

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

CHRISTIAN ANDRÉS PONCE DELGADO
MARIO ALEJANDRO LIZARAZU FLÓREZ

Ingenieros Mecánicos de la Universidad Autónoma de Nariño

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo de secado (Entregado 09/11/16) – Revisado dd/mm/aa)

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño – Colombia

christiano-93@hotmail.es

alejolizarazu21@hotmail.com

Resumen

El siguiente artículo presenta un modelo conceptual – analítico, referente al proyecto de diseño y construcción de un prototipo de máquina secado de cacao; la cual reemplaza el proceso artesanal desarrollado por los cultivadores del corregimiento de Chilvi (San Andrés de Tumaco). Esta máquina ofrece una alternativa para mejorar el rendimiento del proceso de secado de este tipo de alimento, al disminuir los tiempos que conllevan este proceso y mejorar la producción de cacao. Este equipo cuenta con tres módulos los cuales son: un módulo que está comprendido por: el blower, el quemado, el servomotor, la válvula de control y el gas propano los cual permite obtener el sobre calentamiento y la propulsión del aire hacia el interior del recinto. También implementa un control automatizado, con el que se brinda la oportunidad de ingresar y al mismo tiempo inspeccionar las temperaturas y los tiempos a los cuales se van a desarrollar el proceso. Finalmente, una cama o tambor de secado, que es el recinto donde se lleva a cabo la disminución del porcentaje de humedad y la pérdida de masa del producto.

Palabras Claves: Cacao, Secador, cámara de secado, aire sobrecalentado, temperatura, tiempo, porcentaje de humedad, perdida de masa.

Abstract

A conceptual model presents the following article - analytical, relating to the project of design and construction of a prototype of machine dried of cocoa; which replaces the handcrafted process developed by the cultivators of Chilvi's corregimiento (San Andrés of Tumaco). This machine offers an alternative for better the performance of the process of dried of this type of food, on having diminished the times that carry this process and to improve the production of cacao. This equipment possesses three modules which are: a module that is understood for: the blower, the burnt one, the servomotor, the valve of control and the propane gas which allows to obtain on warming and the propulsion of the air towards the interior of the enclosure. Also it implements an automated control, with which the opportunity to enter is offered and at the same time to inspect the temperatures and the times to which they are going to develop the process. Finally, a bed or drum of dried, that is the enclosure where there is carried out the decrease of the percentage of dampness and the loss of mass of the product.

Key words: Cocoa, Dryer, drying stove, overheated air, temperature, time, percentage of dampness, lost of mass.

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



1. Introducción

El sistema de producción de cacao (*Theobroma Cacao*) en Colombia tradicionalmente ha sido una explotación de economía campesina. Su importancia económica radica en el gran consumo de la materia prima para la elaboración principalmente del chocolate de mesa, componente básico de la canasta familiar, de productos manufacturados en confitería y algunos excedentes exportables, originando divisas para el país. Colombia cuenta con una potencialidad de 2 millones de hectáreas aptas para el desarrollo de cultivos de cacao (Fedecacao 2016). Con una pasión geográfica estratégica, en su condición de país tropical, el territorio nacional se beneficia de la luminosidad permanente y disponibilidad de recursos hídricos todo el año. Nariño es uno de los principales departamentos productores de cacao en Colombia posee aproximadamente 7.680 unidades productoras. El 76% de este cacao se genera en el pie de monte costero, especialmente en el municipio de Tumaco (Plan de ciencia y tecnología de Nariño).

La tecnificación de la cadena productiva del cacao tiene beneficios importantes con gran impacto en la región, entre los cuales están: mejorar el nivel de vida de la población involucrada en el cultivo del producto mediante el incremento de los ingresos, mejorar la productividad y competitividad, generar valor agregado al producto. Para ello es necesario profundizar en la línea de investigación de industrialización de los productos del cacao mediante trabajos experimentales sobre los tiempos apropiados para la fermentación y secado del grano en la región cacaotera de Nariño (Plan de ciencia y tecnología de Nariño)

Este proyecto se desarrolla en el corregimiento de Chilvi, municipio de San Andrés de Tumaco, departamento de Nariño, donde el cultivo y la comercialización de cacao de parte de las pequeñas asociaciones y cultivadores individuales se encuentran ampliamente establecidos como fuente de ingresos para las familias campesinas.



