

Capítulo 8.

Perspectivas del mejoramiento genético en el futuro de la producción de la yuca en Colombia

Xiaofei Zhang, Rommel Igor León Pacheco, Elvia Amparo Rosero Alpala

Perspectivas en el futuro para el desarrollo de nuevas variedades de yuca

A pesar de los esfuerzos realizados en el proceso de mejoramiento genético y de la vinculación de variedades mejoradas de yuca, los cultivares que se siembran en el país siguen siendo los mismos que históricamente se han usado en Colombia, principalmente por la falta de conocimiento y de experiencia en el manejo de nuevos cultivares industriales, la falta de semilla de calidad que abastezca la producción sostenible en el tiempo y, en el caso de las yucas para el consumo en fresco, por la falta de una estrategia de mercado que permita dar a conocer las bondades y calidad de estos materiales, así como por la existencia de un acervo gastronómico y una resistencia muy fuerte por parte de los consumidores para usar nuevos genotipos.

Por lo anterior, en el país los esfuerzos están encaminados al desarrollo de variedades mejoradas en los tipos de mercados, los cuales dan sustento a tres grandes objetivos del programa de mejoramiento genético de la yuca en Colombia, descritos a continuación:

Desarrollo y obtención de material genético con alto contenido de materia seca y/o almidones especiales para uso industrial con adaptación a las regiones Caribe, Orinoquía, Pacífico y Andina

Para esto, se tiene previsto, en el futuro, la identificación de genotipos promisorios con fines industriales en regiones donde la yuca es cultivada con el propósito de obtener almidón nativo y/o fermentado y especiales, como los *waxy* (libre de amilosa), los cuales se espera trabajar en la región Caribe, incluyendo localidades de Caribe seco y húmedo, departamentos de Cesar, La Guajira, Magdalena, Córdoba, Sucre, Bolívar y Atlántico; mientras que para el Pacífico se incluirán los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, zona intermedia, incluyendo la zona alta del departamento del Cauca, y para la Orinoquía, los departamentos de Casanare, Arauca y Meta.

La perspectiva futura es seleccionar, de las colecciones del germoplasma, genotipos promisorios para desarrollar cultivares con almidones *waxy*. La primera variedad *waxy* fue desarrollada en Tailandia, en el 2013 (Rojanaridpiched et al., 2020), y en Colombia el primer proceso comercial ocurrió en el 2019 (Ceballos et al., 2021).

Desarrollo y obtención de material genético con alto contenido de β -caroteno para el desarrollo de variedades biofortificadas con adaptación a las regiones Caribe, Andina y Pacífico

La identificación de genotipos promisorios con alto contenido de β -caroteno será realizada en regiones donde la yuca es cultivada con el propósito de consumo fresco o transformado, la cual incluirá las mismas regiones que producirán yucas industriales.

Los programas están enfocados básicamente en identificar materiales con provitamina A, y su progreso ha sido rápido por la fácil heredabilidad de esta variable (Ceballos et al., 2013), por lo cual cuenta con ciclos simples y rápidos de selección (Ortiz *et al.*, 2011) y una eficiente estrategia de fenotipado, basados en espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) (Belalcázar et al., 2016).

Desarrollo y obtención de material genético apto para consumo fresco y/o alimentación animal con adaptación a las regiones Caribe, Orinoquía, Pacífico y Andina

En esta actividad se tiene prevista la identificación de genotipos promisorios con bajo contenido de ácido cianhídrico (HCN), aptos para consumo fresco y/o alimentación animal, la cual será realizada en regiones donde la yuca es cultivada principalmente con dicho propósito, e incluirá las mismas regiones que producirán yucas industriales.

El desarrollo de estas variedades es más complejo que para uso industrial, debido a las preferencias de los consumidores (los mercados locales y tradicionales tienden a resistir los cambios, y estos son difíciles de convertir en indicadores medibles en los programas de mejoramiento genético) (Valle, 2021), además, hay poco entendimiento de sus bases genéticas y bioquímicas y la fuerte interacción entre el genotipo y el ambiente (el país tiene una alta diversidad geográfica y climática, con fuertes cambios en la aparición de plagas y enfermedades, lo que permite evaluar en diferentes ambientes e identificar sitios homólogos de otras partes del mundo) (Hyman, 2020). Por otra parte, debido a los problemas por el precio en Colombia, los esfuerzos se podrán enfocar para cultivares de doble propósito (consumo fresco e industrial) (Ceballos et al., 2021).

Se espera contar en el futuro con cultivares con rendimiento mayor a 10 t/ha para el consumo en fresco, con calidad biofortificada, y raíces con contenido de materia seca mayor al 30% y características especiales, tanto nativas como fermentadas, con adaptación a las regiones productoras más importantes del país. Adicionalmente, se espera tener un sistema de

producción de semilla de alta calidad y sostenible, que permita a los productores del país contar con material vegetal de los cultivares liberados.

Por lo anterior, se espera que en el futuro la investigación en Colombia para el cultivo de yuca tenga los enfoques y las herramientas modernas que se revisan enseguida, de manera que se pueda avanzar rápidamente en los programas de mejoramiento genético.

Enfoques y herramientas modernas para los futuros programas de mejoramiento genético de yuca para Colombia

Cambio climático

Las lluvias erráticas del país son la consecuencia más común del cambio climático, las cuales han sido observadas principalmente en los ambientes subhúmedos de Colombia, por lo cual los esfuerzos se están enfocando en materia seca y almidones estables en el tiempo, con el objetivo de tener producción de almidón en épocas donde el precio es diferencial (Ceballos et al., 2021). A pesar de que el cultivo ya es tolerante a la sequía, es necesario seleccionar variedades con estabilidad en el rendimiento y promisorias por su resistencia a esta (Okogbenin et al., 2014).

Otro aspecto importante relacionado con el cambio climático podría ser el incremento de la concentración de CO₂ atmosférico como parte de las causas del calentamiento global, por el que se esperan riesgos importantes para el 2050, por esta razón se podría plantear una estrategia de evaluar en campo cultivares de yuca usando *sets* de CO₂ a través de *free air concentration enhancement* (FACE) y asimismo conducir experimentos en regiones con altas temperaturas (Ruiz-Vera et al., 2020), ya que la combinación de ambas variables provocan desordenes fisiológicos en los cultivos.

Genotipado y predicción genómica para acelerar la ganancia genética

La ganancia genética en el rendimiento de materia seca en el cultivo de yuca alcanzó para África, Tailandia y Colombia 1,2%, 1,06% y 0,13%, respectivamente. Asimismo, los rápidos incrementos de carotenoides con aumentos anuales de 2,06 µg/mg, con ganancias hasta de 12%, indican la fácil heredabilidad de esta variable (Ceballos et al., 2013), mientras que usar introgresión de genes recesivos de *waxy* a cultivares comerciales ha sido una estrategia para obtener cultivares con esta calidad de almidón.

Con la alta densidad de marcadores del genoma, combinada con herramientas estadísticas, se han tenido mejoras en los programas de mejoramiento genético por la vía convencional, a través de la validación de selección asistida con marcadores moleculares y predicción genómica (Rabbi et al., 2020), pero también en la caracterización, manejo de la varianza genética (Wang et al., 2016), así como en el uso de la asociación del mapeo para identificar más fácilmente locus de rasgo cuantitativo (QTL) en las poblaciones mejoradas (Ceballos et al., 2021).

