

Capítulo IV

Prospectiva



El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema o equipamiento de apoyo a la investigación para observar y analizar parámetros eficientes en el proceso de secado de diversos productos agrícolas de la región. Inicialmente, se utilizaron dos productos característicos de la región, ampliamente estudiados, que permitieron establecer puntos de comparación del proceso implementado y de las técnicas utilizadas en los procesos de secado. Estas actividades se desarrollaron desde dos perspectivas principales: la primera, desde el uso de energía para cumplir con los requerimientos del proceso de secado; y la segunda, desde una perspectiva de calidad del producto seco a través de la cual se pretendió establecer puntos eficientes del proceso manteniendo la calidad nutricional de los productos desarrollados. Así, para el caso del secado de guayaba, el objetivo es mantener los contenidos de grados Brix, vitamina C y color, mientras que en el caso del secado del cacao el objetivo es conservar el perfil sensorial, los grados Brix y las grasas totales.

El sistema fue equipado con una serie de sensores y actuadores para controlar y automatizar el proceso de secado, además, se establecieron algoritmos de control y supervisión para análisis y reportes posteriores de los experimentos. El proceso de control está diseñado para mantener los parámetros de experimentación en relación con las características físicas del aire (temperatura, humedad, velocidad) y la exposición a la radiación infrarroja mediante el uso de lámparas cerámicas. Además, la cámara de experimentación monitoriza magnitudes físicas del producto como la temperatura de superficie (sensor infrarrojo de temperatura), color (sensor CCD) y peso de la muestra (módulo Siemens Siwarex). Estas variables están correlacionadas con las propiedades químicas y nutricionales del producto.

El proceso tradicional de secado mecánico fue abordado desde una perspectiva general para establecer parámetros físicos de calidad del aire manteniendo el seguimiento del peso de la muestra a lo largo del tiempo. En línea con esta tradición, el objetivo del presente proyecto fue mantener la calidad del producto como parámetro de control correlacionando los datos de calidad del producto y las variables de control. En este sentido, se busca que los avances tecnológicos en los procesos de secado de productos agrícolas incorporen las recomendaciones derivadas de estos instrumentos de apoyo a la investigación en el diseño de equipos para el proceso de secado. Esto implica que se mantenga como eje central de su estrategia la calidad nutricional del producto en lugar del balance de masa.

Referencias

- Abhay, S. M., Hii, C. L., Law, C. L., Suzannah, S., & Djaeni, M. (2016). Effect of hot-air drying temperature on the polyphenol content and the sensory properties of cocoa beans. *International Food Research Journal*, 23(4), 1479-1484.
- Aguilar, H. (2016). *Manual para la evaluación de la calidad del grano de cacao*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. http://www.fhia.org.hn/descargas/Proyecto_de_Cacao_SECO/Manual_para_la_Evaluacion_de_la_Calidad_del_Grano_de_Cacao.pdf
- Ahmed, N. A. (2013). *Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/3403>
- Alean, J., Chejne, F., & Rojano, B. (2016). Degradation of polyphenols during the cocoa drying process. *Journal of Food Engineering*, 189, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.026>
- Barbosa, H., Morales, A. L., Osorio, C., & Jiménez, A. (2010). Deshidratación de la guayaba, una opción para su aprovechamiento integral. En A. L. Morales, & L. M. Melgarejo (Eds.), *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (Psidium guajava L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva* (pp. 125-138). Universidad Nacional de Colombia.
- Carabalí Muñoz, A., Jaramillo Laverde, A., Correa Moreno, D. L., Ocampo Osorio, L. A., Prada Forero, L. E., Caicedo Arana, Á., Grajales Guzmán, L. C., Montes Prado, M., Carmen Carrillo, H., & Rodríguez Henao, E. (2017). *Corpoica Carmín 0328 y Corpoica Rosa C.: nuevas variedades de guayaba con alto rendimiento y calidad nutricional e industrial*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11554>
- Caré, I., Bonthoux, F., & Fontaine, J. R. (2014). Measurement of air flow in duct by velocity measurements. *EPJ Web of Conferences*, 77, 00010. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20147700010>
- Castro, D. S. D., Silva, W. P. D., Gomes, J. P., Aires, J. E. F., Aires, K. L. C. D. A. F., & Silva Junior, A. F. D. (2017). Desenvolvimento e avaliação sensorial de goiaba-passa desidratada osmoticamente. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(0). <https://doi.org/10.1590/1981-6723.1316>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, B. (Colombia). (2016). *PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología*

