

Evaluación de la eficiencia de una descascarrilladora de granos de cacao

Evaluation of the efficiency of a cocoa bean sheller

Rincón-Quintero, A. D.^{1,2}; Sandoval-Rodriguez, C. L.¹; Rondon-Romero, W. L.¹; Lengerke, O.¹; Acosta-Cardenas, O. A.¹

¹Unidades Tecnológicas de Santander. Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías; Colombia.

²Universidad del País Vasco UPV/EHU; España

DOI: <https://doi.org/10.59872/icu.v8i11.507>

Correo de correspondencia: arincon@correo.uts.edu.co

Recepción: 17/05/2024; Aceptación: 29/05/2024;

Publicación: 02/07/2024

Palabras claves: Cacao; cascarilla; descascarrillador; nibs; diferencia de densidades

Keywords: Cocoa; husk; sheller; nibs; difference in densities

Resumen

El cacao colombiano viene posicionándose a nivel mundial, siendo el departamento de Santander, el más afamado a nivel nacional, con una producción de hasta 23 mil toneladas al año, siendo el 42%, agrupadas en unas 17 mil familias cacaoteras en 40 Municipios, según cifras de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao).

El proceso comienza con la extracción de las semillas del fruto, la fermentación y posteriormente pasar a la etapa de secado de los granos, hasta un porcentaje de humedad inferior al 7%, continuando con el tostado y descascarrillado, donde se separa la cascarilla de los nibs de cacao.

La investigación se centra en la implementación de un descascarrillador de cacao, empleando una metodología con tres etapas, la primera enfocada en la revisión bibliográfica de los usos de la cascarilla separada del grano pues esta representa un porcentaje significativo de residuos en el proceso; el segundo se enfoca en el modelado del equipo mediante software SolidWorks y simulación del comportamiento de las partículas; y el tercero se centra en la operación del equipo para definir su capacidad productiva.

Entre los resultados obtenidos se encuentra el análisis bibliométrico que permite identificar nuevas líneas de investigación para el uso de la cascarilla, como también el estudio de partículas que facilita el diseño de equipos separadores de producto basado en el diferencial de densidades. El producto final es una máquina descascarrilladora y funcional con una capacidad productiva de 0,07 kg/min.

Abstract

Colombian cocoa has been positioning itself worldwide, with the department of Santander being the most famous nationally, with a production of up to 23,000 tons per year, 42% of which is grouped into some 17,000 cocoa families in 40 municipalities, according to figures from the National Federation of Cocoa Growers (Fedecacao).

The process begins with the extraction of the seeds from the fruit, the fermentation and later the drying stage of the grains, up to a moisture percentage of less than 7%, continuing with the roasting and husking, where the husk is separated from the beans. cocoa nibs.

The research focuses on the implementation of a cocoa husk, using a methodology with three stages, the first focused on the bibliographic review of the uses of the husk separated from the grain, since it represents a significant percentage of residues in the process; the second focuses on the modeling of the equipment using SolidWorks software and simulation of the behavior of the particles; and the third focuses on the operation of the equipment to define its productive capacity. Among the results obtained is the bibliometric analysis that allows identifying new lines of research for the use of husk, as well as the study of particles that facilitates the design of product separator equipment based on the density differential. The final product is a functional shelling machine with a productive capacity of 0.07 kg/min.

Introducción

Theobroma cacao L., el árbol productor de cacao, pertenece al orden de los Malvales, familia *Malvaceae* y género *Theobroma*. Su nombre tiene origen griego, «Theos y Bromos», que significan «alimento de los dioses». Es la única planta con uso comercial en la producción de chocolate. A pesar de tener una pulpa con un sabor agradable, la semilla de cacao es la parte del cacao más utilizada en la industria alimentaria, generando varios productos con el mayor enfoque en el chocolate (Lippi, 2015).

La producción anual de la industria del cacao es de aproximadamente 4,7 millones de toneladas de semillas de cacao. Según datos de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), Costa de Marfil fue el mayor productor de cacao en el 2018 / cosecha 2019 con 2154 mil toneladas, seguido de Ghana (812 mil toneladas) y Ecuador (322 mil toneladas). Los países africanos son responsables de casi el 80% de la producción mundial de semillas de cacao (Soares & Oliveira, 2022). La producción de cacao está en desarrollo y su procesamiento genera diferentes tipos de subproductos entre estos se destaca la cascarilla de la almendra que representa un 17% del peso del cacao seco producido por los países anteriormente mencionados.