En el futuro se espera usar la predicción genómica con el objetivo de obtener variedades con alto y estable contenido de materia seca más rápidamente, ya que con estas herramientas se pueden reducir los ciclos de selección en al menos dos años, comparado con los programas de mejoramiento convencional (Fernandez-Pozo et al., 2015). Los avances de los clones basados en el valor genético (aditividad) podrían encontrar esas combinaciones que incluyen los efectos de dominancia y epistáticos (Ceballos et al., 2021).

Herramientas y tecnologías disponibles en los programas de mejoramiento genético

Actualmente el uso de cultivares con tolerancia a herbicidas, propiedades funcionales, inducción de haploides y otros podrían ser seleccionados a través herramientas moleculares de tamizado, tales como Eco-Tilling (Kumar et al., 2017).

Otras estrategias importantes podrían ser el uso de NIR en raíces frescas para cuantificar el contenido de carotenoides (Alamu et al., 2021); las técnicas de aeroponía son una opción rápida para el *screening* de raíces en diferentes cultivares (Selvaraj et al., 2019), y la evaluación remota vía drones para analizar el crecimiento de los progenitores podría acelerar la selección de materiales genéticos promisorios (Selvaraj et al., 2020).

Producción de semilla para los programas de mejoramiento genético de yuca

Cada plántula F₁ es genéticamente distinta, y se requieren años para producir suficientes esquejes de tallo para las pruebas en múltiples ubicaciones (la tasa de multiplicación en la yuca puede variar ampliamente, pero es de aproximadamente 1:10 en promedio).

Adicional a lo anterior es el gran desafío de los programas de mejoramiento genético de yuca en comparación con empresas privadas productoras de semillas, ya que el cultivo de yuca carece de sistemas eficientes para producir y distribuir material vegetal de siembra con calidad de las nuevas variedades. Esto retrasa la adopción de nuevos cultivares a nivel del agricultor, independientemente de su mérito genético. Si bien los sistemas de propagación rápida han estado disponibles y continuamente han mejorado durante muchos años, los sistemas prácticos y comerciales han sido casi inexistentes. Hay esfuerzos en curso, apoyados principalmente por la Fundación Bill y Melinda Gates en África occidental, para desarrollar enfoques de multiplicación rápida para producir materiales de plantación libres de enfermedades, pero en el futuro uno de los objetivos de estos sistemas es hacerlos sostenibles con empresas con fines de lucro.

Conclusiones generales

La importancia del cultivo de la yuca a nivel nacional está representada por las áreas de producción, que abarcan todo el territorio nacional, y por la diversidad de segmentos comerciales, que generan ingresos y desarrollo socioeconómico en diferentes regiones del país. Es de resaltar la importancia de este cultivo en la seguridad alimentaria de un alto porcentaje de la población en Colombia, razón por la cual los esfuerzos en incrementar su calidad nutricional esperan verse reflejados pronto en variedades comerciales.

La cobertura que ha tenido los procesos de mejoramiento ha aportado con el desarrollo y liberación de nuevas variedades mejoradas y adaptadas a las principales regiones productoras de yuca. Es así como los procesos de evaluación y selección realizados en experimentos multilocales y basados en la expresión simultánea de características de interés han permitido desarrollar perfiles que, en ciertos casos, han respondido a las expectativas de productores y usuarios finales.

La tendencia a futuro permitirá continuar generando variedades diseñadas para enfrentar los desafíos vigentes relacionados con los retos ambientales y perfiles cada vez más competitivos a nivel comercial.

Este documento busca promover el conocimiento relacionado con los procesos de mejoramiento, buscando mostrar el esfuerzo interinstitucional en el desarrollo de variedades mejoradas y dejar al acceso del público las características de las variedades liberadas que pueden ser potencialmente introducidas en los sistemas de producción yuqueros de Colombia.

Referencias

- Aguilera, M. (2012). *La yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial*. Banco de la República. https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_158.pdf
- Aiemnaka, P. A., Wongkaew, J., Chanthaworn, S. K., Nagashima, S., Boonma, J., Authapun, S., Jenweerawat, S., Kongsila, P., Kittipadakul, P., Nakasathien, S., Sreewongchai, T., Wannarat, W., Vichukit, V., Becerra López-Lavalle, L., Ceballos, H., Rojanaridpiched, Ch., & Phumichai, Ch. (2012). Molecular characterization of a spontaneous waxy starch mutation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Science*, 52(5), 2121-2130. doi: 10.2135/cropsci2012.01.0058
- Alamu, E. O., Nuwamanya, E., Cornet, D., Meghar, K., Adesokan, M., Tran, T., Belalcázar, J., Desfontaines, L., & Davrieux, F. (2021). Near-infrared spectroscopy applications for high-throughput phenotyping for cassava and yam: A review. *International Journal of Food Science + Technology*, 56(3), 1491-1501. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14773>
- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implicaciones de las interacciones genotipo-ambientales en el fitomejoramiento aplicado. *Crop Science*, 4, 503-508.
- Allem, A. (1994). The origin of *Manihot esculenta* Crantz (*Euphorbiaceae*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 41(3), 133-150. <https://doi.org/10.1007/BF00051630>
- Álvarez, E., Bellotti, A. C., Calvert, L. A., Arias, B., Cadavid, L. F., Pineda, B., Llano, G., & Cuervo, M. (2002). *Guía práctica para el manejo de las enfermedades, las plagas y las deficiencias nutricionales de la yuca*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Consortio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca.
- Alzate, A. M., Vallejo Cabrera, F. A., Ceballos Lascano, H., Pérez, J. C., & Fregene, M. (2010). Variabilidad genética de la yuca cultivada por pequeños agricultores de la región Caribe de Colombia. *Acta Agronómica*, 59(4), 385-393. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/20120/o

- Barros, M. A., Rocha, M. M., Gomes, R. L. F., Silva, K. J. D., & Neves, A. C. (2013). Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semi-prostrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(4), 403-410. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400008>
- Belalcázar, J., Dufour, D., Andersson, M. S., Pizarro, J. L., Londoño, L., Morante, N., Jaramillo, M. A., Pino, L., López-Lavalle, L. A., Davrieux, F., Talsma, E. F., & Ceballos, H. (2016). High-throughput phenotyping and improvement in breeding cassava for increased carotenoids in the roots. *Crop Science*, 56(6), 2916-2925. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/77289>
- Boakye, P. B., Kwadwo, O., Isaac, A., & Parkes, A. Y. (2013). Performance of nine cassava (*Manihot esculenta* Crantz) clones across three environments. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(4): 48-53. <https://doi.org/10.5897/JPBCS12.027>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111-116. <https://www.nature.com/articles/nclimate2100>
- Ceballos, H. F., Calle, J., Gómez N., G. E., Navas, R. D., Aristizábal, Q., & Garzón, V. (2000). *Recomendaciones de producción y uso del cultivo de la yuca (Manihot esculenta) en los Llanos Orientales*. Corpoica/CIAT.
- Ceballos, H., & Hershey, C. (2016, 18-22 de enero). Road map for cassava genetic improvement. En *Proceedings of the World Congress on Root and Tuber Crops and Third Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st Century*. <https://gcp21.org/wcrtc.html>.
- Ceballos, H., Hershey, C., Iglesias, C., & Zhang, X. (2021). Fifty years of a public cassava breeding program: Evolution of breeding objectives, methods, and decision-making processes. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 2335-2353. doi.org/10.1007/s00122-021-03852-9
- Ceballos, H., Iglesias, C., Calle, F., Navas, G., Aristizábal, D., & Gaitán, W. (2000). *Corpoica "Reina": variedad de yuca para el Piedemonte Llanero* [Plegable divulgativo n.º 18]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17896>