Figura 1. Cultivo de cacao en el municipio de Chilvi (San Andrés de Tumaco)

Con el objetivo de tecnificar el proceso de secado, se propone el diseño y construcción de un prototipo de máquina secadora de cacao apropiado a las necesidades de producción y comercialización del producto. Para ello, se pretende reconocer una solución de bajo costo, y de fácil manejo y mantenimiento.

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



El proceso de secado deberá satisfacer con las condiciones técnicas para producción, y almacenamiento del producto sin el riesgo a desarrollar microorganismos que puedan causar su descomposición

Materiales y Métodos

En el diseño y construcción del prototipo de máquina, se aplica la metodología de ingeniería concurrente y el diseño centrado en el usuario. Para ello, se parte de la identificación de las necesidades del usuario a partir de entrevista y encuestas realizadas a los cultivadores y comerciantes, las cuales permiten establecer las funciones que debe cumplir la máquina e integrar simultáneamente el proceso y el producto con el fin de evaluar todos los elementos del ciclo de vida del producto.

Una vez identificada la propuesta que complace los requerimientos del usuario, se procede al diseño detallado de la máquina, donde se realizan los cálculos y planos de construcción del prototipo. Al finalizar el proceso de construcción, se realizan pruebas y ensayos para validar la calidad del producto y el adecuado funcionamiento del prototipo. La Tabla 1 ilustra los diferentes procedimientos e instrumentos empleados en el desarrollo de las distintas etapas del proyecto.

Tabla 1: Procedimientos e instrumentos

Procedimiento	Instrumentos
1. Identificación de la necesidad.	Encuestas y entrevistas a productores, comerciantes de cacao.
2. Planteamiento de los requerimientos y especificaciones de diseño.	Entrevista con la persona interesada en comprar la máquina. Análisis de funciones y procesos. Análisis documental.
3. Generación de las alternativas de diseño.	Matriz morfológica. Criterios de evaluación.
4. Diseño de detalle.	Cálculos y planos de la máquina.
5. Construcción del prototipo.	Talleres de máquinas herramientas, soldadura y pintura.
6. Evaluación y análisis de resultados.	Metrología de la máquina. Ensayos de laboratorio. Pruebas organolépticas.

Fuente: Esta investigación.2016

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



2. Producción de cacao en el municipio de San Andrés de Tumaco.

Actualmente el municipio de Tumaco es uno de los sectores en el departamento de Nariño, en el cual, la mayoría de la población, se dedica a las actividades de la agricultura ya que les brinda sostenimiento, como también les genera ayudas económicas en el momento de la comercialización de sus productos,

Una de las principales labores agrícolas a las cuales se dedica la población de este municipio es la siembra y cosecha del cacao en grano. En Tumaco existen aproximadamente 3.050 productores, un área cultivada 10.000 hectáreas que corresponde al 12% del área cultivada (Cordeagropar).

Después de la cosecha de cacao este debe ser sometido a ciertos procesos para ser comercializado y cumplir la demanda interna y externa del producto, entre estos tenemos la fermentación, el secado, la selección y clasificación del grano.

El proceso de fermentación es uno de los procesos que más incide en la calidad del grano, ya que, en este se logra obtener el aroma y el sabor característico del cacao. La mayoría de productores realizan este proceso de una manera rudimentaria utilizando cajones de madera con orificios ubicados en la parte inferior que permita el escurrido de la baba. En general, la fermentación tarda entre 5 y 6 días con volteo de masa con el fin de oxigenar el grano y lograr la uniformidad.

En el proceso de selección y limpieza se pretende eliminar todas las impurezas del grano mediante zarandas clasificadoras o mecanismos con despasilladoras mediante las cuales es posible separar las diferentes calidades del cacao.

El proceso de secado consiste en reducir la humedad con que sale el cacao una vez finalizado la etapa de fermentación (55% aproximadamente) hasta un contenido de humedad final máxima del 12% que es la aceptada durante la fase de comercialización del cacao seco (Rehabilitación de Plantaciones de cacao), la cual permite conservar la calidad del grano durante el almacenamiento y sin riesgo de deterioro por la aparición de hongos.

