

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL SECADO DE CACAO CCN 51 DE UNA FINCA INTEGRAL

EVALUATION OF COCOA DRYING PARAMETERS CCN 51 OF AN INTEGRATED FARM

Gabriel Burgos Briones ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-1291-4083>
Luis Menéndez Cevallos ² <https://orcid.org/0000-0001-7074-3481>
Viviana Bedón Arteaga ³ <https://orcid.org/0000-0002-7972-7848>

¹ *Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología, Universidad Técnica de Manabí, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo 130103, Ecuador.*

² *Maestría de Ingeniería Química, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, 130103, Ecuador.*

³ *Docente de Educación Inicial, Jardín Gabriela Mistral, Portoviejo, 130103, Ecuador.*

Recibido: Junio 30, 2022; Revisado: Julio 8, 2022; Aceptado: Julio 12, 2022

RESUMEN

Introducción:

El cacao es un cultivo muy importante en Ecuador, debido a las grandes cantidades que se exportan, entre las variedades que se cultivan esta la CCN 51, que es la de mayor rendimiento y debido a que el nivel de procesamiento en términos de secado realizado por los agricultores de la zona, es muy artesanal, se torna necesario la búsqueda de nuevas opciones para dicho proceso.

Objetivo:

Analizar los parámetros para el secado de cacao CCN 51 en una finca integral para una posible industrialización.

Materiales y Métodos:

La metodología aplicada fue de tipo experimental, secando a temperaturas de 45 y 60 °C en equipos con flujo y sin flujo de aire, calculando las diferentes cinéticas de secado en los 4 tratamientos propuestos.

Resultados y Discusión:

El mejor resultado entre los 4 tratamientos experimentados, fue en el que se utilizó en un equipo con flujo de aire a 60°C, esto contemplado en los datos del software estadístico *Statgraphics Centurion XVIII*, en donde el mejor ajuste de regresión lineal de



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Gabriel Burgos, Email: gabriel.burgos@utm.edu.ec



R^2 fue 97,95% y el factor de correlación 0,98, mientras el modelo de regresión lineal que más se ajustó a las cinéticas de secado fue la Raíz cuadrada-Y logarítmica-X en el mismo tratamiento.

Conclusiones:

Se pudo concluir en la investigación, que el proceso de secado efectuado en las muestras de cacao CCN 51 del área de estudio a 60°C, tienen los mejores resultados lo cual es favorable para una posible industrialización.

Palabras clave: Cacao CCN 51; cinética; flujo de aire; industrialización; secado.

ABSTRACT

Introduction:

Cocoa is a very important crop in Ecuador, on account of the large quantities that are exported. Among the varieties grown is CCN 51, which has the highest yielding properties. Since the level of processing in terms of drying done by farmers in the area is very artisanal, it becomes necessary to seek new options for this process.

Objective:

To analyze the parameters for drying CCN 51 cocoa on an integral farm for its possible industrialization.

Materials and Methods:

The methodology applied was experimental, drying at temperatures of 45 and 60 °C in equipment with and without air flow, calculating the different drying kinetics in the 4 proposed treatments.

Results and Discussion:

The best result among the 4 treatments tested was the one used in an air flow equipment at 60°C, according to the Statgraphics Centurion XVIII statistical software data, where the best linear regression adjustment of R^2 was 97.95% and the correlation factor 0.98, while the linear regression model that best adjusted to the drying kinetics was the square root-Y logarithmic-X in the same treatment.

Conclusions:

The research concluded that the drying process carried out on the CCN 51 cocoa samples from the study area at 60°C had the best results, which is favorable for possible industrialization.

Keywords: CCN 51 cocoa; kinetics; air flow; industrialization; drying.