En este documento se expone el desarrollo de un equipo para la separación de los nibs de cacao y su correspondiente cascarilla mediante la convección forzada el diferencial de densidades de los mismos.

Materiales y Métodos

La producción de cacao en grano tiene lugar principalmente en las zonas tropicales y alcanza más de 4,7 millones de toneladas anuales en todo el mundo, de las cuales se estima que el 76,3 %, 17,4% y 6,3% se producen en África, América y Asia y Oceanía, respectivamente (Rojo-Poveda *et al.*, 2020). La producción anual de cacao es de aproximadamente 4,7 millones de toneladas de cacao en grano, de las cuales solo el 10% corresponde al grano de cacao y el valor restante corresponde a un alto número de residuos, cáscara, pulpa y cascarilla del grano de cacao. Estos subproductos son una fuente de nutrientes y compuestos de notable interés en la industria alimentaria como posibles ingredientes, o incluso aditivos (Soares & Oliveira, 2022).

La cascarilla de cacao, principal subproducto generado por la industria cacaotera, se usó inicialmente como fertilizante, alimento para animales y como sustrato para reacciones químicas. Sin embargo, la presencia y altas concentraciones de compuestos bioactivos, como fenólicos y alcaloides, ha llamado la atención sobre este subproducto infravalorado en varios sectores como la industria alimentaria, farmacéutica y cosmético (Mudenuti *et al.*, 2021).

En los últimos años, varios investigadores han estudiado el aprovechamiento de los residuos de la cascarilla de cacao en la industria alimentaria (Nogueira Soares Souza *et al.*, 2022). La calidad del chocolate depende del tipo de cacao y de cómo se realiza su fabricación (Braga *et al.*, 2018), hay tres variedades genéticas principales de cacao utilizados en la elaboración del chocolate: Forastero, Trinitario y Criollo, que se distinguen por su aroma, atributo que determina su calidad. El cacao criollo es de la más alta calidad y se utiliza en la elaboración de chocolates finos por su aroma afrutado. El aroma del cacao criollo está definido por compuestos volátiles como pirazinas y aldehídos, que se forman durante el tostado del grano, a partir de precursores del aroma que se generan en el interior del grano a través de reacciones enzimáticas durante la fermentación (Castro-Alayo *et al.*, 2019).

Dado que el proceso de fermentación del grano de cacao está influenciado no solo por la diversidad microbiana, sino también por el medio ambiente y las prácticas agrícolas, es importante que cada región productora de cacao caracterice su propia diversidad microbiana para poder personalizar las diferentes etapas de fermentación (Domínguez-Pérez *et al.*, 2020).

Para escoger el mejor grano se debe utilizar la espectroscopia de infrarrojo es un método rápido y fácil para identificar los genotipos de cacao, se utiliza para determinar la calidad de los granos de cacao y los cotiledones a partir de los espectros de los granos de cacao intactos (Hernández-Hernández *et al.*, 2022). Las fluctuaciones de los precios internacionales de las materias primas y la pandemia de COVID-19 han tenido un impacto negativo en los precios del mercado mundial, lo que también influye en la eficiencia de la economía circular. Por lo tanto, la cadena productiva del cacao enfrenta el desafío de encontrar formas sostenibles de aumentar la producción y satisfacer las demandas de la sociedad moderna (Guirlanda *et al.*, 2021).

Esto genera el problema de las grandes cantidades de residuos orgánicos, que representan una enorme carga ecológica y financiera para todos los aspectos de la industria de procesos, es una necesidad. Por lo tanto, surge la necesidad de encontrar soluciones específicas para utilizar las materias primas de la manera más eficiente posible en el proceso de producción (Balentic *et al.*, 2018). Los productores de cacao requieren conocimiento, capacidad de innovación, y motivación para iniciar en procesos de reutilización y valoración de residuos orgánicos, con el fin de formar parte de una sociedad responsable, comprometida con el fin de generar incentivos monetarios y no monetarios, y, estar inmerso en políticas ambientales que beneficien su desarrollo (Teneda Llerena *et al.*, 2019).

