

Capítulo 4.

Características de evaluación y selección de genotipos superiores de yuca

Elvia Amparo Rosero Alpala, Eberto Rodríguez Henao, Sandra Milena Salazar Erazo, Jorge Iván Lenis Calderón, Nelson Morante Herrera, Carina Cecilia Cordero Cordero, Héctor Augusto Sandoval Contreras, Jorge Luis García Herazo, José Ives Pérez Zúñiga, Víctor Alfonso De la Ossa Albis, Juan Carlos González, Karen Andrea Alarcón Beltrán, Luis Giovanni Mauricio Montejó Núñez, Lina Vanessa Garavito Morales, Rommel Igor León Pacheco, Martha Montes, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Remberto Rafael Martínez Figueroa, Katia Vanesa Contreras Valencia, Sonia Gallego Castillo, John Eiver Belalcázar Martínez, Hernán Ceballos Lascano, Xiaofei Zhang, Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Marco legal para la producción de material de siembra

La normativa vigente para la evaluación e inscripción de variedades de yuca en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA es la Resolución número 067516 del 11 de mayo del año 2020, “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”. En esta resolución se definen los procedimientos y requisitos a considerar para la obtención y registro de variedades mejoradas de yuca como cultivo transitorio.

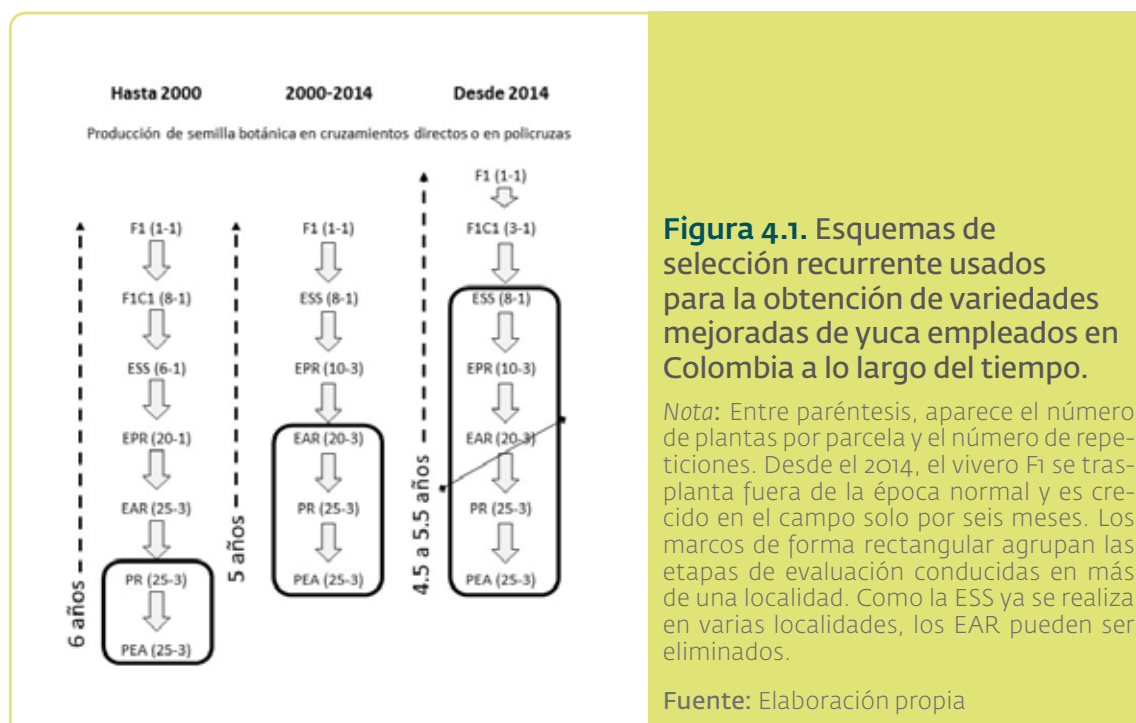
Ciclos de selección y diseño experimental

El proceso de selección recurrente consiste en la generación y evaluación de diferentes ciclos de selección (figura 4.1). Las poblaciones evaluadas en F_1C_1 se establecen en un arreglo de cuatro a seis plantas por surco en una sola localidad. Debido a la baja disponibilidad de material de siembra, en la evaluación de surco sencillo (ESS) se usa un diseño experimental no replicado. La ESS incluye la evaluación de 1.500 a 2.500 genotipos. La germinación de semilla y trasplante de plántulas en los viveros F_1 a partir del año 2014 se realiza fuera de los tiempos en que normalmente se planta la yuca en Colombia, y la cosecha de plantas y tallos se realiza aproximadamente a los seis meses del trasplante. Esto tiene importantes implicaciones: a) las operaciones relacionadas con el vivero F_1 se realizan en épocas donde el personal no tiene actividades urgentes que realizar; b) la cosecha de plantas a los seis meses de haber sido trasplantadas coincide con las épocas normales de cosecha y siembra de la yuca en la mayoría de las regiones de Colombia y c) las mismas ESS se pueden plantar en tres localidades diferentes simultáneamente (figura 4.1).