1. INTRODUCCIÓN

Según Manchumo, (2017) existe todavía un gran vacío en cuanto a las investigaciones históricas en torno al cacao y al chocolate en varias zonas amazónicas, en ciertos puntos: sus orígenes exactos y su adaptación y expansión hacia otras geografías. En la investigación realizada por León y col., (2016) se menciona que por el año 1600 ya se cultivaba el cacao en las tierras regadas por los afluentes río arriba de Guayaquil, por cuya razón se lo llamó cacao arriba, o también “cacao fino”, o “cacao nacional”. Así mismo, Mackay y col., (2019) en su investigación indicaron que entre el año 1914 y el

año 1916, Ecuador se convirtió en el primer país exportador de cacao y en base a eso recibió alrededor de \$77 millones por exportaciones, por lo que representaba entonces un 15% del mercado global. En cuanto a lo mencionado por Chávez y col., (2018) en el Ecuador se siembra y se cultiva Cacao Arriba y el CCN 51 en las siguientes Provincias: Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y parte del Oriente. Para llevar a cabo el secado, Orna y col., (2018) establecen que muchos agricultores lo realizan ya sea de forma natural o artificial, cuando se lo realiza por secado natural se aprovecha de la radiación solar, pero en época invernal es perjudicial ya que ocasiona daños en el producto y pérdidas en la producción. La presente investigación buscó reforzar los conocimientos sobre el secado de cacao que poseen los agricultores de la zona de estudio, en lo que respecta al secado del cacao y la manera tradicional de efectuarlo, donde suelen existir muchas pérdidas en el proceso del deshidratado del mismo, esto en relación a la temperatura y el tipo de secador que utilizan, por aquello se consideró que la incorporación de nuevas tecnologías de secado con flujos de aire, podría reducir en la medida de lo posible el tiempo empleado en la deshidratación del cacao CCN 51, por lo que el objetivo general Analizar los parámetros para el secado de cacao CCN 51 en una finca integral para una posible industrialización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación se realizó en la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la ciudad de Portoviejo, en los laboratorios tanto de Eco-toxicología en donde se realizó la deshidratación del cacao CCN 51 en un equipo de secado sin flujo de aire, así como en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en donde se realizó la deshidratación del cacao CCN 51 en un Secador de Túnel. La investigación fue de tipo experimental en la cual se realizaron diferentes tipos de secado a temperaturas tanto de 45°C como de 60°C, tomando como referencia la investigación de Menéndez y Burgos, (2022).

2.1 Factores en Estudio

Los factores en estudio son:

- **Factor A:** Temperatura
- **Factor B:** Equipos de secado con flujo y sin flujo de aire.

2.2 Niveles de los factores

Los niveles de los factores se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles en los factores en estudio

<i>Factor A Temperatura</i>	<i>Factor B Secado</i>
a1: 45°C	b1: Sin flujo de aire
a2: 60°C	b2: Con flujo de aire

2.3 Tratamientos

Para determinar el número de tratamientos a utilizar en el estudio se tuvieron en cuenta cuatro experimentos de secado, las temperaturas seleccionadas fueron de 45 y 60°C, tanto en equipo de secado sin flujo de aire, como en equipo con flujo de aire, para un total de cuatro tratamientos.

En la Figura 1 se puede apreciar el proceso de secado del cacao CCN 51, desde que se encuentra en la mazorca recibiendo agua y sol, pasando por la etapa de cosecha, fermentación tanto aerobia como anaerobia, para luego proceder con la etapa de secado, para posteriormente ser embalsado y transportado a los compradores.

