

## VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE LA FERMENTACIÓN Y SECADO DEL GRANO DE CACAO

### VALIDATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE PREDICTION OF FERMENTATION AND DRYING OF THE COCOA BEAN

**Carlos Arturo Mejía Córdoba**

*Agrónomo. Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial Del Occidente Antioqueño, Sistema de Investigación Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), Grupo de Investigación GIDOCA. Santa Fe de Antioquia, Colombia.*

carmeco6@gmail.com

#### Resumen

El proceso de beneficio de cacao, determina la calidad final de los granos; en sus etapas se promueven precursores de color, sabor y aroma característicos a chocolate. El objetivo de esta investigación fue validar el desarrollo de un modelo matemático de superficie de respuesta, que tuvo en cuenta, variables de grano bien fermentado en función de la altura de las fincas, días de fermentación y secado y el contenido de humedad con lo que se busca, garantizar y asegurar la calidad final del grano, para ello, una vez generados los modelos se compararon los valores reales y los estimados por el modelo. Posteriormente se calculó el Error del pronóstico, el Error Absoluto Medio y Error Cuadrático Medio, como índices estadísticos para determinar la estimación entre los datos reales y los propuestos por el modelo. Finalmente, se pudo concluir que, al comparar los valores obtenidos con los predichos, para la variable, granos bien fermentados, se obtuvo un 44% de desviación entre los valores reales y los predichos. Sin embargo,

es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%. Adicionalmente el R<sup>2</sup> registró un valor cercano a 1, con tan solo 1,4% de error, indicando que existe una fuerte correlación entre los datos reales y los pronosticados por el modelo, No obstante, se debe ajustar la herramienta, con variables de temperatura y humedad relativa, buscando mejorar la predicción y disminuir el error del modelo, para la variable, granos bien fermentados.

**Palabras clave:** Beneficio, Calidad, Fermentación, Poscosecha, Validación.

#### Abstract

The cocoa benefit process determines the final quality of the beans; in its stages, precursors of chocolate color, flavor and aroma are promoted. The objective of this research was to validate the development of a mathematical response surface model, which took into

account, variables of well-fermented grain depending on the height of the farms, days of fermentation and drying and the moisture content for ensure and guarantee the final quality of the grain; once the models were generated, the real values and those estimated by the model were compared. Subsequently, the Forecast Error, the Mean Absolute Error and the Mean Square Error were calculated as statistical indices to calculate the estimation between the real data and those proposed by the model. Finally, it was concluded that, when comparing the values obtained with those predicted, for the variable well fermented grains, 44% deviation was obtained between the real

and predicted values. However, it is possible to affirm that the model can predict the moisture content of the cocoa bean, with a confidence level of 95%. Additionally, the R<sup>2</sup> registered value close to 1, with only 1.4% error, indicating that there is a strong correlation between the real data and the predicted by the model. However, the tool must be adjusted with temperature and temperature variables, relative humidity to improve the prediction and to reduce the error of the model, for the variable, well-fermented grains.

**Keywords:** Benefit, Quality, Fermentation, Postharvest, Validation.

## Introducción

La cosecha marca el final del crecimiento productivo del cultivo; sin embargo, a su vez, es el inicio de la preparación y acondicionamiento del grano para el mercado. El beneficio del grano no solo enmarca los procesos de fermentación y secado, inicia desde la recolección de frutos, garantizando su madurez fisiológica y su estado para un óptimo consumo.