- e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12759>
- Dina, S. F., Ambarita, H., Napitupulu, F. H., & Kawai, H. (2015). Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans. *Case Studies in Thermal Engineering*, 5, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.11.003>
- Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, L. (2018). Deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón para la obtención de ingredientes funcionales. *Información Tecnológica*, 29(3), 197-204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300197>
- Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J. M., & Albors, A. M. (2016). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Universidad Politécnica de Valencia.
- García-Alamilla, P., Salgado-Cervantes, M., Barel, M., Berthomieu, G., Rodríguez-Jimenes, G., & García-Alvarado, M. (2007). Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. *Journal of Food Engineering*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.005>
- García-Cáceres, R. G., Perdomo, A., Ortiz, O., Beltrán, P., & López, K. (2014). Characterization of the supply and value chains of Colombian cocoa. *DYNA*, 81(187), 30-40. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.39555>
- Guerra, A. M. S., Osorio, D. C. V., Martínez, D. C. C., & Llanos, G. A. H. (2015). Comparación de dos técnicas de deshidratación de guayaba-pera (*Psidium guajava* L.) sobre los efectos del contenido de vitamina C y el comportamiento de las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 11-20.
- Hauer, A. (2016). Energy Performance Comparison of Fans with Variable Speed Drives. *ASHRAE Journal*, 58(11), 52-59.
- Hii, C., Abdul Rahman, R., Jinap, S., & Man, Y. (2006). Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1237-1243. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2475>
- Hincapié Llanos, G. A., Barajas Gamboa, J. A., & Arias Gómez, Z. (2011). Evaluación del secado por convección de la guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad manzana. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 5(2), 92-103. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7050>
- Hui, Y. H. (2008). *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*. DEStech Publications, Inc.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2021). *Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad* (Normas Técnica Colombiana [NTC] 1252:2021).
- International Commission of Agricultural Engineering. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering*. American Society of Agricultural Engineers.
- Jaimes Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*

- en el departamento de Santander. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>
- Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Nowacka, M. (2021). Comparison of different drying techniques and their carbon emissions in green peas. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 160, 108274. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108274>
- Kemp, I. C., Fyhr, B. C., Laurent, S., Roques, M. A., Groenewold, C. E., Tsotsas, E., Sereno, A. A., Bonazzi, C. B., Bimbenet, J. J., & Kind, M. (2001). Methods for Processing Experimental Drying Kinetics Data. *Drying Technology*, 19(1), 15-34. <https://doi.org/10.1081/DRT-100001350>
- Lin, Y.-P., Tsen, J.-H., & King, V. A.-E. (2005). Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.037>
- López Cerino, I., & Chávez García, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 21, 4395-4405. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1528>
- Maroto, S., Montoya Rodríguez, P., González León, D., Delgado, T., Arvelo Sánchez, M. Á., & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press.
- Ndukwu, M. C. (2009). Effect of Drying Temperature and Drying Air Velocity on the Drying Rate and Drying Constant of Cocoa Bean. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 11(2009), 1-7. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1091/1172>
- Ocampo, L. A., Céspedes, N., Jiménez, E., & Carrillo, H. C. (2011). Clones y variedades promisorias de guayaba (*Psidium guajava* L.) en fase de establecimiento. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1230>
- Orna Chávez, J. E., Chuquín, N., Saquina, L., & Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159-174. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.185>
- Ortiz de Bertorelli, L., Graziani de Fariñas, L., & Rovedas, L. G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Tropical*, 59(2), 119-127.
- Parra Coronado, A. (2015). Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 314. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3223>

- Parra Rosero, P. (2018). *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente* [Tesis de doctorado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3488>
- Pérez, M., & Contreras, J. (2017). *Instructivo para el control de calidad de granos de cacao*. Fundación Suiza para la Cooperación Técnica.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2002). *Perry: manual del ingeniero químico* (Vol. 4). McGraw Hill.
- Red Cacaotera (2023). *Protocolos para procesos de cosecha y poscosecha. Secado del grano de cacao*. <https://www.redcacaotera.com.co/protocolos-para-procesos-de-cosecha-y-poscosecha/>
- Ramos, N., Castro, A., Juárez, J., Acha de la Cruz, O., Rodríguez, N., Blancas, J., Escudero, J., & Navarro, A. (2016). Evaluación de ocratoxina a en *Theobroma cacao* L. «cacao blanco» durante el proceso de cosecha, fermentado, secado y almacenado. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(4), 431-439.
- Solarte, M., Hernández, M., Morales, A. L., Fernández-Trujillo, J. P., & Melgarejo, L. M. (2010). *Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración*. En A. L. Morales, & L. M. Melgarejo (Eds.), *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (Psidium guajava L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva* (pp. 85-120). Universidad Nacional de Colombia.
- Srikiatden, J., & Roberts, J. S. (2007). Moisture Transfer in Solid Food Materials: A Review of Mechanisms, Models, and Measurements. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 739-777. <https://doi.org/10.1080/10942910601161672>
- Wang, S. K. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. McGraw-Hill.

Anexo

Registro fotográfico de la unidad experimental en el Área de Energías Renovables Agroindustriales del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA (Rionegro, Santander).