- Ceballos, H., Morante, N., Sánchez, T., Ortiz, D., Aragón, I., Chávez, A. L., Pizarro, M., Calle, F., & Dufour, D. (2013). Rapid cycling recurrent selection for increased carotenoids content in cassava roots. *Crop Science*, 53(6), 2342-2351. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.02.0123>
- Ceballos, H., Pérez, J. C., Joaqui Barandica, O., Lenis, J. I., Morante, N., Calle, F., Pino, L., & Hershey, C. H. (2016). Cassava breeding I: The value of breeding value. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1227. doi: 10.3389/fpls.2016.01227
- Ceballos, H., Ramírez, J., Bellotti, A. C., Jarvis, A., & Álvarez, E. (2011). Adaptation of cassava to changing climates. En S. Yadav, B. Redden, J. L. Hatfield, & H. Lotze-Campen (Eds.), *Crop adaptation to climate change* (pp. 411-425). Wiley-Blackwell.
- Ceballos, H., Rojanaridpiched, C., Phumichai, C., Kittipadakul, P., Iglesias, C., & Gracen, V. E. (2020). Excellence in cassava breeding: Perspectives for the future. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(2). doi.org/10.20900/cbgg20200008
- David, N., Münnich, M., Su, H., Meyerson, J. E., & Holloway, C. E. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 103(16), 6110-6115. doi: 10.1073/pnas.0601798103
- Davrieux, F., Dufour, D., Dardenne, P., Belalcázar, J., Pizarro, M., Luna, J., Londoño, L., Jaramillo, A., Sanchez, T., Morante, N., Calle, F., Becerra, L., & Ceballos, H. (2016). LOCAL regression algorithm improves near infrared spectroscopy predictions when the target constituent evolves in breeding populations. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 24(2), 109-117. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1255/jnirs.1213>
- De La Torre, J., & Hershey, C. (1991). *ICA-Costeña: nueva variedad de yuca de alta producción para la Costa Atlántica* [Plegable divulgativo n.º 232]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/30197>
- Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. (2021). *Cadena productiva de la yuca*. Minagricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf>
- Dufour, D., Rolland-Sabaté, A., Mina Cordoba, H., Luna Melendez, J. L., Moreno Alzate, J. L., Pizarro, M., Guilois Dubois, S., Sánchez, T., Belalcázar, J. E., Morante, N., Tran, T., Moreno-Santander, M., Vélez-Hernández, G., & Ceballos, H. (2022). Native and fermented waxy cassava starch as a novel

- gluten-free, and clean label ingredient for baking and expanded product development. *Food & Function*, 13, 9254-9267. doi: 10.1039/d2f000048b
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011X>
- Essers, S. A. J. A., Bosveld, M., Van der Grift, R. M., & Voragen, A. G. J. (1993). Studies on the quantification of specific cyanogens in cassava products and introduction of a new chromogen. *Journal of the Science on Food and Agriculture*, 63(3), 287-296. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740630305>
- Fernandez-Pozo, N., Menda, N., Edwards, J. D., Saha, S., Teclé, I. Y., Strickler, S. R., Bombarely, A., Fisher-York, T., Pujar, A., Foerster, H., Yan, A., & Mueller, L. A. (2015). The sol genomics network (SGN): From genotype to phenotype to breeding. *Nucleic Acids Research*, 43(D1), D1036-D1041. <https://doi.org/10.1093/nar/gku1195>
- Floro, V. O., Labarta, R. A., Becerra López-Lavalle, L. A., Martínez, J. M., & Ovalle, T. M. (2018). Household determinants of the adoption of improved cassava varieties using DNA fingerprinting to identify varieties in farmer fields: A case study in Colombia. *Journal of Agricultural Economics*, 69, 518-536. <https://doi.org/10.7910/DVN/6PXEXQ>
- Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). Análisis de AMMI de ensayos de rendimiento. En M. S. Kang, & H. G. Gauch (Eds.), *Genotipo por interacción de ambiente* (pp. 85-122). Prensa CRC.
- Gómez, P., Losada, J., & Toro, J. (1986). *Maniohica P-13: una variedad mejorada de yuca de alto rendimiento* [Boletín divulgativo n.º 78]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/14875>
- Gonçalves, J. G. R., Chiorato, A. F., Morais, L. K., Perina, E. F., Farias, F. L., & Carbonell, S. A. M. (2010). Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 922-931. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400018>
- Gottret, M. V., Escobar, Z., & Pérez, S. (2002). El sector yuquero en Colombia: desarrollo y competitividad. En B. Ospina, & H. Ceballos (Eds.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 340-376). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37152>

- Hyman, G. G. (2020). Edapho-climatic-map-of-cassava-CIAT-2003.jpg. *Global Climate Regions for Cassava*. <https://doi.org/10.7910/DVN/WFAMUM/oOVLW9>
- International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). (2002). *General introduction to the examination of distinctiveness, uniformity and stability and the development of harmonised descriptions of new varieties of plants*. https://www.upov.int/export/sites/upov/publications/en/tg_rom/pdf/tg_1_3.pdf
- Jennings, D. L., & Iglesias, C. (2002). Breeding for crop improvement. En R. J. Hilllocks, J. M. Thresh, & A. C. Bellotti (Eds.), *Cassava: Biology, production and utilization* (pp. 149-166). CAB International.
- Kawano, K. (2003). Thirty years of cassava breeding for productivity: Biological and social factors for success. *Crop Science*, 43(4), 1325-1335. doi: 10.2135/cropsci2003.1325
- Kawano, K., Narintaraporn, K., Narintaraporn, P., Sarakarn, S., Limsila, A., Limsila, J., Suparhan, D., Sarawat, V., & Watananonta, W. (1998). Yield improvement in a multistage breeding program for cassava. *Crop Science*, 38(2), 325-332. doi: 10.2135/cropsci1998.0011183X003800020007X
- Kayondo, S. I., Pino del Carpio, D., Lozano, R., Ozimati, A., Wolfe, M., Baguma, Y., Gracen, V., Offei, S., Ferguson, M., Kawuki, R., & Jannink, J. L. (2018). Genome-wide association mapping and genomic prediction for CBS1 resistance in *Manihot esculenta*. *Scientific Reports*, 8(1), 1549. doi: 10.1038/s41598-018-19696-1
- Kumar, A. P. K., McKeown, P. C., Boualem, A., Ryder, P., Brychkova, G., Bendahmane, A., Sarkar, A., Chatterjee, M., & Spillane, Ch. (2017). Tilling by Sequencing (TbS) for targeted genome mutagenesis in crops. *Molecular Breeding*, 37(14). <https://doi.org/10.1007/s11032-017-0620-1>
- Kvitschal, M. V., Vidigal, P. S., Scapim, C. A., Gonçalves, M. C., Pequeno, M. G., Sagrilo, E., & Rimoldi, F. (2006). Evaluation of phenotypic stability of cassava clones by AMMI analysis in northwestern Paraná state. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6, 236-241.
- Lahai, M. T., Ekanayake, I. J., & Koroma, J. P. C. (2013). Influence of canopy structure on yield of cassava cultivars at various toposequences of an inland valley agro ecosystem. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 5(3), 36-47.