La poscosecha del grano de cacao, consiste en cosechar, desgranar, fermentar, secar, limpiar y seleccionar el grano, garantizando así una óptima calidad. Es indispensable beneficiar el cacao para reducir pérdidas causadas por insectos, hongos, impurezas y eliminar excesos de otras partículas. La recolección o cosecha de mazorcas debe realizarse cuando hayan alcanzado la completa madurez, por lo general Sucede entre los 160 y 185 días después de la fecundación de la flor (Cortés, 1988). El tipo de cacao, el método de fermentación, la frecuencia de la remoción en los cajones, el volumen de cacao para fermentar, estado de madurez, condición sanitaria de los granos, son entre otros, factores influyentes en la duración

del proceso de beneficio del grano. Una vez extraídos los granos de la mazorca, el proceso de fermentación tiene como finalidad desprender el tejido mucilaginoso, impedir la germinación del embrión y así conservar los granos, desaparecer el color purpura y lograr como finalidad la disminución del sabor amargo y de la astringencia. Las características organolépticas del cacao mejoran a través de un correcto proceso del beneficio, pues este contribuye a generar procesos físicos y químicos encargados de generar compuestos precursores de aroma y sabor característicos a chocolate (Caligiani, Marseglia, Prandi, Palla, & Sforza, 2016; Hamdouche *et al.*, 2015; Ho, Zhao, & Fleet, 2015; John *et al.*, 2016).

En el proceso de fermentación se manifiestan gran cantidad de levaduras (***Saccharomyces cerevisiae***, ***Pichia kluyveri*** y ***Hanseniaspora uvarum*** y muchas otras). infestando la pulpa cuando se desgranar las mazorcas (Ho, Zhao, & Fleet, 2014; Pereira, Soccol, & Soccol, 2016). El medio ácido y el bajo contenido de oxígeno favorece la actividad microbiológica

de las levaduras y dan comienzo a la fase hidrolítica anaeróbica. El sabor amargo o astringente de las almendras frescas de cacao, está íntimamente relacionado con el contenido de alcaloides (teobromina y Cafeína), que contienen los granos y constituyen el 1,8% de su peso. La coloración purpura morada o vidaceo que presentan las almendras frescas internamente se debe a los polifenoles (***catequinas, leucocianidinas***) y especialmente a las antocianinas que constituyen el 75% de las almendras (Cortés, 1988).

Cuando la pulpa se descompone, existe liberación de calor y la temperatura de la masa puede llegar a los 45° 50 ° C (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008). Se forma alcohol, ácido láctico y ácido acético que permeabilizan la testa o membrana que cubre los granos. Estos compuestos y la temperatura participan en la muerte del embrión propiciando la disolución y difusión de los pigmentos (antocianinas) y alcaloides (***teobromina y cafeína***) (Cubillos *et al.*, 2008) que producen el sabor amargo del producto (Miguel *et al.*, 2017).

Es importante revolver, mezclar o voltear la masa de los granos durante el proceso de fermentación con el propósito de facilitar la aireación romper los granos adheridos, prevenir la formación de hongos y hacer uniforme el proceso.

La calidad final de los granos de cacao está determinada en gran medida por el proceso de beneficio (fermentación y secado del grano) (Kongor *et al.*, 2016). El grano bien fermentado asegura que las almendras sean apreciadas y apetecidas por la industria, garantiza por ende su comercialización, tanto a nivel nacional como para exportación y justifica un mejor precio.

Al comparar las prácticas de fermentación y secado de los productores del occidente

antioqueño con las recomendaciones realizadas por la Federación Nacional de Cacaoteros, es posible identificar que no se cuenta con un criterio claro frente a este tema (FEDECACAO, 2012). Lo que cada productor está sujeto a ajustar sus prácticas de fermentación y secado de acuerdo al tipo de cacao producido y a las condiciones ambientales de su unidad productiva.

Buelvas Salgado (2016) reportó que la gran mayoría de los productores de cacao del occidente antioqueño fermentan y secan el cacao entre 4 y 6 días. La fermentación es realizada en cajones de madera, costales de fique o plásticos y en canecas plásticas. El secado es realizado generalmente en el suelo en costales de fique o tela. La falta de homogeneidad en las prácticas de fermentación y secado del grano, afectan directamente la calidad del cacao producido, obteniéndose porcentajes de fermentación por debajo de los requisitos exigidos en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003).