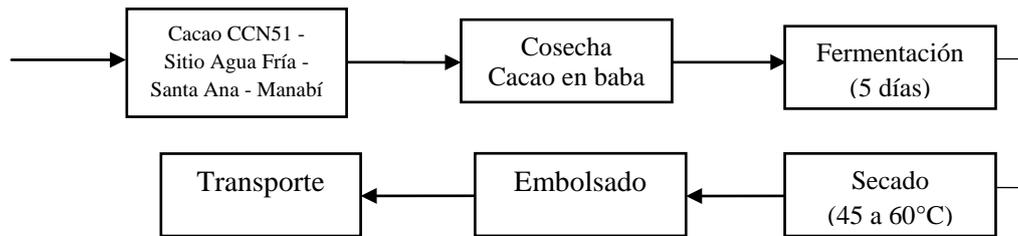


Figura 1. Diagrama de Flujo de Secado de Cacao

2.4 Variable a medir y método de evaluación

Las variables a medir en esta investigación fueron la temperatura y las condiciones del equipo para el secado de cacao CCN 51. Lo cual se lo realizó tanto en equipos con flujo de aire como sin flujo de aire, donde las muestras fueron evaluadas tomando la pérdida de masa cada 10 minutos en los diferentes equipos de secado utilizados y las mismas culminaron una vez se eliminó la humedad libre del producto.

2.5 Cálculos en los procesos de secado

Se aplicaron siguiendo la metodología empleada por Ocon y Tojo, (1980), en donde la cinética de secado se define como la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo y más exactamente por el cociente diferencial $(-dx/d\theta)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones como temperatura, presión, humedad y velocidad permanezcan constantes en el tiempo. Aplicando la siguiente ecuación:

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dx}{d\theta} \right) \quad (1)$$

En donde:

S = Masa del sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m²)

W = Velocidad de secado (kg/m² h)

dx = Diferencial de humedad (kg/kg)

dθ = Intervalo de tiempo entre toma de muestra (h).

Esta ecuación se planteó con el propósito de construir dos (2) tipos de curvas para los experimentos realizados, tanto a 45 y a 60°C, en equipos de secado con flujo y sin flujo de aire en los laboratorios de Operaciones Unitarias y de Ecotoxicología en la Universidad Técnica de Manabí, respectivamente.

2.6 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de las variables de humedad y la cinética de secado en estudio se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

- Coeficiente de Determinación (R^2): Se determinó para calcular la proporción de la varianza total de la variable explicada por su regresión.
- Prueba de Rangos Múltiples: Permitió determinar las diferencias significativas entre las diferentes cinéticas de secado encontradas durante la investigación.

2.7 Tratamiento de Datos

Para la tabulación de resultados, se utilizó el programa estadístico *Statgraphics Centurion XVIII*, el cual fue empleado para que una vez culminada la tabulación de resultados, se ejecute un análisis de datos, utilizado para calcular variables como la Prueba de Rangos Múltiples.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 2 y 3 que representan una curva de cinética de secado realizada mediante un experimento, en equipos de secado con flujo y sin flujo de aire, donde se observa una gráfica que relaciona cinética de secado ($\text{kg/h}\cdot\text{m}^2$) vs Humedad ($\text{kg H}_2\text{O/kg sólido seco}$) de una muestra de cacao secado de variedad CCN 51, aplicando una temperatura de 45°C . En donde se logró apreciar que el inicio de la curva al ser descendente inicia con una temperatura adecuada, que luego se vuelve constante en determinados periodos, vuelve a decrecer, repitiendo la misma secuencia.