- Legiscomex. (2023). *Fécula de mandioca. Módulo de estadísticas de comercio exterior*. https://www.legiscomex.com/landing/estadisticas_de_comercio_exterior#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20Estad%C3%ADsticas%20permite,en%20el%20exterior%2C%20sus%20clientes.
- Lin, C., & Binns, M. (1988). A method for analyzing cultivar \times location \times year experiments: A new stability parameter. *Theoretical Applied Genetics*, 76(3), 425-430. doi: 10.1007/BF00265344
- López Montes, A. J., Hershey, C. H., Iglesias, C. A., & Hernández R., L. A. (1993). *ICA-Negrita, nueva variedad de yuca para la región Caribe* [Plegable divulgativo n.º 262]. ICA.
- López Montes, A. J., Jaramillo Mendoza, M., Panza Tapia, B. D., Mendoza Arroyo, E., Delgado, R., Ceballos, H., Pérez, J. C., Hernández Romero, L. A., Lenin, J. I., Calle, F., Ortega, E., Iglesias, C., Morante, N. & Ramírez, J. (2004). *Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la región Caribe colombiana* [Plegable divulgativo]. Corpoica/Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural/CIAT/Clayuca
- López, A., Jaramillo, M., & Hernández, L. (2000a). *Corpoica-Colombiana variedad de yuca para uso industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe colombiana* [Plegable divulgativo n.º 01]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17868>
- López, A., Jaramillo, M., & Hernández, L. (2000b). *Corpoica Sucreña: variedad de yuca para uso industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe colombiana* [Plegable divulgativo n.º 2]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17916>
- López, J. A., & Jaramillo, M. (2000a). *Corpoica-Caribeña: variedad de yuca para consumo fresco e industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe colombiana* [Plegable promocional n.º 3]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17867>
- López, J. A., & Jaramillo, M. (2000b). *Corpoica-Rojita: variedad de yuca para consumo fresco e industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe colombiana* [Plegable promocional n.º 4]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17894>

- López, J., Jaramillo, M. F., Panza, B. D., Mendoza, E., Delgado, R., Ceballos, H., Perez, J. C., Hernández, L. A., Lenis, J. I., Calle, F., Ortega, E., Iglesias, C., Morante, N., & Ramírez, J. (2004). *Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la región Caribe colombiana: Corpoica-Caiseli, Corpoica-Orense, Corpoica-Tai, Corpoica-Verónica, Corpoica Ginés*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2120>
- Magoon, M. L., Krishnan, R., & Bai, K. V. (1969). Morphology of the pachytene chromosomes and meiosis in *Manihot esculenta* Crantz. *Cytologia*, 34, 612-626.
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2007). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, (27), 56-62. <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/280>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017). *Estudio del sector de tubérculos (yuca, ñame y batata)*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S2821-ESTUDIO%20DEL%20SECTOR%20DE%20TUBERCULOS%20actividad%207-8.pdf>
- Morais, L. K., Moura, M. F., Vencovsky, R. V., & Pinheiro, J. B. (2008). Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja avaliada pelo method of Toler. *Bragantia*, 67, 275-284.
- Nassar, N. M. A., & Ortiz, R. (2008). Cassava genetic resources: Manipulation for crop improvement. *Plant Breeding Reviews*, 31, 247-275. doi:10.1002/9780470593783.ch5
- Okechukwu, R. U., Akoroda, M. O., Ogbe, F., & Dixon, A. G. O. (2014). Analytical steps to a multi-trait selection index for rapid participatory appraisal of cassava varieties for release to farmers. *African Journal of Root and Tuber Crops*, 8(1), 31-50.
- Okogbenin, E., Setter, T. L., & Ferguson, M. (2014). Phenotyping cassava for adaptation to drought. En P. Monneveux, & J. M. Ribaut. (Eds.), *Drought phenotyping in crops: From theory to practice* (pp. 395-410). CGIAR Generation Challenge Programme.
- Okpara, D. A., Mbah, E. U., & Chukwu, E. I. (2014). Assessment of growth and yield of some high and low cyanide cassava genotypes in acid ultisols of south Eastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 13(5), 651-656. doi: 10.5897/AJB2013.13200

- Oliveira, E. J., Freitas, J. P. X., & Jesus, O. N. (2014). AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. *Scientia Agricola*, 71(2), 139-145. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200008>
- Oliveira, E. J., Santana, F. A., Oliveira, L. A., & Santos, V. S. (2014). Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. *Genetics and Molecular Research*, 13(3), 6683-6700. doi: 10.4238/2014.August.28.13
- Ortiz, D., Sanchez, T., Morante, N., Ceballos, H., Pachon, H., Duque, M., Chavez, A. L., & Escobar, A. F. (2011). Sampling estrategias for proper quantification of carotenoid content in cassava breeding. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(1), 14-33.
- Pastrana, F., Alviz, H., & Salcedo, J. (2014). Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta Agronómica*, 64(1), 43935. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.43935>
- Peprah, B. B., Parkes, E., Manu-Aduening, J., Kulakow, P., Van Biljon, A., & Labuschagne, M. (2020). Genetic variability, stability and heritability for quality and yield characteristics in provitamin A cassava varieties. *Euphytica*, 216(31). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2562-7>
- Pérez, D., Mora, R. E., Angulo, E. R., & López, C. E. (2022). Conocimiento local de las variedades de yuca en Montes de María, Colombia: primer paso para la construcción de un programa de fitomejoramiento participativo. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1-17.
- Pineda, M., Morante, N., Salazar, S., Cuásquer, J., Hyde, P. T., Setter, T. L., & Ceballos, H. (2020). Induction of earlier flowering in cassava through extended photoperiod. *Agronomy*, 10(9). doi.org/10.3390/agronomy10091273
- Pineda, M., Yu, B., Tian, Y., Morante, N., Salazar, S., Hyde, P., Setter, T. L., & Ceballos, H. (2020). Effect of pruning young branches on fruit and seed set in cassava. *Frontiers in Plant Sciences*, 11(7). doi.org/10.3389/fpls.2020.01107
- Poltec sas. (2022, 29 de septiembre). *Diferencias entre el almidón nativo y el almidón modificado en la industria de los alimentos*. <https://www.poltecsas.com/post/diferencias-entre-el-almid%C3%B3n-nativo-y-el-almid%C3%B3n-modificado-en-la-industria-de-los-alimentos>
- Portal Siembra. (2022). *Plataforma de informacion del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. <http://www.siembra.gov.co/>