Esta investigación comienza con la exploración bibliográfica de los usos de la cascarilla del cacao, lo cual se logra mediante la ecuación de búsqueda «cocoa AND husk» que al ser implementada en la base de datos Web Of Science (WoS) entrega un total de 470 resultados que se procesan en el software VOSviewer.

Revisión Bibliométrica

Análisis de la coocurrencia de palabras claves

Una de las principales redes bibliométricas para el análisis conceptual de conocimiento es la red de palabras claves a continuación se muestra la generada por los metadatos de los resultados de la ecuación de búsqueda.

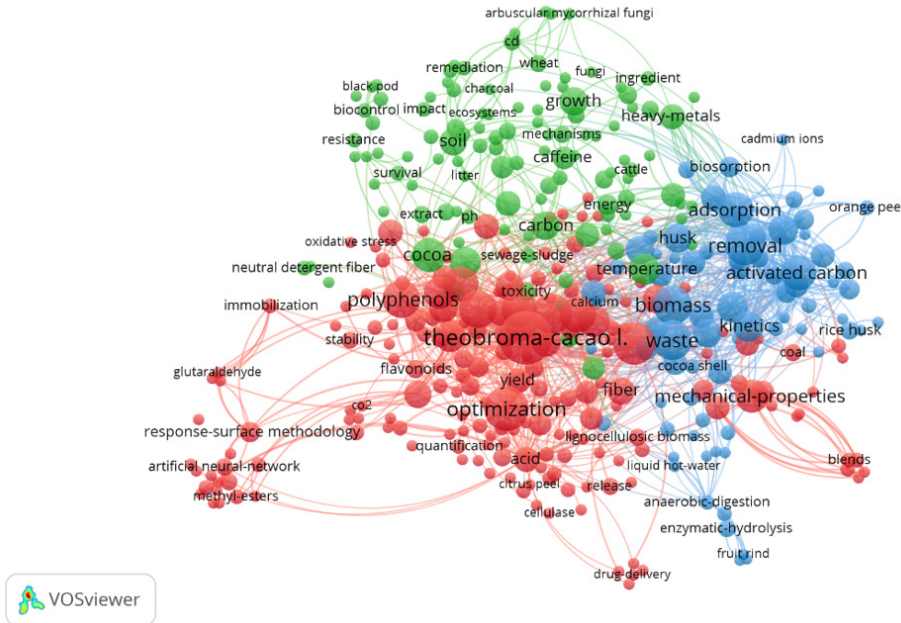


Figura 1. Red de palabras claves

Fuente: autores (<https://tinyurl.com/2l8v2bj6>) Link de acceso a la red



Figura 2. Código QR para acceso a la red

Fuente: autor

En esta red se generan 3 grupos del conocimiento que se convierten en las principales líneas de investigación del uso de la cascarilla del cacao. Estos grupos están diferenciados por su color, siendo el primero de color rojo, el segundo de color azul y el tercero de color amarillo.

- Grupo rojo: Este grupo se encuentra liderado por palabras como chocolate, polifenoles, antioxidantes, composición química, industria de alimentos, entre otras. Este grupo se destaca por el enfoque en el estudio del potencial alimenticio de la cascarilla y la generación de bioproductos.
- Grupo azul: En este grupo se destacan palabras claves como Biomasa, pirolisis, desechos, combustión, carbón activado, biochar, entre otras. Este grupo se destaca por tener un enfoque del tipo energético, en él se abordan temas como metodologías para el aprovechamiento de esta biomasa, su carbonización entre otros aspectos.
- Grupo verde: En este grupo se destacan palabras claves como metales pesados, cafeína, descomposición, carbón, energía, propiedades fisicoquímicas, teobromina, entre otros. Este grupo se destaca por tener un enfoque de los usos industriales de la cascarilla del cacao, lo cual destaca una importancia en el desarrollo de metodologías para el aprovechamiento de estos residuos.

Adicionalmente es posible identificar las últimas tendencias en investigación mediante una visualización de la red con enfoque de tiempo, donde se destacan palabras que están siendo usadas en los últimos 5 años con distinción de color.