Este es el proceso al cual se va a orientar el proyecto, ya que, en la actualidad la mayoría de las familias cultivadoras de cacao en el municipio de Tumaco lleva a cabo esta actividad de forma artesanal, haciendo que su labor requiera mucho más tiempo para su ejecución, ocasionando pérdidas notables en cuanto a tiempo y recursos económicos. Como se puede observar en la figura 2

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



Figura 2. Proceso de secado artesanal

La Figura 3 indica el proceso de secado desarrollado al ambiente y los elementos que utilizan para el continuo movimiento del grano. El secador de tambor o cámara de secado rotatorio permite el continuo movimiento del grano, minimizando el tiempo en el proceso y aumentando la calidad del producto.



Figura 3. Movimiento del grano forma artesanal

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

3. Descripción del proceso comercialización del cacao

El proceso para la comercialización del cacao, comprende las etapas de: cosecha, fermentación, secado, limpieza, clasificación, empaque y almacenamiento, tal como se muestra en la Figura 4



Figura 4. Proceso comercialización del cacao

Debido a los bajos niveles de industrialización y el costo elevado de automatizar todo el proceso, se plantea el diseño y la construcción de un prototipo de máquina que realizará las funciones de secar el producto. Las labores de selección, empaque y almacenamiento del producto terminado se realizará de forma manual.

3.1 Condiciones de entrada de la materia prima

Para iniciar con el proceso de secado de cacao, se debe verificar que la materia prima este con una humedad relativa aproximada del 55%; que es la humedad relativa con la cual el producto finaliza después del proceso de fermentación. La Tabla 3, muestra los parámetros físicos y químicos de la almendra de cacao posterior a la fermentación.

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

Tabla 2: Parámetros físicos y químico de la almendra de cacao

	Rangos de evaluación
Tamaño del grano (g)	1.94 a 2.04
Porcentaje de Humedad	57 a 60
Porcentaje de grasa	87

Fuente: grano de cacao final2010.indd-FEDECACAO.Pdf.2010

4. Condiciones de calidad del producto

En Colombia, el mercado de cultivadores y comerciantes de cacao es regulado por FEDECACAO, el cual estipula las siguientes características para el almacenamiento y posterior comercialización del producto.

Tabla 3. Parámetros físicos y químico de la almendra de cacao posterior al secado

	Bajo	Normal	Alto
Tamaño del grano (g)	< 1.05	1.05 a 1.12	> 1.2
Porcentaje de Humedad	6 a 6.5	7 a 13	> 13
Porcentaje de Grasa	< 48	52	> 55
Sabor	Acido	Propio del cacao	Amargo

Fuente: La calidad del cacao.2000.VIVAS Jorge y REYES Humberto

Para cumplir con estos requerimientos físicos y químicos, es necesario realizar un control estricto de la temperatura y tiempos de secado, para garantizar las condiciones organolépticas óptimas del producto.

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



5. Cálculos.

Para el diseño de este prototipo de máquina se realizaron una serie de investigaciones en cuanto al secado de cacao.

Para el diseño de este prototipo de máquina se realizaron una serie de cálculos en cuanto a los diferentes mecanismos que se utilizaron para la transmisión de potencia y la transferencia de calor. La Tabla 4, presenta los diferentes sistemas diseñados para la máquina, con la relación de los cálculos efectuados.

Tabla 4. Sistemas y cálculos realizados

Sistema	Cálculos realizados
Termodinámico	Cantidad de agua eliminada
	Energía de calentamiento de aire
	Flujo de aire necesario
	Consumo de gas propano
	Aislante térmico
Transmisión de potencia	Motor
	Selección de cadena
	Selección de bandas
	Diseño de ejes

Fuente: Esta investigación.2016

La máquina funciona con alimentación monofásica a 120V. En total, el equipo ocupa un espacio de 3.5 m², con una altura de 1.40 m. Los resultados de los cálculos obtenidos se resumen de la siguiente manera:

Resumen de diseño de estructura

- Aceros inoxidables 304 calibre 16
- resistencia a la corrosión
- Excelente soldabilidad
- Excelente factor de higiene y limpieza para la Industria alimenticia en general
- Resistencia a temperaturas altas
- Muy sencillas las operaciones del lavado y desinfección del mismo
- No transmite ni sabores ni olores extraños
- material duro, resistente, robusto y de sencillo mantenimiento
- no se degradara al emplear productos de limpieza o al entrar en contacto con la humedad

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

Resumen diseño de ejes

- La mayor parte de los ejes son fabricados a Partir de un acero al bajo o medio carbono
- Sus propiedades mecánicas en acero al carbono es la Norma N° AISI 1040
- Limite elástico a la tensión $S_y = 71ksi$
- Resistencia Max $S_{u_t} = 85ksi$
- Dimensiones del eje

