_de_Boyaca.pdf)

Magem, J. B. (2017). *NFORME TÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR*

SOLAR DE CAFÉ. Obtenido de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>

Manrique, O. G. (2004). *Secado de productos biologicos*.

Minagricultura. (Marzo de 2020). *CADENA DE CACAO*. Obtenido de

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Nielsen, D. S., Snitkjaer, P., & van den Berg, F. (2008). *Investigating the fermentation of cocoa by correlating Denaturing Gradient Gel*.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.040>

Ortiz de Bertorelli, L., Gustavo , C., & Graziani de Fariñas, L. (2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. Obtenido de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Pallares, A. P., Estupiñán , M., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2016). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2016000200007&lang=es

Parra, M. C. (2012). *DETECCIÓN, IDENTIFICACIÓN Y GRADO DE INFESTACIÓN DE MOHOS EN GRANOS DE CACAO (Theobroma cacao L.), FERMENTADOS Y SECADOS, PROVENIENTES DE DIFERENTES PRODUCTORES DEL ESTADO MIRANDA*. Obtenido de

<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/8939/1/Tesis%20Marielys%20Castrillo.pdf>

Pedraza, C. A. (2017). *Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de*

capacidad instalada y de mercado. Obtenido de

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60801/1032373448->

[2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60801/1032373448-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Peláez, P. P., Bardón, I., & Camasca, P. (2016). Contenido de metilxantina y catequina en granos de cacao frescos y fermentados, granos de cacao secos y licor de cacao. Obtenido de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172016000500001

Peláez, P., Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized

transfer, between fermentation boxes. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/3576/357646642004.pdf>

Perea, J. A., Ramírez, O. L., & Villamizar, A. R. (31 de enero de 2011). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-

[35612011000100005&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000100005&lang=es)

Presidencia de la republica. (20 de Noviembre de 2020). El cacao se posiciona como uno de los tres productos que más aportan al crecimiento del sector agropecuario. Obtenido de

[https://idm.presidencia.gov.co/prensa/el-cacao-se-posiciona-como-uno-de-los-tres-](https://idm.presidencia.gov.co/prensa/el-cacao-se-posiciona-como-uno-de-los-tres-productos-que-mas-aportan-al-cre-201120)

[productos-que-mas-aportan-al-cre-201120](https://idm.presidencia.gov.co/prensa/el-cacao-se-posiciona-como-uno-de-los-tres-productos-que-mas-aportan-al-cre-201120)

Quintero, M. L., & Díaz Morales, K. M. (2004). *El mercado mundial del cacao*. Obtenido de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004

Rojas, R. E. (2015). *Efecto del secado y almacenaje sobre la calidad del cacao (Primera parte)*.

Obtenido de <https://www.fedecacao.com.co/site/images/ColCacao4.pdf>

Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez,

P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas*. Obtenido de <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>

Superintendencia de industria y comercio. (s.f). *CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO:*

DIAGNÓSTICO DE LIBRE COMPETENCIA. Obtenido de

https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Cacao.pdf

Vergara, C. B. (2016). *Metodologías para el análisis bromatológico, físico y químico del cacao fermentado y seco, dentro del marco normativo internacional*. Obtenido de

http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2064/1/Metodologias_analisis_bromatologico_cacao.pdf

Villar, P. E. (Noviembre de 2013). EL CACAO: AYER, HOY Y SIEMPRE EN EL

DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DEL MUNDO, NORTE DE

SANTANDER Y CÚCUTA. Obtenido de file:///C:/Users/Janus/Downloads/Dialnet-

ElCacao-4966233.pdf