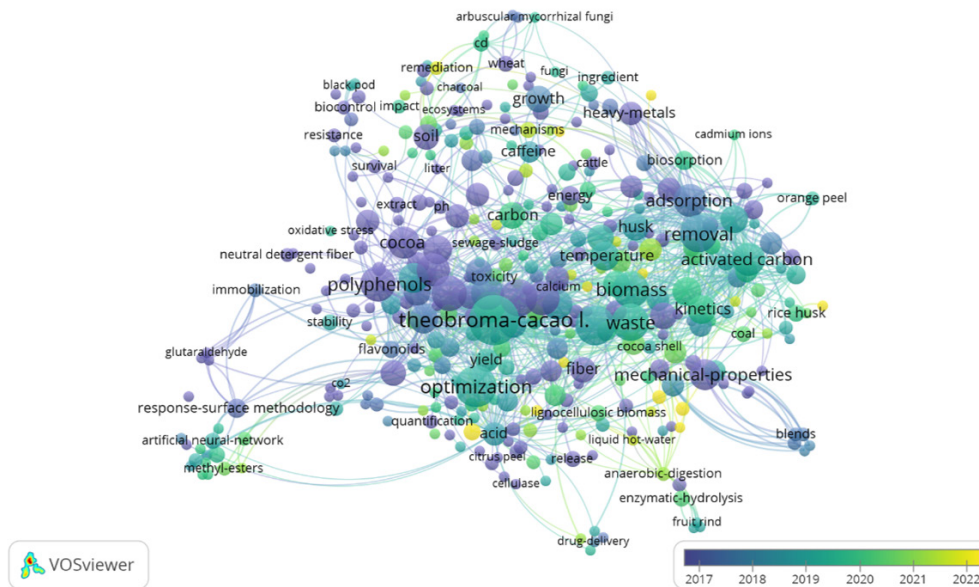


Figura 3. Red de palabras claves en el tiempo
Fuente. Autores

En esta red las palabras de color azul oscuro son principalmente usadas en año inferiores al 2017 y las amarillas tiene un uso centrado en los años recientes. Dentro de esta red se destacan palabras como carbon-steel, metales, generación de potencia, nano-cristales, pirolisis de la biomasa, destacándose las nuevas necesidades sociales de encontrar fuentes de energías renovables para superar la dependencia del petróleo y del carbón.

Diseño del sistema descascarillado

Como se ha establecido a la literatura existen diferencias en las propiedades físicas de la cascarilla del cacao y del cacao o el embrión que se encuentra en el interior de la almendra, entre estas diferencias se encuentra la densidad y tamaño masa de las mismas, por ejemplo la cascarilla representa un 17 % de la masa total del cacao seco (Rojo-Poveda *et al.*, 2020). La densidad del cacao se encuentra en un valor cercano a los 570 kg/m3 y el de la cascarilla es de 100 kg/m3 (Rojas *et al.*, 2022). Basado en la diferencia de densidades se implementa un diseño que usa el flujo forzado de aire generado por una turbina para separar la cascarilla de los nibs de cacao que se trituran levemente por un sistema mecánico.

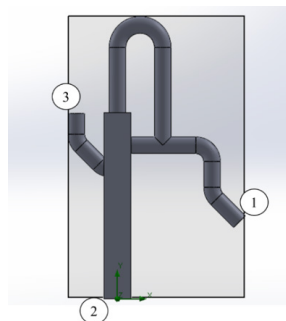


Figura 4. Sistema separador de nibs y cascarilla
Fuente: autores

Este sistema tiene tres puntos de gran importancia para su funcionamiento, el primero (1) es la succión en este se ubica el ventilador centrífugo encargado de generar el flujo de aire; el segundo es la salida de los nibs de cacao que por gravedad y diferencia de densidad caen separados de la cascarilla; y el tercero es la entrada de los nibs y la cascarilla que ingresan luego de ser triturados por un sistema mecánico.

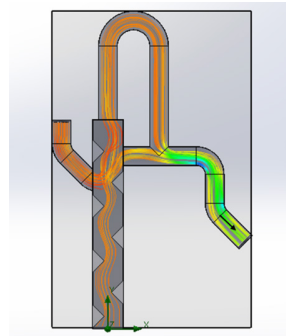


Figura 5. Flujo de aire dentro del sistema
Fuente: autores

En la figura 5 se pueden observar las condiciones del flujo de aire la dirección y el recorrido que realiza el mismo, para poder analizar su funcionalidad se realiza un estudio de partículas con el cual se aplican las características físicas de las partículas, como el tamaño y la densidad. El primer estudio aplicado se realiza para las condiciones de la cascarilla:

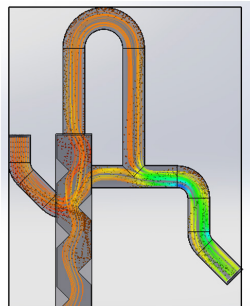


Figura 6. Estudio de partículas de cascarilla
Fuente: autores

Como se puede apreciar en la figura 6 las partículas de cascarilla no alcanzan a salir por la parte inferior del sistema y son arrastradas por el aire a la salida con succión generada por el ventilador centrífugo. Estas son las condiciones deseadas para el funcionamiento del sistema separador. El segundo estudio se enfoca en el análisis del comportamiento de las partículas de nibs de cacao:

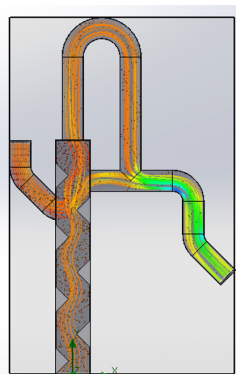


Figura 7. Estudio de partículas de nibs de cacao
Fuente: autores

Como se aprecia en la figura 7 en este caso la mayor parte de los nibs de cacao salen por la parte inferior del sistema y otro porcentaje cercano al 5 % son arrastrados por el aire y salen por la succión del ventilador centrífugo. En este sistema se identifica que hay un punto de equilibrio que se puede controlar mediante el caudal del aire, si se baja este llega un punto en el que la cascarilla llega a salir por la parte inferior y si se aumenta mucho la mayor cantidad de nibs son arrastrados por el aire, por lo tanto, es importante implementar un mecanismo de control de caudal del aire de succión.

Implementación del descascarillador

El sistema de que se implementa para la separación de los subproductos generados del cacao seco se muestra a continuación:

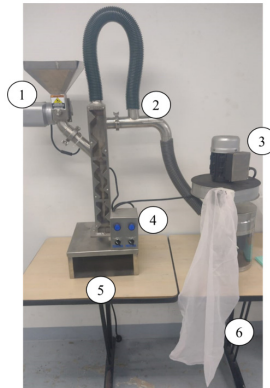


Figura 8. Sistema para descascarillado de cacao

Fuente: autores

Los componentes principales de este sistema son:

- Primero (1): mecanismo de trituración para las almendras de cacao tostado, este está compuesto por un motor, un conjunto de piñones para la transmisión de la energía mecánica y un rodillo con hendiduras para presionar y quebrar las almendras. Adicionalmente, cuando las almendras se quiebran los nibs y la cascarilla ingresan al sistema de separación.
- Segundo (2): mecanismo de control de caudal del aire, esta palanca simple permite posicionar una placa que obstruye el paso del aire para controlar el caudal en el interior del sistema.
- Tercero (3): Ventilador centrífugo, este elemento tiene la función principal de separar los subproductos debido al diferencial de su peso, arrastrando las cascarillas a una cámara de almacenamiento y dejando caer los nibs de cacao a una caja extraíble.
- Cuarto (4): el control eléctrico está compuesto por interruptores de posición con indicadores lumínicos que permiten iniciar los procesos de ventilación y trituración, cada uno de manera independiente.
- Quinto (5): Salida inferior de nibs de cacao, en esta cavidad se puede introducir una bandeja para dejar depositar el subproducto usado en la preparación de chocolatinas.
- Sexto (6): La bolsa de tela permite la redención de partículas de bajo tamaño que son expulsadas por el ventilador centrífugo y no se depositan en el almacén. Es importante el uso de esta bolsa porque estas mini partículas siguen siendo utilizables para el desarrollo de otros subproductos, adicionalmente de no usarse generarían una suciedad constante en el ambiente de operación.

Resultados

Las pruebas realizadas en el equipo separador de subproductos del cacao tostado se centraron en el análisis de la capacidad productiva del equipo, para esto se tostaron 4 kg de cacao y se encendió el equipo agregando progresivamente el producto en la tolva del mecanismo de trituración. el equipo en funcionamiento continuo tiene la capacidad de procesar hasta 0,07 kg/min o 4,2 kg/h.