Con el fin de dar respuestas al sector productivo y mejorar los procesos de beneficio. El Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño, para el año 2016, diseñó el protocolo de fermentación y secado; una herramienta que busca estandarizar los procesos de beneficio del grano y, garantizar características óptimas de calidad para el mercado. Sin embargo, se hizo necesario poner a prueba el modelo en los microclimas del occidente antioqueño, con la finalidad de valorar la precisión y exactitud del mismo. El motivo de esta investigación fue validar un modelo matemático para realizar el beneficio del grano de cacao, y, ajustar algunas variables, para su medición y control, humedad del grano, % de granos bien fermentados, duración del proceso de fermentación y días de secado.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la subregión del Occidente de Antioquia específicamente en los municipios de Dabeiba, Frontino, Cañasgordas y Uramita. El área de estudio corresponde, según (Holdridge *et al.*, 1971) a bosque seco tropical (Bs-T), con una temperatura anual promedio de 25 °C (valores mínimos de 19°C y máximos de 40°C) y una precipitación promedio entre 1500 y 1800 mm/año.

### Validación del modelo

La validación del protocolo inició con la visita a parcelas más representativas, en términos de producción de cada zona identificada, con la finalidad de geo-referenciar las fincas, establecer su altura sobre el nivel del mar, temperatura y humedad relativa, así como documentar la capacidad productiva y el proceso

de fermentación y secado del grano de cacao, que realiza cada productor.

Luego de insertar la altura de la finca productora, en la herramienta matemática y realizar un análisis de regresión no lineal en el Software DATAFIT, versión 8.1.69. Para estimar los días de fermentación y secado que son necesarios para obtener un grano de cacao que cumpla con los requisitos de calidad exigidos por la NTC 1252, (2003). Se realizó el montaje experimental de acuerdo a las condiciones establecidas por el protocolo de fermentación y secado del grano de cacao.

Datos predichos por el modelo matemático, para las variables, de altura, días de fermentación, días de secado, granos bien fermentados y contenido de humedad (Tabla 1). Cada corrida experimental se montó por triplicado.

**Tabla 1.** Datos predichos por la herramienta

Altura Sobre el nivel del mar	Días de Fermentación	Días de Secado	Granos bien fermentados/ 100 granos	Granos insuficientemente fermentados/100 granos	Contenido de humedad en % (m/m), máx.	Calidad sensorial del grano
1200	7	6,46	79,92	16,6	6,5	7,79
1100	7	6,48	79,1	17,09	7,27	7,67
1000	7	6,5	78,27	17,58	8,2	7,56
900	7	6,54	78,27	17,67	7,03	7,44
600	7	6,88	76,39	17,63	6,87	7,027
800	7	6,6	79,18	15,56	6,95	7,3

Una vez generados los modelos se compararon los valores reales y los estimados por el modelo. Posteriormente se calculó el Error del pronóstico, el Error Absoluto Medio y Error Cuadrático Medio (Vidal Holguín, 2005), como índices estadísticos para determinar la

estimación entre los datos reales y los estimados por el modelo.

Error del Pronóstico (**E**): El error del pronóstico es representado por la siguiente expresión matemática  $e_t = X_t - \hat{X}_t$

Donde:

$e_t$  = Error del pronóstico para el periodo t.

$X_t$  = Valor real de la observación en el periodo t.

$\hat{X}_t$  = Pronostico de la demanda para el periodo t.

**Error Absoluto Medio (EAM):** El EAM es representado por la siguiente expresión matemática

$$EAM = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \bar{x}_t|}{n}$$

**Error Cuadrático Medio (ECM):** El ECM es representado por la siguiente expresión matemática

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

**Modelo matemático**

Para el desarrollo del modelo de fermentación y secado del grano de cacao, se utilizó una metodología de superficie de respuesta (D-optimal) para definir las condiciones adecuadas de beneficio post cosecha (fermentación y secado) del grano de cacao.