- Rabbi, I. Y., Hamblin, M. T., Kumar, P. L., Gedil, M. A., Ikpan, A. S., Jannink, J. L., & Kulakow, P. A. (2014). High-resolution mapping of resistance to cassava mosaic geminiviruses in cassava using genotyping-by-sequencing and its implications for breeding. *Virus Research*, 186, 87-96. doi: 10.1016/j.virusres.2013.12.028
- Rabbi, I. Y., Kayondo, S. I., Bauchet, G., Yusuf, M., Aghogho, C., Ogunpaimo, K., Uwugiaren, R., Smith, I. A., Peteti, P., Agbona, A., Parkers, E., Lydia, E., Wolfe, M., Jannink, J. L., Egesi, Ch., & Kulakow, P. (2020). Genome-wide association analysis reveals new insights into the genetic architecture of defensive, agro-morphological and quality-related traits in cassava. *Plant Molecular Biology*, 109, 195-213. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01038-3>
- Resolución 067516 [Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)]. Por medio de la cual se establecen los requisitos para la inscripción de los cultivares en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales y se dictan otras disposiciones. 11 de mayo de 2020. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020r67516>
- Rivera, T., Andrade, R., Labarta, R., Calle, F., & Becerra-Lopez Lavallo, L. (2021). *Boletín informativo del sector yuquero Colombia 2007-2020*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/116234/Rivera%20et%20al%202021%20CIATBIO%20--%20Bolet%20in%20Yuquero%202007-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivero, S. T., Gómez, W. R., Salcedo, E. P., Tordecilla, L., & Ramos, E. R. (2015). *Nuevas variedades de yuca forrajera para la alimentación bovina*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13303>
- Rodríguez, E., Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Salazar, S., & Osorio, O. (2020). *Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa: dos nuevas variedades de yuca industrial para el suroccidente colombiano. Reimpresión versión corregida*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403695>
- Rodríguez, N., & Hershey, C. (1990). *Dos nuevas variedades de yuca de alta producción para los Llanos Orientales* [Plegable divulgativo n.º 220]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32663>
- Rojanaridpiched, C., Vichukit, V., Ceballos, H., Aeimnaka, P., & Pumichai, C., Pi-yachomkwan, K. (2020, febrero 11-13). *Development of waxy starch cassava varieties in Thailand* [Presentación en conferencia]. 9th Starch World Asia Conference (CMT). Bangkok, Tailandia.

- Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Lenis, J. I., Salazar, S., & García, J. L. (2020). *Corpoica Belloti, Corpoica Sinuana y Corpoica Ropain: nuevas variedades de yuca industrial para el Caribe seco y húmedo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403862>
- Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Salazar, S., Morante, N., Beltrán, F., Becerra, J. J., & Sandoval, H. A. (2019). *agrosavia Melúa-31: nueva variedad de yuca industrial para la Orinoquía colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403022>
- Ruiz-Vera, U. M., De Souza, A. P., Ament, M. R., Gleadow, R. M., & Ort, D. R. (2020). High sink strength prevents photosynthetic down-regulation in cassava grown at elevated CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 542-560. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa459>
- Sagrilo, E., Vidigal Filho, P. S., Pequeno, M. G., Gonçalves-Vidigal, M. C., & Kvitschal, M. V. (2008). Producción y distribución de materia seca en tres cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) durante el segundo ciclo de la planta vegetativa. *Archivos Brasileños de Biología y Tecnología*, 51, 1079-1087.
- Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I., & Ceballos, H. (2010). Comparison of pasting and gel stability of waxy and normal starches from cassava, potato, maize, and rice under thermal, chemical and mechanical stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8), 5093-5099. <https://doi.org/10.1021/jf1001606>
- Santos, T., Lima e Silva, P. S., Dantas, J., Da Silveira, L. M., & De Sousa, R. P. (2013). Planting density and yield cassava roots. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2). <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000200014>
- Selvaraj, M. G., Montoya, P. M. E., Atabori, J., French, T., & Pridmore, T. (2019). A low-cost aeroponic phenotyping system for storage root development: Unravelling the below-ground secrets of cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Methods*, 15(1), 131. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0517-6>
- Selvaraj, M. G., Valderama, M., Guzman, D., Valencia, M., Ruiz, H., & Acharjee, A. (2020). Machine learning for high-throughput field phenotyping and image processing provides insight into the association of above and below-ground traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Methods*, 16(87). <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00625-1>

- Silva, R., Moura, E., Neto, J. T., & Sampaio, J. E. (2016). Genetic parameters and agronomic evaluation of cassava genotypes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(7), 834-841. doi: 10.1590/S0100-204X2016000700006
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (Sipsa) & Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). *Series históricas del componente de abastecimiento y precios mayoristas, 2013 a 2021*. <https://www.DANE.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa#precios-mayoristas>
- Taborda, L. A. (2018). *Determinación y análisis integral de impactos de la agroindustria rural de almidón de yuca en Cauca Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69148>
- Timmermann, A., Oberhuber, J., Bacher, A., Esch, M., Latif, M., & Roeckner, E. (1999). Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398(6729), 694-697. doi: 10.1038/19505
- Toler, J. E., & Burrows, P. M. (1998). Rendimiento genotípico sobre matrices ambientales: un protocolo de agrupamiento no lineal. *Diario de Estadísticas Aplicadas*, 25, 131-143.
- Toro, J. C. (1984). *Manihoica P-11 y P-12: dos nuevas variedades de yuca para Colombia*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31240>
- Tran, T., Zhang, X., Ceballos, H., Moreno, J. L., Luna, J., Escobar, A., Morante, N., Belalcázar, J., Becerra, L. A., & Dufour, D. (2021). Correlation of cooking time with water absorption and changes in relative density during boiling of cassava roots. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1193-1205. doi.org/10.1111/ijfs.14769
- Tran, T., Zhang, X., Ceballos, H., Moreno, J. L., Luna, J., Escobar, A., Morante, N., Belalcázar, J., Becerra, L. A., & Dufour, D. (2021). Correlation of cooking time with water absorption and changes in relative density during boiling of cassava roots. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 1193-1205. doi.org/10.1111/ijfs.14769
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2021). *Inicio*. Acceso: 10 de Junio de 2022. <https://upra.gov.co/es-co>.

- Valle, J.F. (2021). *A review of crop variety evaluation in roots, tubers and bananas: Geographic coverage*. Alliance of Bioversity International and CIAT; Wageningen University. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/111047>
- Vargas, H., Bolívar, L., Arias, B., & Belloti, A. (2002). *Nataima 31: variedad de yuca (Manihot esculenta Crantz) resistente a mosca blanca (Aleurotrachelus socialis Bondar) para el valle cálido del Alto Magdalena* [Plegable divulgativo]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19074>
- Wang, H. L., Cui, X. Y., Wang, X. W., & Liu, S. S. (2016). First report of Sri Lankan cassava mosaic virus infecting cassava in Cambodia. *Plant Disease*, 100(5), 1029. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-15-1228-PDN>
- Welsch, R., Arango, J., Bär, C., Salazar, B., Al-Babili, S., Beltrán, J., Chavarriaga, P., Ceballos, H., Tohme, J., & Beyer, P. (2010). Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. *Plant Cell*, 22(10), 3348-56. doi: 10.1105/tpc.110.077560
- Wolfe, M. D., Del Carpio, D. P., Alabi, O., Ezenwaka, L. C., Ikeogu, U. N., Kayondo, I. S., Lozano, R., Okeke, U. G., Ozimati, A. A., Williams, E., Egesi, C., Kawuki, R. S., Kulakow, P., Rabbi, I. Y., & Jannink, J. L. (2017). Prospects for genomic selection in cassava breeding. *Plant Genome*, 10(3). doi: 10.3835/plantgenome2017.03.0015

Los autores

Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Correo: arorozco@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6297-8918>

Profesional en ingeniería agronómica, egresado de la Universidad del Magdalena, con experiencia como profesional de apoyo a la investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Caribia. Cuenta con experiencia en el manejo y ejecución de investigaciones en cultivos hortícolas, yuca, mango, banano, entre otros, y con conocimientos en el manejo integrado de plagas y enfermedades, metodología ECA e ICO y transferencia de tecnología.

