

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 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 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.