El diseño de experimentos costó de 18 corridas experimentales, y se conformó por tres factores (altura, días de fermentación, y días de secado), los cuales fueron evaluados en los siguientes niveles máximos y mínimos: Altura de 400 y 1200 m.s.n.m. Días de fermentación de 3 y 7 días. Días de secado de 3 y 6 días (Tabla 2).

**Tabla 2.** Diseño de superficie de respuesta

Std	Run	Block	Factor 1	Factor 2	Factor 3
			A: Altura (m.s.n.m)	B: Días de Fermentación	C: Días de Secado
2	1	Block 1	400.00	5.00	4.50
5	2	Block 1	800.00	7.00	4.50
11	3	Block 1	800.00	3.00	4.50
18	4	Block 1	400.00	7.00	6.00
14	5	Block 1	1200.00	7.00	6.00
1	6	Block 1	400.00	7.00	3.00
7	7	Block 1	800.00	5.00	3.00
4	8	Block 1	400.00	7.00	6.00
10	9	Block 1	1200.00	5.00	6.00
13	10	Block 1	1200.00	3.00	6.00
6	11	Block 1	400.00	3.00	3.00
9	12	Block 1	400.00	3.00	6.00
3	13	Block 1	1200.00	7.00	3.00
17	14	Block 1	1200.00	3.00	3.00
15	15	Block 1	800.00	5.00	3.00
16	16	Block 1	1200.00	7.00	3.00
8	17	Block 1	1200.00	3.00	3.00
12	18	Block 1	1000.00	5.00	4.50

Como variables respuesta del experimento se utilizaron las mismas de la caracterización inicial del grano de cacao, las fermentaciones fueron realizadas en cajones de madera y el secado solar en marquesinas.

### Optimización matemática del modelo desarrollado

En el programa estadístico Design-Expert 6.0.8, se realizó una optimización matemática de las variables más importantes como lo son: altura de la unidad productiva, días de fermentación y de secado, grano bien fermentado, contenido de humedad. Obteniéndose como resultado los días de fermentación y secado necesarios para obtener un grano de cacao con calidad.

### Evaluación del análisis de calidad del grano de cacao:

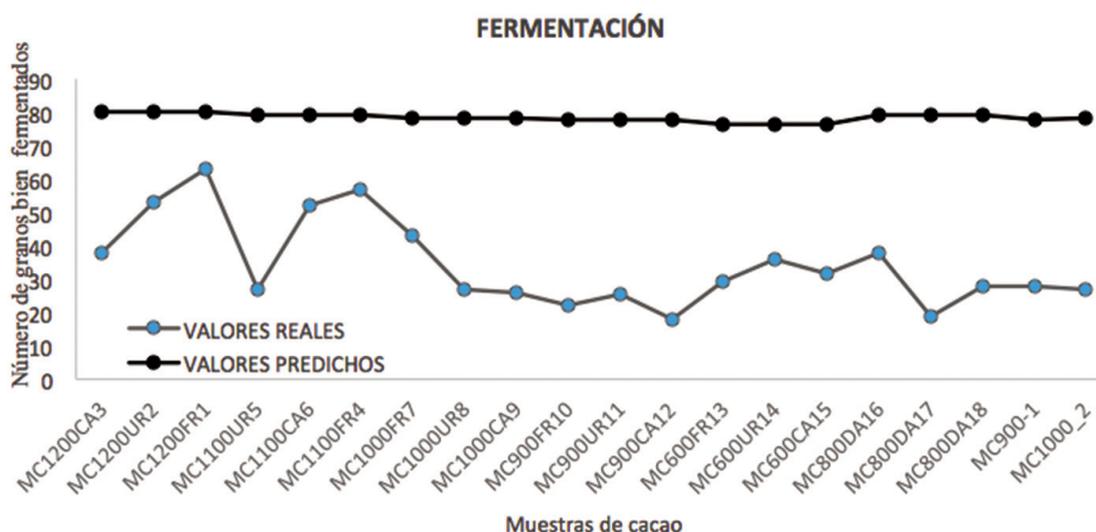
La evaluación de la calidad final del grano de cacao, se llevó a cabo conforme a las especificaciones técnicas, descritas en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003), en la cual se contemplan los siguientes requisitos de calidad: Contenido de humedad en % (m/m),