Tabla 5. Dimensiones de eje

Sección	Diametro(mm)
A	28
B	30
C	30
D	30

Fuente: Esta investigación.2016

Resumen diseño de poleas y bandas

- Entrada : Motor eléctrico : $\frac{1}{4}$ a 1700 rpm
- Factor se servicio : 1.5
- Potencia de diseño : 0.35hp
- Banda : selección transversal 3Vx ; longitud 93"
- Polea acanalada : impulsora 2,75in ; impulsada : 22.24in
- Fabricadas en fundición gris
- Distancia central : 25"

Resumen de selección de cadena

- Paso : Cadena N° 40 paso $\frac{1}{2}$ "
- Longitud : 109" pasos = $109 \times (0.5) = 54.5$ "
- Distancia : 20"
- Ruedas dentadas : Tamaño único ; N° 40 $\frac{1}{2}$ "
- P. pequeña : 7 dientes
- Se requiere de una lubricación de tipo l ; lubricación por disco o baño

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

6. Modelado de la máquina



El modelado del prototipo de máquina secadora de cacao se realizó empleando el software SolidWorks. La Figura 5 muestra el modelo tridimensional del secador rotatorio. El prototipo cuenta con un tablero digital de control, el cual permite accionar los mecanismos de la máquina y controlar la temperatura y tiempos de secado.

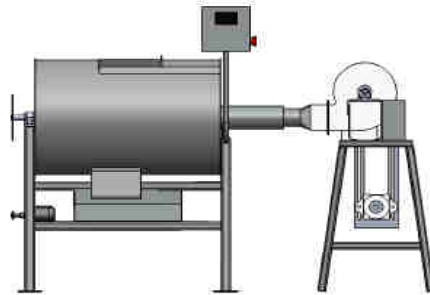


Figura 5. Máquina secadora de cacao

7. Proceso de construcción

Para la construcción de la estructura y el tambor de secado se utilizaron tubo cuadrado de acero inoxidable calibre 16 y lamina de acero inoxidable calibre 16, los cuales se unieron por el proceso de soldadura INOX 308 L MIG AWS asF. El tambor externo se fabricó de lámina galvanizada calibre 16. El aislamiento térmico se manufacturo de lana de vidrio de 2 cn de espesor.

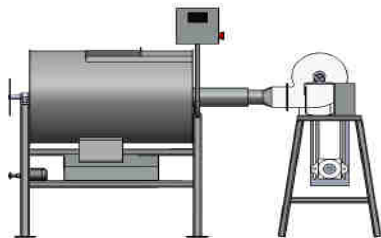


Figura 6. Modelo máquina secadora de cacao.



Figura 7. Máquina secadora de cacao.

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

8. Resultados

DETERMINACION DE HUMEDAD PLANTA PILOTO UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Elaboración de la curva de secado para la pulpa de cacao obtenida mediante la deshidratación del producto con un prototipo de máquina de sacado rotatorio.

Metodología: Tomando un tipo de cacao (Tradicional) se procede a introducir 5 Kg de producto en el prototipo máquina de secadora, se deja a una temperatura entre los 40 y 55 °C durante 7 horas con el fin de realizar un seguimiento cada 30 min tomando 5 granos de cacao como muestra determinada para estipular la humedad del producto y la curva de secado calculando la pérdida de masa húmeda.

Resultados:

$$\% \text{ Pérdida de masa húmeda} = \left(\frac{P1 - (P1 - P2)}{P1} \right) 100$$

Donde:

$P1 = \text{Peso inicial (g)}$

$P2 = \text{Peso final (g)}$

$$\% \text{ humedad} = \frac{\% \text{ Pérdida de masa húmeda} \cdot \text{Humedad inicial}}{100}$$

Donde:

$\text{Humedad inicial} = 55\%$

Tabla 6. Porcentaje de pérdida de masa y humedad

Numero de muestra	Tiempo (min)	P1	P2	% Per masa	% Hum In	% Humedad
0	0	3	3	0	55	55
1	30	3	2,76	92	55	50,6
2	60	3	2,55	85	55	46,75
3	90	3	2,4	80	55	44
4	120	3	2,28	76	55	41,8
5	150	3	2,1	70	55	38,5
6	180	3	2	66,6666667	55	36,6666667
7	210	3	1,88	62,6666667	55	34,4666667
8	240	3	1,6	53,3333333	55	29,3333333
9	270	3	1,4	46,6666667	55	25,6666667
10	300	3	1,3	43,3333333	55	23,8333333
11	330	3	1,2	40	55	22
12	360	3	1,12	37,3333333	55	20,5333333
13	390	3	1	33,3333333	55	18,3333333
14	420	3	0,7	23,3333333	55	12,8333333

Fuente: Esta investigación.2016

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.