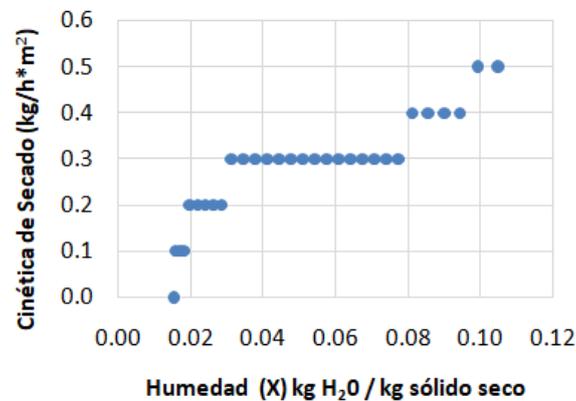


Figura 2. Cinética de secado a 45°C con flujo de aire

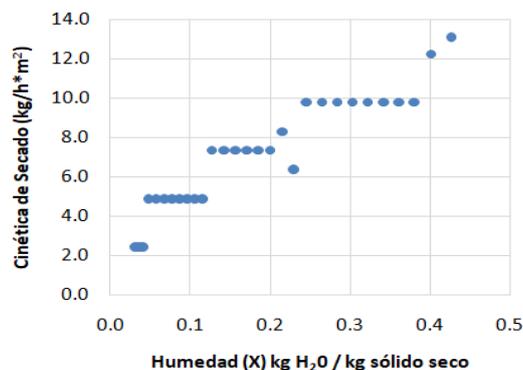
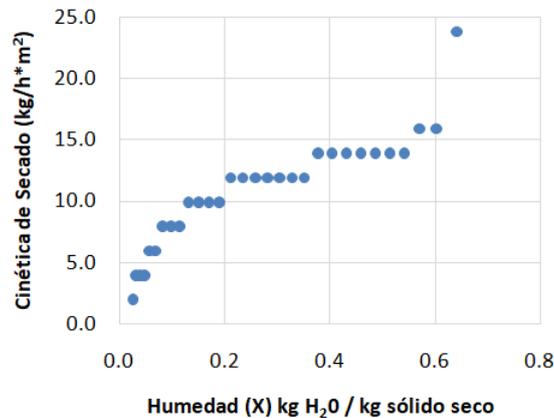


Figura 3. Cinética de secado a 45°C sin flujo de aire

En las figuras 4 y 5 que representan una curva de cinética de secado por cada tratamiento realizado mediante experimentos realizados en equipos de secado con flujo y sin flujo de aire, se observa una gráfica que relaciona cinética de secado ($\text{kg}/\text{h}\cdot\text{m}^2$) vs humedad ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg sólido seco}$) de una muestra de cacao secado de variedad CCN 51, aplicando una temperatura de 60°C . En donde se logró apreciar que el inicio de la curva al ser decreciente inicia con una temperatura adecuada, manteniéndose entre un periodo decreciente y un periodo constante hasta finalizar el experimento.



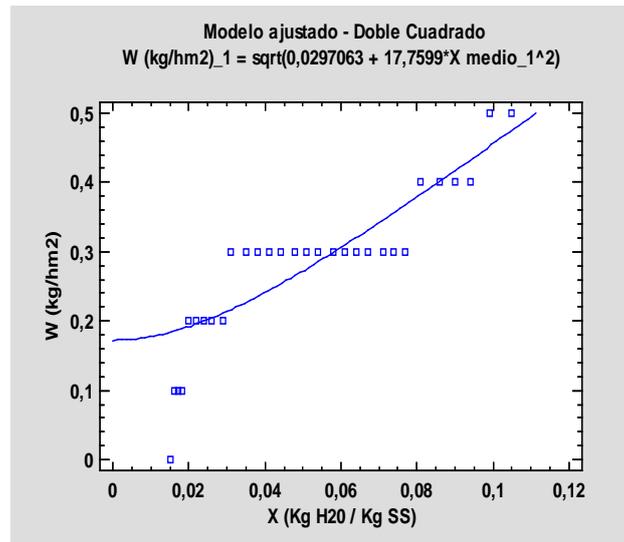


Figura 6. Modelo ajustado estadísticamente con temperatura de 45°C con flujo de aire