Contenido de impurezas o materias extrañas en % (m/m), Grano mohoso interno, número de granos/100 granos, Grano dañado por insectos y/o germinados, número de granos/100 granos, Contenido de pasillas, número de granos/100 granos, Contenido de almendras en % (m/m), Masa (peso) en g/100g, Granos bien fermentados, número de granos/100 granos, Granos insuficientemente fermentados, número de granos/100 granos, Granos pizarrosos, número de granos/100 granos.

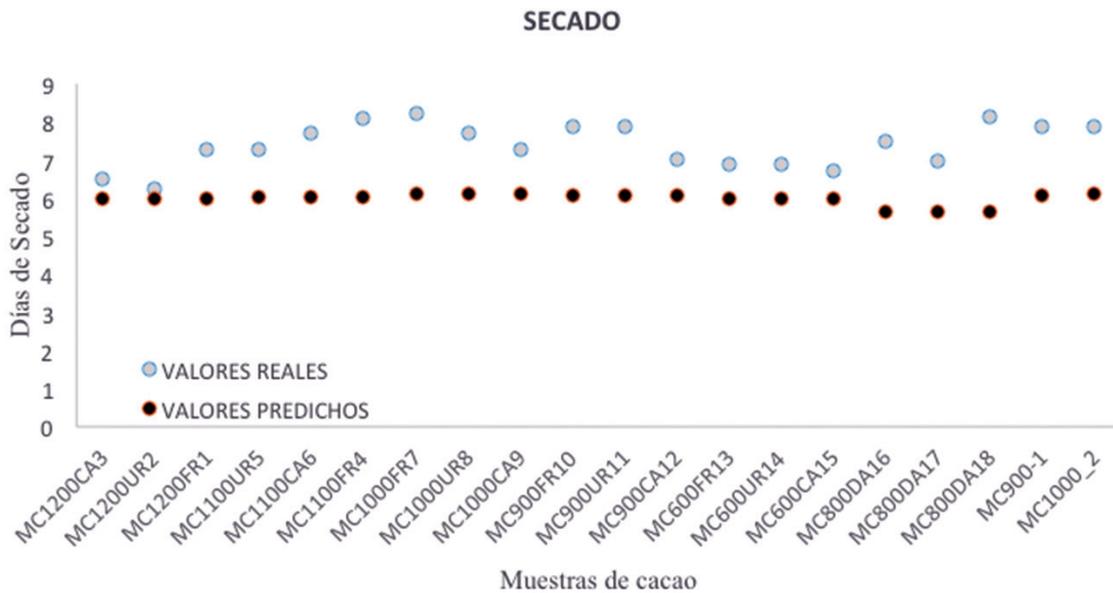
**Análisis fisicoquímicos:** Se evaluó el contenido de humedad, %Xbh según la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003), la actividad de agua (aw) se realizó en un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón modelo CX3), el pH, la acidez y los grados Brix, según Norma Técnica Colombiana NTC 440, 1971.

### Resultados y Discusión

(Figura 1 y 2) presentan resultados, de valores predichos y reales, obtenidos para el modelo de fermentación y secado del grano de cacao.



**Figura 1.** Valores reales y valores predichos por el modelo matemático para la variable fermentación del grano de cacao.



**Figura 2.** Valores reales y valores predichos por el modelo matemático para la variable secado del grano de cacao.

Las tablas 3 y 4 (ver anexos), presentan los índices estadísticos y los valores obtenidos en el pronóstico, para la variable de granos bien fermentados y el contenido de humedad del grano respectivamente.