Figura 9. Equipo descascarillador en funcionamiento

Fuente: autores

Con las pruebas establece que cerca del 10% del cacao es absorbido junto con las cascarillas y quedan en el tanque de almacenamiento de residuos por esta instancia es necesario que periódicamente se realice un proceso de selección de manual de nibs de cacao entre las cascarillas del tanque para recuperar materias primas de la chocolatería.

Conclusiones

Con la ejecución de este proyecto de investigación se obtiene un equipo funcional para la separación de subproductos del cacao tostado, el equipo funciona mediante un caudal de aire forzado que separa las partículas de cacao de la cascarilla debido a la diferencia en peso de estos dos.

El cacao es altamente utilizado por ser la materia prima principal de la industria chocolatera, pero la cascarilla representa un potencial importante para aplicar a diferentes tipos de industrias, como lo es la alimenticia tanto para personas como animales e incluso el campo energético y farmacéutico.

Referencias bibliográficas

- Balentic, J. P., Ackar, D., Jokic, S., Jozinovic, A., Babic, J., Milicevic, B., Subaric, D., & Pavlovic, N. (2018). Cocoa Shell : A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules, Figure 1*, 1-14. <https://doi.org/10.3390/molecules23061404>
- Braga, S. C. G. N., Oliveira, L. F., Hashimoto, J. C., Gama, M. R., Efraim, P., Poppi, R. J., & Augusto, F. (2018). Study of volatile profile in cocoa nibs, cocoa liquor and chocolate on production process using GC × GC-QMS. *Microchemical Journal*, 141(May), 353-361. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.05.042>
- Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vásquez, G., Siche, R., & Cardenas-Toro, F. P. (2019). Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01157>
- Domínguez-Pérez, L. A., Beltrán-Barrientos, L. M., González-Córdova, A. F., Hernández-Mendoza, A., & Vallejo-Cordoba, B. (2020). Artisanal cocoa bean fermentation: From cocoa bean proteins to bioactive peptides with potential health benefits. *Journal of Functional Foods*, 73(July), 104134. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104134>
- Guirlanda, C. P., da Silva, G. G., & Takahashi, J. A. (2021). Cocoa honey: Agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product? *Future Foods*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100061>
- Hernández-Hernández, C., Fernández-Cabanás, V. M., Rodríguez-Gutiérrez, G., Fernández-Prior, Á., & Morales-Sillero, A. (2022). Rapid screening of unground cocoa beans based on their content of bioactive compounds by NIR spectroscopy. *Food Control*, 131(February 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108347>
- Lippi, D. (2015). Sin and Pleasure: The History of Chocolate in Medicine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(45), 9936-9941. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00829>
- Mudenu, N. V. de R., de Camargo, A. C., de Alencar, S. M., Danielski, R., Shahidi, F., Madeira, T. B., Hirooka, E. Y., Spinosa, W. A., & Grossmann, M. V. E. (2021). Phenolics and alkaloids of raw cocoa nibs and husk: The role of soluble and insoluble-bound antioxidants. *Food Bioscience*, 42(March), 101085. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101085>
- Nogueira Soares Souza, F., Rocha Vieira, S., Leopoldina Lamounier Campidelli, M., Abadia Reis Rocha, R., Milani Avelar Rodrigues, L., Henrique Santos, P., de Deus Souza Carneiro, J., Maria de Carvalho Tavares, I., & Patrícia de Oliveira, C. (2022). Impact of using cocoa bean shell powder as a substitute for wheat flour on some of chocolate cake properties. *Food Chemistry*, 381(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132215>
- Rojas, M., Hommes, A., Heeres, H. J., & Chejne, F. (2022). Physicochemical Phenomena in the Roasting of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Engineering Reviews*, 509-533. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09301-z>
- Rojo-poveda, O., Barbosa-pereira, L., Zeppa, G., & Stevigny, C. (2020). Cocoa Bean Shell – A By-Product with Nutritional. *Nutrients*, 1-29.
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020). Cocoa Bean Shell—A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *In Nutrients* (Vol. 12, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/nu12041123>
- Soares, T. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2022). Cocoa By-Products : Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 23.
- Teneda Llerena, W. F., Guamán Guevara, M. D., & Oyaque Mora, S. M. (2019). Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) como infusión: caso Tungurahua-Ecuador*. *Cuadernos de Contabilidad*, 20(50), 1-14. <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.CC20-50.EICC>