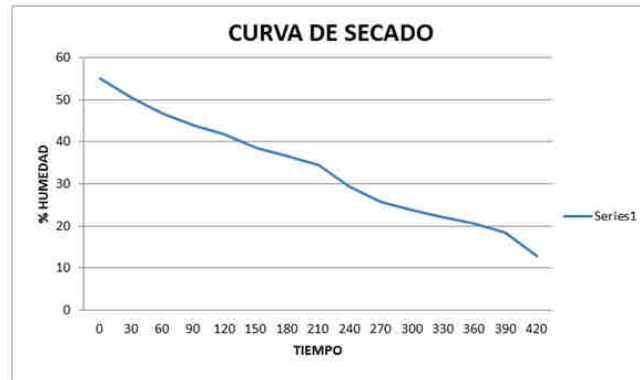


Figura 7. Curva de secado.

- En los primeros 3 periodos de calentamiento la temperatura del material aumenta desde la temperatura ambiente hasta una temperatura máxima del aire.
- Posteriormente en los periodos de temperatura constante que corresponden a los tiempos de 120 a 300 min se extrae el mayor contenido de humedad, siendo este proporcional al tiempo de secado.
- Finalmente en los tiempos comprendidos entre 300 a 390 min la humedad del sólido disminuye menos rápido que en la anterior región hasta llevar este porcentaje a un punto de estabilidad

9. Conclusiones

Se logró cumplir el objetivo general del proyecto al diseñar una secadora de cacao capaz de mejorar el rendimiento del proceso y logrando las condiciones de un secado adecuado (Temperaturas menores a 60°C y velocidades menores o iguales a 10 m/s) por medio de un sistema uniformizado, que sea capaz de reducir el contenido de humedad al 12%, siendo adecuado para su almacenamiento.

El concepto de solución fue determinado combinando sistemas existentes de secado rotatorio y de tambor, mostrados en el estado del arte. De esta manera se logró disminuir el tiempo al operario al quitar la necesidad de agitar el producto, y brindando la sencillez al uso del prototipo.

Si bien se podría disminuir el tiempo de secado trabajando con temperaturas más altas, dentro de lo recomendado por los estudios referenciados en este documento se optó por una temperatura de 40-55 °C, para evitar quemar el producto.

A partir del estudio teórico y experimental se logró estipular una curva de secado, con su respectivo gráfico y análisis de resultados correspondiente a 5 kg de producto secado.

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



10. Recomendaciones

En estudios posteriores se ve la necesidad de elaborar diferentes curvas de secado con distintos pesos, con el fin de tener un estudio más completo que permitan tener más conocimiento acerca del proceso de secado.

PROHIBIDA SU COPIA

Noviembre 2016

Christian Ponce; Mario Lizarazu (Corporación Universitaria Autónoma de Nariño - Colombia)

MÁQUINA SECADORA DE CACAO: Una alternativa rentable para la disminución del tiempo en el proceso secado.



Referencias bibliográficas:

CABRERA Velázquez. El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado empleado vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. 2006. p. 158

CENGEL. Transferencia de calor y masa. 4ta. edición. 2008. p. 268

CENGEL. Termodinámica. 6ta. Edición. 2010. p. 204

CORDEAFROPAZ. Guía práctica para obtener un cacao de calidad. Gobernación de Nariño. 2014. p. 156.

GARCÍA, P y J. PLANCHA. “Diseño preliminar de un secador rotatorio y sus equipos auxiliares”. Universidad de Oriente. Trabajo de grado. Puerto La Cruz 2006. p. 159.

MOTT, Robert: Diseño de elementos de máquinas. México, Pearson educación, 2006. p. 289.

REHABILITACIÓN DE PLANTACIONES DE CACAO. Federación Nacional de cacaoteros. 2013. p. 130.

NORTON, Robert: Diseño de maquinaria. México, McGraw-Hill, 2009. p. 187