Dadas las corridas experimentales diseñadas, para el análisis de la variable, granos bien fermentados (Tabla 3). Se evidencia un promedio de 34 granos bien fermentados, con márgenes entre (19) como mínimo número de granos bien fermentados obtenidos y 57 como valor máximo; ambos resultados, por debajo de lo predicho por la herramienta matemática. Por lo cual, es correcto afirmar, que los resultados, no alcanzan a cumplir con los estándares exigidos por la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003) y, los predichos por el modelo. Adicionalmente, se puede concluir, que el modelo presenta un 44% de error al pronosticar el porcentaje de fermentación del grano de cacao, lo cual se ve reflejado en que el modelo, para el valor de  $R^2$ , solo logra explicar el 34%

de los datos experimentales. Por lo tanto, se hace necesario mejorar la estimación del modelo incluyendo un mayor número de corridas experimentales en su construcción, para la variable, granos bien fermentados.

Resultados similares han sido reportados por (Pereira *et al.*, 2016), donde se llegó a la conclusión, de continuar con la investigación en procesos de fermentación en cacao, buscando mejorar los precursores de aroma y sabor, asegurando la calidad final del grano de cacao. (Ver en los anexos tabla 4)

De la Tabla 4, es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%, dado que el valor p es 0.0177. Adicionalmente, el  $R^2$  presenta un valor de 70%, indicando que existe una fuerte correlación entre los datos reales y los pronosticados por el modelo, lo que es confirmado al presentar un 1,4% en el error absoluto medio.

Resultados similares han sido reportados por (Amaiz., *et al.*, 2013)., donde indican que al someter el cacao fermentado, al proceso de secado al sol, la humedad disminuye dramáticamente hasta un nivel de 6,68%. Este nivel de humedad es seguro para almacenamiento, ya que tiene como fin completar el proceso de beneficio (deteniendo el proceso fermentativo) y eliminar la humedad del grano, que al final de la fermentación se estima entre 45 a 60% y luego descender a valores comprendidos entre 7 a 8% por efecto del secado.

### Grano bien fermentado

Como se conoce, la cantidad, naturaleza y distribución de los microorganismos presentes en la pulpa de cacao determinará la velocidad y la intensidad de la fermentación, así como la calidad de los granos fermentados (N. Camu , T. De Winter , SK Addo , JS Takrama , H. Bernaert, 2008) citados por (Ramos, Dias, Miguel, & Schwan, 2014)peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C. En tal sentido, la variedad de cacao, influye en las características y el crecimiento de microorganismos presentes en el proceso de fermentación. No obstante, para tener una mejor comprensión de los procesos de fermentación y de la calidad final del grano de cacao, es fundamental investigar el desarrollo de estas comunidades y poder alimentar la herramienta, ajustando los datos predichos y reduciendo su margen de error.

Como lo reportan (Pereira *et al.*, 2016), donde llegaron a la conclusión, de continuar con la investigación en procesos de fermentación en cacao, analizando otras variables, que influyen en los precursores de aroma y sabor, buscando, asegurar la calidad final del grano de cacao. Se deben incluir parámetros adicionales y, evaluar, variables como: temperatura, humedad relativa y homogeneidad de la variedad de cacao, para esta última, como lo mencionan (Ramos *et al.*,

2014)peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C, donde cada material vegetal presentó características particulares: tamaño, cáscara, semilla, pulpa y la temperatura de la masa de cacao aumentó durante las fermentaciones entre (24 C a 47 C), para las diferentes especies.

### Humedad del grano

El principal objetivo del secado es disminuir el contenido de humedad, acidez, astringencia y desarrollar el color a chocolate característico de los granos bien fermentados. (FEDECACAO, 2004). Se trata de bajar el grado de humedad (%), entre el 53% y 57% hasta el 6,5% y 7,5 %, exigido por el mercado. El grano de cacao debe estar beneficiado adecuadamente, seco, exento de olores extraños, libre de infestación por insectos, mohos internos, libre de granos múltiples y almendras partidas e impurezas (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003). El tamaño de la almendra o grano, contenido de grasa y porcentaje de cascarilla es importante para la industria, éstas demandan almendras con pesos superiores a 1 gramo, contenido de grasas del orden del 55% y que no superen el 12% de cascarilla (FEDECACAO, 2004).