Amaury Aroldo Espitia Montes

Correo: aespitia@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8057-9483>

M. C. en Biotecnología e ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como investigador máster en AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, donde está vinculado desde 1998. Cuenta con experiencia en investigación en cultivos de tejidos vegetales, micropropagación de plantas, estandarización y desarrollo de protocolos, escalamiento y producción de semilla de alta calidad de ñame, yuca, batata y plátano, manejo integrado de estos cultivos, fisiología vegetal, recursos genéticos, investigación participativa y abonos orgánicos. Hace parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de la Corporación. Ha publicado los siguientes artículos: "Enraizamiento in vitro de *Dioscorea* sp." (*Revista Colombiana de Biotecnología*, 5[2]) y "Reproducción de semilla de batata (*Ipomoea batatas*) var. Agrosavia Aurora en Colombia" (*Agronomía Costarricense*, 45[1]).

Shirley Patricia Pérez Cantero

Correo: sperezc@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5260-0321>

Magíster en Dirección del Desarrollo Local del Instituto Superior de Educación, Administración y Desarrollo (España) y de la Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta (Colombia). Ingeniera agrónoma egresada de la Universidad de Córdoba (Colombia). Se ha desempeñado como ingeniera agrónoma en manejo integrado de cultivos y producción de semilla

de calidad, especialmente de raíces y tubérculos. Ha trabajado en diferentes especies, como maíz, berenjena y aguacate, y como facilitadora de emprendimientos productivos en comunidades rurales, indígenas y afrocolombianas, y en procesos organizacionales, así como en formulación, liderazgo y ejecución de proyectos agrícolas en AGROSAVIA. Cuenta con amplia experiencia en trabajo con pequeños productores en el mejoramiento participativo e investigación en campo.

Elvia Amparo Rosero Alpala

Correo: erosero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9670-3047>

Magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en fitomejoramiento, e ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, con estudios de Ph. D. en la Universidad Carolina (República Checa), que le otorgó su título en el área de anatomía y fisiología de plantas. Actualmente se desempeña como investigadora Ph. D. asociada en AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná. Cuenta con experiencia en investigación en el área de mejoramiento y fisiología de cultivos, donde ha apoyado el desarrollo de variedades comerciales de yuca y batata en Colombia y ha contribuido al conocimiento de dichas especies en el contexto de ambientes subhúmedos.

Sol Mara Regino Hernández

Correo: sregino@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9325-7336>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación y hace parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná. Cuenta con experiencia en establecimiento y manejo de experimentos de investigación agrícola en cultivos de ñame, yuca y batata, de los cuales se han generado ofertas tecnológicas relacionadas con el manejo integrado de dichos cultivos y la producción de semilla de calidad para siembras comerciales. Publicó el artículo "Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana" (*Avances en Investigación Agropecuaria*, 25[2]).

Jorge Luis García Herazo

Correo: jgarciah@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0152-8299>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Desde el 2015 está vinculado a AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, como profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos. Cuenta con experiencia en establecimiento de experimentos de investigación agrícola en cultivos de ñame, yuca y batata, encaminados a la obtención de genotipos potenciales para nuevas variedades a través de mejoramiento genético convencional. Publicó el artículo "Multi-trait selection indices for identifying new cassava varieties adapted to the Caribbean region of Colombia" (*Agronomy*, 11[9]).

Remberto Rafael Martínez Figueroa

Correo: rmartinez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7188-5609>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba y magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos de la Universidad Internacional de La Rioja (España). Cuenta con experiencia en investigación de técnicas de restauración de suelos en sistemas agroforestales, de selección de variedades promisorias, de técnicas integradas de manejo agronómico y producción de material de siembra de cultivos de raíces y tubérculos del Caribe colombiano (yuca, batata y ñame), y en transferencia de tecnología (planes de vinculación tecnológica de yuca, de batata y en la Vitrina Apícola Turipaná). En la actualidad se desempeña como profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos en el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.

Víctor Alfonso De la Ossa Albis

Correo: vdelaossa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0038-3008>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Cuenta con experiencia profesional de más de diez años en la ejecución de proyectos de investigación y producción agrícola, con énfasis en mejoramiento genético y creación de bases de datos. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos en el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.

Eberto Rodríguez Henao

Correo: erodriguezh@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agrarias en la línea de investigación en Mejoramiento Genético Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Tiene experiencia en investigación agrícola, conservación de recursos fitogenéticos con énfasis en germoplasma de frutales de clima cálido y programas de fitomejoramiento. Actualmente, lidera el Programa de Mejoramiento Genético de la Guayaba en AGROSAVIA y participa de actividades de mejoramiento en cultivos de importancia nacional en los sistemas productivos de yuca, mora, batata y banano, en los cuales ha ejecutado proyectos de investigación encaminados al registro de cultivares comerciales, gracias a lo cual se ha logrado el registro de dos variedades de guayaba y dos variedades de yuca. Es el curador de los bancos de germoplasma conservados en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA.

Lina Vanessa Garavito Morales

Correo: lgaravito@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5178-6590>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas y estudiante de la Maestría en Ciencias Agrarias con línea de investigación en Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Se ha desempeñado en el área de asistencia técnica para pequeños y medianos productores en cultivos frutales de clima frío y cálido, enfocados en las áreas de nutrición vegetal y fertilidad de suelos. Es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA, donde apoya los proyectos de especies nativas forestales, validación de tecnologías para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca y generación de tecnologías para mejorar la producción, productividad y calidad de la yuca para consumo fresco y producción de almidón en el suroccidente colombiano.

Rommel Igor León Pacheco

Correo: rleon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9928-5282>

Ingeniero agrónomo con maestría en Agronomía, con orientación en mejoramiento genético de plantas y ecofisiología vegetal. Investigador con más de quince años de experiencia en sistemas productivos de cultivos

transitorios. Se ha desempeñado como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) (2005-2016) e investigador máster senior en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA (2016-actualidad). Ha sido coordinador e investigador en proyectos, subproyectos y acciones orientadas a la identificación de genotipos superiores, a través de recursos fitogenéticos, programas de mejoramiento genético, manejo integrado de la productividad y ecofisiología del estrés en cultivos de raíces, tubérculos, hortalizas y algunos frutales.