Autoría

Ariel René Carreño Olejua

correo: acarreno@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8818-565X>

Investigador PhD asociado de AGROSAVIA. Ingeniero mecánico de la Universidad Industrial de Santander, posgrado en Mecatrónica en la Universidad de St. Gallen (Suiza), MSc en Mecatrónica de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Konstanz (Alemania) y doctorado en Ciencias de la Agricultura de la Universidad de Kassel (Alemania). Ha sido profesor e investigador en campos de la ingeniería como automatización y control de máquinas y procesos. Su experiencia y líneas de trabajo se enfocan en la investigación aplicada a procesos agroindustriales, el diseño de máquinas y procesos para la manipulación, transformación y conservación de productos agrícolas, automatización de máquinas y procesos industriales y agroindustriales, y uso de energía renovable fotovoltaica y térmica como soporte energético de los sistemas. Su interés se centra en el aporte que, desde las áreas del conocimiento en la que ha desarrollado su experticia, pueda contribuir al desarrollo de procesos y equipamiento agrícola para pequeña escala y de economía familiar y comunitaria, que permita el aseguramiento de calidad y trazabilidad de procesos agroindustriales en pro de su competitividad y productividad, así como el mejoramiento de condiciones de vida de pequeños productores.

Javier Mauricio Castellanos Olarte

Correo: jmcastellanos@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2187-7798>

Ingeniero mecánico de la Universidad Industrial de Santander y magíster en Ciencias Térmicas y Energía de la Escuela Central de Lyon. Ha sido profesor e investigador en el campo de las máquinas térmicas alternativas, procesos de secado de productos agroindustriales y desarrollo de herramientas agrícolas. Actualmente es candidato a doctor en Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander y docente de pregrado de la misma institución.

Lucero Gertrudis Rodríguez Silva

Correo: lgrodriguez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9454-7821>

Investigador Master de AGROSAVIA. Profesional agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y magíster en Biotecnología Alimentaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) de Bucaramanga. Juez experto en análisis sensorial de alimentos con énfasis en licor de cacao, con participación en el panel colombiano de jueces en productos de chocolatería y licor de cacao, lo que le ha permitido evaluar muestras en concursos nacionales e internacionales. Líder y formadora del panel sensorial del Centro de Investigación La Suiza, analista de variables morfológicas, físicas, químicas y sensoriales de materiales genéticos de cacao, incorporación de procesos y técnicas de laboratorio en función de métodos de caracterización, cosecha, poscosecha, así como procesos agroindustriales acorde a los estándares de calidad internacional. Actualmente se desempeña desarrollando actividades de conservación del banco de germoplasma vegetal de las especies cacao y caña, caracterización morfológica, física, química y organoléptica de genotipos de cacao e implementación de estrategias y desarrollo de equipamiento para procesos de poscosecha y agroindustria en cacao.

Fabricio Eulalio Leite Carvalho

Correo: fcarvalho@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7815-0082>

Investigador PhD Asociado de AGROSAVIA. Biólogo de la Universidad Federal de Ceará (UFC, Brasil), magíster y doctorado en Bioquímica Vegetal de la misma institución, con énfasis en Fisiología Vegetal, y con un periodo de pasantía en la Queen Mary University of London. Fue investigador postdoctoral durante cuatro años en el Departamento de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas de la UFC y profesor externo invitado, impartiendo las clases de Fisiología Vegetal, Biología Molecular y Mecanismos Integrados para la Eficiencia de la Fotosíntesis. Actualmente es investigador PhD del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA. Tiene experiencia de investigación relacionada con respuestas de plantas cultivadas a estreses abióticos, mecanismos de regulación de la eficiencia fotosintética, metabolismo de especies reactivas de oxígeno en plantas, metabolismo vegetal del nitrógeno y procesos de interacción entre estreses bióticos y abióticos. Actualmente es miembro del consejo editorial de las revistas *Environmental and Experimental Botany* (2019-), *Archives of Agronomy and Soil Science* (2017-), *Frontiers in Plant Science* (2020-) y *Biotech Studies* (2020-).

Leidy Yibeth Deantonio Florido

Correo: ldeantonio@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8520-1340>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia y MSc en Fisiología Vegetal de la Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Investigadora Máster de la sede Cimpa adscrita al Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Ha participado y liderado proyectos de investigación y transferencia de tecnología en temas relacionados con zonificación de riesgos agroclimáticos en los sistemas agrícolas de Colombia, y optimización de la producción de semilla seleccionada para caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) destinada a panela y al fortalecimiento de sus organizaciones de productores. Lidera los estudios ecofisiológicos sobre la interacción de los agentes bióticos y abióticos con los cultivares regionales de guayaba roja y blanca (*Psidium guajava* L.) en Santander y Boyacá (Colombia). Actualmente apoya los enfoques de bioeconomía (energías renovables), agricultura climáticamente inteligente y crecimiento verde desde el Grupo de Investigación en Frutas del Trópico.