Para los índices estadísticos obtenidos en la variable de contenido de humedad del grano, se obtuvo para la altura de 1200 metros, un promedio de 6.67% y de 7.68%, 7.72%, 7.58% 6.82%, y 7.51% para las alturas de 1100m. 1000m. 900m. 600m y 800 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. Lo anterior, comparado con resultados predichos por el modelo, indican que los datos obtenidos se asemejan lo suficiente para tener una confiabilidad en la predicción del modelo para dicha variable. Sin embargo, es aconsejable continuar con el montaje de corridas, aumentar el número de factores a medir y parámetros establecidos, con el fin de mejorar la precisión de la herramienta.

Investigaciones realizadas por (Ramos *et al.*, 2014) peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C señalan que conjuntamente con la pérdida de agua que se produce durante el secado, ocurre una merma de la acidez, específicamente de los ácidos volátiles. Esta disminución de la acidez es favorecida cuando el secado ocurre lentamente, y se establece un balance entre las velocidades de evaporación del líquido en la testa y de la difusión de los líquidos del cotiledón (Jinap, Thien, & Yap, 1994) titratable acidity and volatile fatty acids (VFA citados por Amaiz, Pérez, Álvarez y Perozo (2013).

Debido a que durante el secado continúan sucediendo los procesos bioquímicos de carácter enzimático, necesarios para la aparición de las sustancias precursoras del sabor y aroma deseables en el cacao de buena calidad, el mismo debe realizarse lentamente, pues un mal secado la deteriora.

### Conclusiones

Es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%, con respecto al valor indicado en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003). Lo que permite regular y controlar el contenido de agua, presente en el grano de cacao seco, que se procesa en la industria.

Los procesos de beneficio se implementan para desarrollar precursores de aroma y sabor, en el grano de cacao, influyendo directamente su calidad final. No obstante, para su desarrollo, se requiere la presencia y disponibilidad de levaduras, microorganismos y ácido bacterias, que se activan durante el proceso de fermentación y secado. Lo que hace indispensable, tener en cuenta estos elementos, para futuras investigaciones.

Adicionalmente, es indispensable, continuar con la toma de muestras y replicar el proceso, en próximas investigaciones, buscando reducir el error predicho y aumentando la asertividad del modelo matemático. Logrando estandarizar los procesos de beneficio, mejorar la calidad final de grano y obtener un mejor producto para el mercado.

### Literatura citada

- Amaiz, Lares Mary., Pérez, Sira Elevina., Álvarez, Fernández Clímaco., Perozo González S, José. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1-2), 37-47. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt)
- Buelvas Salgado, G. A. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el Occidente antioqueño., 1-8.
- Caligiani, A., Marseglia, A., Prandi, B., Palla, G., & Sforza, S. (2016). Influence of fermentation level and geographical origin on cocoa bean oligopeptide pattern. *Food Chemistry*, 211, 431-439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.072>
- Cortés, H. G. (1988). *El Beneficio del Cacao*. Medellín. [https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXQ6NX4AH72PS5VVC5QU91P3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc\\_library=SNB01&doc\\_number=000677020&year=&volume=&sub\\_library=EFEGO](https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXQ6NX4AH72PS5VVC5QU91P3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc_library=SNB01&doc_number=000677020&year=&volume=&sub_library=EFEGO)
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). Manual de beneficio del cacao 2008 ~, 29.
- FEDECACAO, (Federación Nacional de Cacaoteros) (2004). *El beneficio y características físico químicas del cacao (Theobroma cacao L.)*. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1pub-publicaciones>
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). (2012). Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros.
- Hamdouche, Y., Guehi, T., Durand, N., Kedjebo, K. B. D., Montet, D., & Meile, J. C. (2015). Dynamics of microbial ecology during cocoa