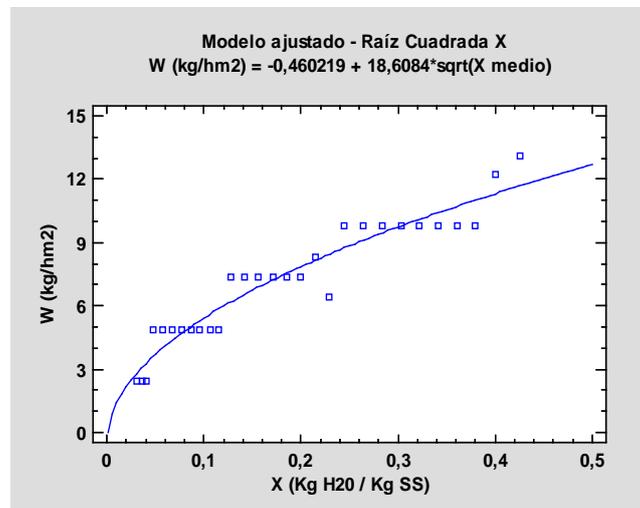


Figura 7. Modelo ajustado estadísticamente con temperatura de 45°C sin flujo de aire

La Figura 8 responde al ajuste matemático de la relación entre la cinética de secado con la humedad media, según un experimento realizado en un equipo de secado sin flujo de aire a una temperatura de 60 °C, el cual fue analizado mediante el *software Statgraphics Centurion XVIII* el modelo que más se ajusta es el de la Raíz Cuadrada X, mientras que en la figura 9 que consistió en el mismo experimento, pero en un equipo con flujo de aire el modelo mejor ajustado fue el Doble Cuadrado.

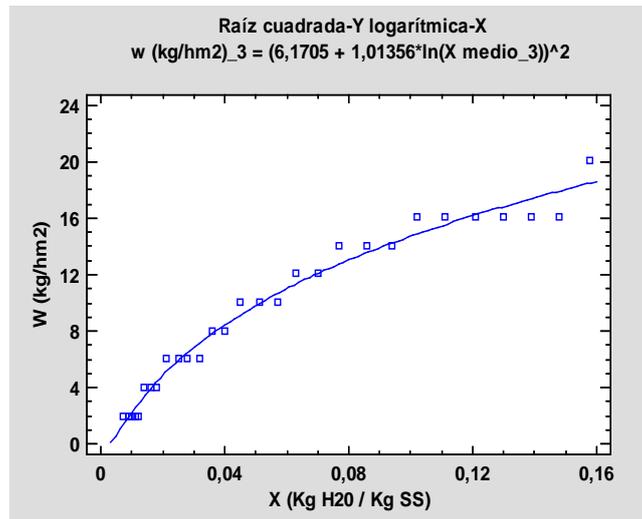


Figura 8. Modelo ajustado estadísticamente con temperatura de 60°C con flujo de aire

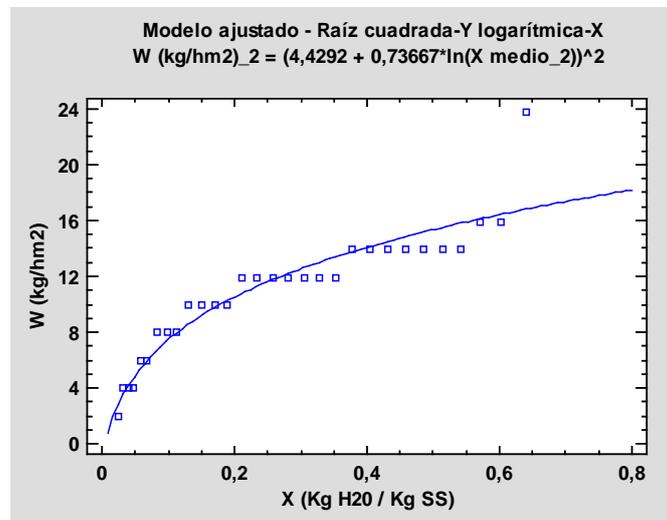


Figura 9. Modelo ajustado estadísticamente con temperatura de 60°C sin flujo de aire

Con respecto a las Tabla 2 y 3, en la mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias, se ha colocado un asterisco junto a 5 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95,0%. En la parte superior, se identifican tres grupos homogéneos mediante columnas de X, logrando descifrar que estadísticamente no existen cambios significativos entre las pruebas realizadas en un equipo con flujo de aire a 45 y 60°C.