Karen Andrea Alarcón Beltrán

Correo: kalarcon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4368-0395>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Cundinamarca, extensión Facativá, con experiencia en investigación aplicada y participativa. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación El Mira de AGROSAVIA, en manejo integrado de cultivos como cacao y café; manejo de *Rhynchophorus palmarum* y *Dynamis borassii* en coco, y productividad y calidad de la yuca para consumo fresco y producción de almidón en el Pacífico nariñense colombiano.

Carina Cecilia Cordero Cordero

Correo: ccordero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>

Ingeniera agrónoma con maestría en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología Vegetal de la Universidad de Córdoba. Se encuentra vinculada a AGROSAVIA desde el año 2016 en el Centro de Investigación Motilonia como investigador máster, donde ha trabajado en proyectos de investigación en el área de ecofisiología vegetal en raíces y tubérculos; mejoramiento genético en yuca, frijol y maíz; producción de semilla de genotipos biofortificados de frijol; análisis socioeconómico de los principales sistemas de producción hortícola en la región Caribe de Colombia, y en planes de vinculación de ofertas tecnológicas de la Corporación. Actualmente lidera trabajos de investigación en ecofisiología vegetal y continúa con su trabajo en el análisis de la cadena de valor de hortalizas, en mejoramiento genético y en producción de semilla de especies para el Caribe seco colombiano, y se encuentra adscrita a la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas de AGROSAVIA.

Juan Carlos González

Correo: jugonzalez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7415-3873>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas, con experiencia en la comercialización y control de calidad de cacao en grano seco para el mercado nacional y de exportación. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA, Centro de Investigación El Mira, en Tumaco, con cuatro años de experiencia en el sector de la investigación agrícola en desarrollo de proyectos de investigación en cultivos de cacao en sistema agroforestal, café canéfora y yuca de consumo fresco e industrial para almidón, en la Costa Pacífica.

José Ives Pérez Zúñiga

Correo: jiperez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>

Ingeniero agrónomo con maestría en Agricultura Ecológica con énfasis en mejoramiento genético del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), de Costa Rica. Se encuentra vinculado a AGROSAVIA desde el año 2004 en el Centro de Investigación El Mira, y luego en la sede Popayán como investigador máster, donde ha trabajado en proyectos de investigación en el área de mejoramiento genético vegetal en palma de aceite, cacao y yuca; en manejo de sistema productivo en permanentes (palma de aceite, chontaduro, forestales) y cacao; en la sede Popayán, en evaluación de variedades de frijol, quinua y caña de azúcar para panela, y en producción de semilla, vinculado al proyecto de jardines clonales de cacao para semilla sexual y asexual. Actualmente lidera trabajos de investigación en mejoramiento genético de cacao regional del departamento de Nariño y evaluación de materiales de quinua. Se encuentra adscrito a la Red de Cacao de AGROSAVIA.

Gabriel Ernesto Silva Acosta

Correo: gesilva@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6519-8973>

Ingeniero agrónomo y administrador de empresas. Magíster en Ciencias en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo (México). Vinculado desde el año 2014 a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, donde ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación en la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas, así como en raíces y tubérculos,

orientados a la obtención de nuevos cultivares y a la realización de trabajos de economía agrícola y estudios socioeconómicos.

Luis Alejandro Taborda Andrade

Correo: ltaborda@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7424-839X>

Ingeniero agroindustrial, magíster en Ingeniería Agroindustrial y doctor en agroecología con énfasis en desarrollo rural. Consultor con más de cinco años de experiencia en el escalonamiento, transferencia de tecnologías, análisis de adopción e impactos de innovaciones agropecuarias bajo la perspectiva de la teoría del cambio. Con experiencia en la aplicación del enfoque metodológico *scaling readiness*, estudios de mercado y análisis de cadenas de valor agropecuarias. Ha participado en proyectos de desarrollo liderados por los centros del CGIAR (Alianza Bioversity-CIAT, IITA) y CIRAD en América Latina y África, así como con la Universidad Nacional y AGROSAVIA en Colombia.

Katia Vanesa Contreras Valencia

Correo: kcontreras@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5624-4122>

Ingeniera agroindustrial con maestría en agronegocios. Profesional con más de diez años de experiencia en el sector agropecuario atendiendo demandas para los sistemas de producción de la región Caribe y el altiplano cundiboyacense, desde las áreas de transferencia de tecnología y mercadeo.

Thierry Tran

Correo: Thierry.Tran@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9557-3340>

Investigador senior en el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Cirad, por sus iniciales en francés) durante quince años. Ha estudiado y desarrollado tecnologías para la transformación de la yuca y ha participado en la transferencia de estas tecnologías al sector privado. Ha liderado estudios de evaluación de la calidad poscosecha de diferentes productos derivados de la yuca, y ha estudiado los impactos socioeconómicos y ambientales de las cadenas de valor agroindustriales en Asia, África y América Latina.

Jorge Iván Lenis Calderón

Correo: j.lenis@cgiar.org

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional, Sede Palmira, con experiencia de más de 35 años en el cultivo de la yuca, como asociado de investigación en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, al cual se encuentra vinculado desde 1987. Cuenta con amplia experiencia en el manejo y ejecución de ensayos de investigación en mejoramiento de variedades del Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados desde 1992. Actualmente lidera ensayos de Investigación en Atlántico, Magdalena y La Guajira.

Sandra Milena Salazar Erazo

Correo: s.m.salazar@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0440-3240>

Ingeniera agrónoma con maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento, egresada de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Con 20 años de experiencia en el departamento de investigación y desarrollo de empresas como CIAT, Semillas Valle S.A. y Monsanto. Tiene conocimientos en mejoramiento genético de cultivos de yuca, arroz, algodón, maíz y sorgo, y experiencia en procesos de aprobación de materiales ante ICA, desarrollo de ensayos de campo, manejo agronómico de cultivos, manejo de personal y manejo de presupuestos. Ahora, en el programa de mejoramiento genético de yuca del CIAT, participó en la investigación y el desarrollo de clones de yuca para Colombia.

Sonia Gallego Castillo

Correo: s.gallego@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8654-8530>

Profesional en Ingeniería Química de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) y magíster en Ingeniería de Alimentos de la misma universidad. Asociada sénior de Investigación de la Alianza de Bioersity Internacional y el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), cuenta con una experiencia de más de 18 años en la coordinación de proyectos de investigación, innovación y desarrollo en el área poscosecha de raíces, tubérculos, cereales y legumbres. En la actualidad, hace parte del programa de cultivos biofortificados liderando las actividades para la validación y transferencia de tecnologías poscosecha, la producción de harinas y el desarrollo, caracterización y análisis nutricional de productos alimenticios a partir de cultivos biofortificados de alto consumo (arroz, maíz, fríjol, batata y yuca).

También es la responsable de los estudios de retención de micronutrientes, evaluación sensorial de los alimentos y otras actividades enfocadas en la promoción de los cultivos biofortificados como materias primas alternativas y funcionales en la industria de alimentos.

John Eiver Belalcázar Martínez

Correo: johneiver@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2526>

Profesional en Química de la Universidad del Valle, candidato al título de doctor en Ciencia y Fenología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, con más de 20 años de experiencia en investigación y desarrollo de productos. Tiene conocimientos en el cultivo de yuca, evaluación de su calidad y desarrollo de nuevas tecnologías para su procesamiento y producción, además del desarrollo de nuevos productos a partir de las raíces frescas y procesadas.