- fermentation and drying: Towards the identification of molecular markers. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.031>
- Holdridge, L. R., Grenke, W. C., Hatheway, W. H., Liang, T. & Tosi, J. A. (1971). Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford. 747 p.
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2015). The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 205, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>
- Jinap, S., Thien, J., & Yap, T. N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty-acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/DOI 10.1002/jsfa.2740650111>
- Amaiz, Lares Mary., Pérez, Sira Elevina., Álvarez, Fernández Clímaco., Perozo González S, José. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1–2), 37–47. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt)
- Buelvas Salgado, G. A. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el Occidente antioqueño., 1–8.
- Caligiani, A., Marseglia, A., Prandi, B., Palla, G., & Sforza, S. (2016). Influence of fermentation level and geographical origin on cocoa bean oligopeptide pattern. *Food Chemistry*, 211, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.072>
- Cortés, H. G. (1988). *El Beneficio del Cacao*. Medellín. [https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXQ6NX4AH72PS5VVC5QU91P3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc\\_library=SNB01&doc\\_number=000677020&year=&volume=&sub\\_library=EFEGO](https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXQ6NX4AH72PS5VVC5QU91P3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc_library=SNB01&doc_number=000677020&year=&volume=&sub_library=EFEGO)
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). Manual de beneficio del cacao 2008 ~, 29.
- FEDECACAO, (Federación Nacional de Cacaoteros) (2004). *El beneficio y características físico químicas del cacao (Theobroma cacao L.)*. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1pub-publicaciones>
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). (2012). Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros.
- Hamdouche, Y., Guehi, T., Durand, N., Kedjebo, K. B. D., Montet, D., & Meile, J. C. (2015). Dynamics of microbial ecology during cocoa fermentation and drying: Towards the identification of molecular markers. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.031>
- Holdridge, L. R., Grenke, W. C., Hatheway, W. H., Liang, T. & Tosi, J. A. (1971). Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford. 747 p.
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2015). The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 205, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>
- Jinap, S., Thien, J., & Yap, T. N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty-acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/DOI 10.1002/jsfa.2740650111>
- John, W. A., Kumari, N., Böttcher, N. L., Jean, K., Grimbs, S., Vrancken, G., ... Ullrich, M. S. (2016). Aseptic artificial fermentation of cocoa beans can be fashioned to replicate the peptide profile of commercial cocoa bean fermentations. *Food Research International Journal*, 89, 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.011>
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (Theobroma cacao) bean flavour profile - A review. *Food Research International*, 82(January), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Miguel, M. G. da C. P., Reis, L. V. de C., Efraim, P., Santos, C., Lima, N., & Schwan, R. F. (2017). Cocoa fermentation: Microbial identification by MALDI-TOF

- MS, and sensory evaluation of produced chocolate. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.076>
- N. Camu , T. De Winter , SK Addo , JS Takrama , H. Bernaert, L. D. V. (2008). Fermentation of cocoa beans: Influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavor of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2288–2297.
- Norma Técnica Colombiana NTC 1252, (ICONTEC). (2003). Norma colombiana NTC - 1252 - Cacao en grano. ICONTEC.
- Pereira, G. V. de M., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2016). Current state of research on cocoa and coffee fermentations. *Current Opinion in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.001>
- Ramos, C. L., Dias, D. R., Miguel, M. G. da C. P., & Schwan, R. F. (2014). Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. *Food Research International*, 64, 908–918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.033>
- Vidal Holguín, C. J. (2005). *Fundamentos de gestión de inventarios* (Universida). Cali, Valle: Universidad del Valle.

**Conflicto de Intereses**  
Los autores declaran no tener  
ningún conflicto de intereses