Tabla 2. Prueba de Rangos Múltiples para Cinéticas de Secado

Tratamientos	Conteo	Media	Grupos Homogéneos
45°C Sin Flujo de Aire	29	0,2896	X
60°C Sin Flujo de Aire	29	7,2026	X
60°C Con Flujo de Aire	29	9,4915	X
45°C Con Flujo de Aire	29	11,1737	X

Tabla 3. Diferencias Significativas entre los tratamientos aplicados

<i>Contraste</i>	<i>Significativos</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
45°C Sin Flujo de Aire - 45°C Con Flujo de Aire	*	6,91297	1,97038
45°C Sin Flujo de Aire - 60°C Sin Flujo de Aire	*	-3,97107	1,97038
45°C Sin Flujo de Aire - 60°C Con Flujo de Aire	*	-2,28893	1,97038
45°C Con Flujo de Aire - 60°C Sin Flujo de Aire	*	-10,884	1,97038
45°C Con Flujo de Aire - 60°C Con Flujo de Aire	*	-9,2019	1,97038
60°C Sin Flujo de Aire - 60°C Con Flujo de Aire		1,68214	1,97038

3.2 *Discusión*

Mediante los experimentos realizados se logró demostrar que, de los cuatro tratamientos utilizados en esta investigación, el más recomendable es el secado con flujo de aire a 60°C, que este caso se aplicó en un secador de túnel. Esto que fue recomendado por Parra, (2017) al proponer en su investigación la utilización de un generador de aire caliente para producir secado con un mecanismo de transferencia de calor como la convección. Lo cual coincide con la investigación realizada por López y Chávez, (2018) donde se menciona la satisfacción del productor con respecto al grano seco obtenido en un secador de tipo túnel construido con policarbonato, esto en relación al secado de manera tradicional. Así mismo Toroche y Villa, (2021) en su investigación recomienda utilizar un secador de tipo túnel para la deshidratación del cacao, con la finalidad de mantener el valor organoléptico y la pérdida adecuada de humedad del grano, garantizando la calidad del proceso.

En cuanto a la variable de temperatura aplicada en el presente manuscrito, se logra considerar una temperatura adecuada, los 60°C así como lo demuestra Teneda, (2013) donde los mejores resultados en el proceso de secado de cacao fueron a la temperatura anteriormente mencionada. Los resultados obtenidos se puede comparar con la investigación de Plaza y Yange, (2012), donde señalan que el flujo de aire para el secado del cacao es muy beneficioso para un ahorro de tiempo y que es importante que la temperatura no sea superior a los 80 °C.

En referencia a la cinética de secado la presente investigación, la variable de temperatura se compara con el estudio de Jiménez y col., (2016), donde el resultado para alcanzar la humedad de equilibrio más rápidamente fue usando una temperatura de 60°C en un secador de túnel, con la diferencia de la velocidad del flujo de aire que fue de 20 m s⁻¹, la cual es superior a la velocidad de 8,47 m s⁻¹ empleada en la presente investigación.

En torno a la humedad es necesario considerarla una variable de mucho rigor, puesto que investigaciones como la de Tinoco y Ospina, (2010) mencionan que, si no hay control de la pérdida de peso, no es posible mantener una velocidad de secado constante para disminuir el tiempo de operación y que el producto se puede quemar en su superficie.

Es importante destacar que la calidad del grano utilizado en la presente investigación según lo mencionado en la investigación de Menéndez y Burgos, (2022) cumplía con los requisitos estipulados en la normativa ecuatoriana NTE INEN 176, (2018) referente a la calidad del grano del cacao, mientras que en el aspecto de costo, muchos países

resaltan la gran importancia de implementar procesos relacionados con el secado del cacao con la intención de disminuir los costos y ser más productivos en el mercado, esto según el estudio de Tinoco y Ospina, (2010).