Hernán Ceballos Lascano

Correo: HernanCeballosL54@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8744-7918>

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y PhD en mejoramiento genético de los cultivos (Cornell University, USA). Cuenta con siete años de experiencia en mejoramiento de maíz (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – CIMMYT) y 23 años en yuca (Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT). Ha sido profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira) por 12 años. Coordinador del Programa de Yuca del CIAT por doce años. Investigador Visitante en Guangxi Subtropical Crops Research Institute (GS-CRI) en China. Profesor Invitado en la Universidad de Kasetsart (Tailandia), Universidad de Ghana (Ghana), Universidad de Kwazulu-Natal (Sudáfrica) y Universidad de Makerere (Uganda). Miembro de un equipo multidisciplinario y multiinstitucional que ha liberado numerosas variedades de maíz y yuca en Colombia.

Lizbeth Pino Durán

Correo: l.pino@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4388-6230>

Administradora de empresas egresada de la Universidad Santiago de Cali, especialista y magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Pontificia Bolivariana. Tiene experiencia de más de 10 años en el cultivo de la yuca, como asociada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, al

cual se encuentra vinculada desde el 2012. Cuenta con amplia experiencia en el manejo de datos para los ensayos de investigación en mejoramiento de variedades del Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados.

Xiaofei Zhang

Correo: xiaofei.zhang@cgiar.org

Ph. D. en Mejoramiento de Plantas de la Universidad de Ciencias de China, con más de quince años de experiencia en el mejoramiento de variedades de trigo, pasto de trigo intermedio, camote y yuca. Es el líder del programa de mejoramiento de yuca de la Alianza Bioversity y CIAT desde hace tres años. Aspira a desarrollar e implementar nuevas tecnologías en el fitomejoramiento aplicado para aumentar las ganancias genéticas, asegurar el suministro de alimentos, vencer el hambre, mejorar la equidad y proteger la calidad del suelo y el agua.

Nelson Morante Herrera

Correo: n.morante@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6511-3389>

Biólogo genético egresado de la Universidad del Valle. Cuenta con treinta años de experiencia como profesional de apoyo a la investigación en el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, vinculado desde 1992. Cuenta con amplia experiencia en el manejo de datos de ensayos de investigación y la generación de familias de cruzamientos y selección de nuevas variedades para el Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados.

Fernando Calle Calle

Correo: callecallef@hotmail.com

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Caldas. Treinta y ocho años de experiencia apoyando las diferentes actividades de investigación del Proyecto Yuca en el Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Durante los años 1977-1982 trabajó en el ambiente de los suelos ácidos en la Orinoquía, en la Estación Experimental Carimagua, en las áreas de mejoramiento, suelos, agronomía, entomología y fitopatología. Desde el año 1982 hasta el 2015 trabajó en el proyecto Fitomejoramiento, sede Palmira, apoyando las actividades en el Caribe, Valles Interandinos y Orinoquía con énfasis en el desarrollo de nuevas variedades para estas zonas edafoclimáticas. Ha participado en el desarrollo y liberación de numerosas variedades

de yuca en Colombia, y apoyando en la evaluación de germoplasma élite de yuca en las actividades de Clayuca para Centro y Suramérica. Desde el año 2016 hasta la fecha se ha desempeñado como consultor en la Corporación Clayuca.

Martha Liliana Montes Pérez

Correo: mmontes@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6832-1252>

Ingeniera ambiental y sanitaria, con maestría en Ciencias Agrarias de la Universidad del Magdalena. Se ha desempeñado como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA, sede Caribia. Durante más de cinco años ha apoyado la ejecución de trabajos de investigación en sistemas hortícolas, en yuca, en sistemas productivos de frutales en campo y en el cultivo de tejidos *in vitro* a nivel de laboratorio.

Luis Giovanni Mauricio Montejo Núñez

Correo: lmontejo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6025-6337>

Profesional del área de agronomía; titulado como ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Desde antes de inicio de su carrera se ha dedicado a investigar y profundizar en sistemas agrícolas y su relación con la sostenibilidad ambiental. Los recursos hídricos son su principal área de interés, en la cual ha desarrollado trabajos importantes tendientes a comprender la relación e interacción entre medioambiente, recursos naturales y sistemas agropecuarios. También ha trabajado, con resultados sobresalientes, en el área de administración agropecuaria, horticultura, instalación de sistemas de riego, mantenimiento e instalación de invernaderos, fertilizantes y fertirriego, supervisión y logística para empresas del sector agropecuario.

Héctor Augusto Sandoval Contreras

Correo: hsandoval@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1998-0390>

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima, con maestría en Agronomía en el área de fertilidad de suelos y nutrición de plantas de la Universidad Estadual de Londrina Paraná (Brasil). Pertenece a la sede de Yopal, dependiente del C. I. La Libertad de AGROSAVIA. Está inscrito en a la red de frutales y participa en las redes de raíces y tubérculos, transitorios y cacao. Entre otros proyectos, ha tomado parte en el plan de vinculación de marañón desarrollado en el Vichada, y ha publicado ocho artículos científicos.

Anexo 1.

Ejemplo de labores incluidas dentro de los costos de producción de una hectárea de yuca industrial en el Caribe

A. Costos fijos

| Actividad | Unidad | Cant. | Valor unitario (\$) | Valor total (\$) |
|--|----------|-------|---------------------|------------------|
| Arriendo de tierras | | | | |
| Arriendo | ha | 1 | | |
| Preparación de tierra | | | | |
| Arada | ha | 1 | | |
| Rastrillada | ha | 1 | | |
| Surcada | ha | 1 | | |
| Arreglo de surcos | | | | |
| Siembra | | | | |
| Mano de obra | ha | 1 | | |
| Semilla + transporte | Global | 1 | | |
| Mantenimiento del cultivo | | | | |
| Control de malezas en preemergencia | | | | |
| Control de malezas en preemergencia | ha | 1 | | |
| Mano de obra | Jornales | 2 | | |
| Insumos | Global | 1 | | |
| Control de malezas en posemergencia | | | | |
| Control de malezas en posemergencia | | | | |
| Mano de obra | Jornales | 12 | | |
| Insumos | Global | 1 | | |
| Control de malezas manual | | | | |
| Control de malezas manual | | | | |
| Mano de obra | Jornales | 16 | | |
| Subtotal control de malezas | | | | |

(Continúa...)

(Continuación del anexo)

| | | | | |
|----------------------------------|----------|---|--|--|
| Control de plagas y enfermedades | | | | |
| Mano de obra | Jornales | 8 | | |
| Insumos | Global | 1 | | |
| Fertilización | | | | |
| Mano de obra | Jornales | 4 | | |
| Insumos | Global | 3 | | |
| Otros | Global | 1 | | |
| Subtotal de costos fijos | | | | |

B. Costos variables

| | | | | |
|-------------------------------------|----------|----|--|--|
| Descangre | Jornales | 2 | | |
| Cosecha | t | 25 | | |
| Movimiento Interno | t | 25 | | |
| Cargue y descargue | t | 25 | | |
| Transporte a la Planta | t | 25 | | |
| Otros | Global | 1 | | |
| Subtotal de costos variables | | | | |

| | | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Total de costos de producción (A + B) | | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|