4. CONCLUSIONES

1. Se determinó que utilizar un equipo de secado con flujo de aire a una temperatura de 60°C, es el tratamiento que permite eliminar la mayor cantidad de agua en un menor tiempo posible, lo que disminuirá la cantidad de pérdidas del producto y beneficiará en el ahorro del tiempo de operación a los productores de la zona.
2. Se lograron definir los modelos matemáticos que más se ajustan a los resultados obtenidos en el cálculo de la cinética de secado para el cacao CCN 51, el cual fue el modelo de la Raíz cuadrada-Y logarítmica-X, con un ajuste de regresión lineal de R² de 97,95% y un factor de correlación de 0,98.

REFERENCIAS

- Chávez, G.J., Olaya, R.L., & Maza, J.V., Costo de producción de cacao clonal CCN 51 en la Parroquia Bellamaria, Ecuador., *Revista Universidad Y Sociedad*, Vol. 10, No. 4, 2018, pp. 179–185. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000400179
- Jiménez, F.J., Ortégón, C.N., & Ortega, D.E., Análisis del proceso de deshidratación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en túnel de secado continuo., *Agronomía Colombiana*, Vol. 34, No. 1 Supl., 2016, pp. 336–339. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58073>
- León, F., Calderón, J., & Mayorga, E., Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador., *Revista Ciencia Unemi*, Vol. 9, No. 18, 2016, pp. 45–55. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663825007.pdf>
- López, I., & Chávez, E., Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco., *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 9, No. Especial 21, 2018, pp. 4395–4405. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1528>
- Mackay, R., Pino, F.N., & Silva, R.R., Cadena productiva: productividad e innovación en PYMES, de la ciudad de Guayaquil., *Revista Universidad y Sociedad*, Vol. 11, No. 2, 2019, pp. 148–152. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000200148
- Manchumo, O.H., Cacao. Producción, consumo y comercio., *Del período prehispánico a la actualidad en América Latina.*, Vol. 22, No. 1, 2017, pp. 237–242. <https://www.redalyc.org/pdf/833/83350361010.pdf>
- Menéndez, L.T., & Burgos, G.A., Evaluación de los parámetros para el secado de cacao CCN 51 de una finca integral., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Magíster en Ingeniería Química en la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, 2022.
- NTE INEN 176. Granos de Cacao. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización., Febrero 2018. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf

- Ocon, J., & Tojo, G., Problemas de Ingeniería Química., II Tomo, Editorial Aguilar, 1966, pp. 240 – 250.
- Orna, J., Chuquín, N., Saquina, L., & Cueva, O., Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg., Revista Enfoque UTE, Vol. 9, No. 2, 2018, pp. 159–174. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200159
- Parra, P., Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ingeniería con Mención en Automatización, Control y Optimización de Procesos en la Universidad de Piura, Perú, 2017. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3488/DOC_ING_AUT_003.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Plaza, X.P., & Yange, W.X., Diseño e implementación de una secadora híbrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca, Ecuador, 2012. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1930>
- Teneda, W.F., Cinética del secado en las almendras fermentadas de cacao (Theobroma Cacao L.) variedad CCN 51., Investigación & Desarrollo, Vol. 6, No. 2, 2013, pp. 65–70. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/dide/article/view/60>
- Tinoco, H.A., & Ospina, D.Y., Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado., Revista EIA, Vol. 13, 2010, pp. 53–63. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n13/n13a05.pdf>
- Toroche, M.D., & Villa, F.X., Diseño de un equipo automatizado para el proceso de secado de cacao., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador, 2021. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21412/1/UPS-CT009410.pdf>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Gabriel Burgos Briones. Colaboró con el análisis de los resultados, realizó la revisión, aportaciones y correcciones del artículo.
- Ing. Luis Menéndez Cevallos. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- M.Sc. Viviana Bedón Arteaga. Colaboró con la escritura y correcciones del artículo.