Los ensayos preliminares de rendimiento (EPR) tienen, a partir del año 2000, tres repeticiones de dos surcos de cinco plantas cada uno e involucran entre 150 y 250 genotipos. Los ensayos avanzados de rendimiento (EAR) se realizan, a partir del año 2000, en tres localidades usando tres repeticiones y parcelas de veinte plantas. Estos ensayos incluyen típicamente entre 60 y 80 clones. Las modificaciones en el esquema de evaluación introducidas en el año 2014 permiten que tanto las ESS y los EPR se planten en tres localidades diferentes. La selección en la etapa ESS está basada, por vez primera, en ensayos replicados (una repetición, pero en tres localidades diferentes). Esto significa un enorme progreso en la eficiencia de la selección, porque el impacto que la interacción del genotipo y el ambiente ($G \times A$) se reduce drásticamente. Adicionalmente, los EPR también se conducen simultáneamente en tres localidades diferentes (figura 4.1), lo que continúa disminuyendo el impacto negativo del $G \times A$ en la eficiencia de la selección. Las innovaciones implementadas a partir del año 2014 permiten ejercer una presión de selección mayor, reduciendo el tamaño de los EPR, que pasan a tener entre 80 y 120 genotipos, y permite (dependiendo de las

circunstancias y la calidad de los datos obtenidos) obviar la etapa de los EAR.

Las pruebas regionales (PR) se plantan en varias localidades representativas de cada región agroecológica, con tres repeticiones por localidad. Normalmente las PR se conducen por dos años consecutivos e incluyen unos 20 clones. Si la disponibilidad de material de siembra lo permite, las parcelas en las PR son ligeramente más grandes, con cinco surcos de cinco plantas cada uno, en las que se cosechan las nueve plantas centrales de cada parcela. Después de pasar por mínimo dos ciclos en PR, los genotipos con potencial de ser postulados como nuevas variedades son establecidos en pruebas de evaluación agronómica (PEA). Generalmente una PEA puede incluir entre 5 y 10 clones experimentales, y requiere la inclusión de varios testigos comerciales (3-5). Los clones experimentales con mejor desempeño en las PEA son establecidos en pruebas semicomerciales (en colaboración con agricultores líderes en la región), con el fin de confirmar su comportamiento agronómico, así como también producir material de siembra para el lanzamiento como variedad.



Recomendaciones de establecimiento, manejo y evaluaciones

Todas las labores agronómicas realizadas sobre los experimentos son reportadas en los libros de campo. La preparación del suelo y la siembra se realizan de acuerdo con las condiciones edafológicas y agroclimáticas de cada zona. El manejo de arvenses incluye aplicación de herbicidas preemergentes, graminicidas y con pantalla para herbicidas que puedan causar fitotoxicidad al cultivo (en caso de ser necesario), además de desyerbas manuales. El manejo agronómico de plagas y enfermedades, de ser necesario, se realiza con productos comercialmente usados. La fertilización se realiza de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos de cada zona y considerando el manejo que el agricultor ofrece rutinariamente al cultivo. Los genotipos son cosechados de acuerdo con la zona agroecológica o según el periodo vegetativo para cada genotipo en evaluación y el propósito de estos (7-18 meses). En general, el manejo agronómico a implementar para las parcelas de evaluación se desarrolla con base en el manejo comercial realizado en cada zona de evaluación, con el fin de no introducir condiciones diferentes a las proporcionadas por los agricultores a las nuevas variedades que se generen de los procesos de investigación. Se presta una especial atención a eliminar clones que presenten síntomas de cuero de sapo en sus raíces en las etapas tempranas de evaluación. En las etapas más avanzadas, se analizan cuidadosamente las raíces de cada planta y se evita coleccionar tallos de aquellas plantas cuyas raíces presentaron síntomas (aun sospecha) de cuero de sapo.

Para cada experimento se registra información útil y de parámetros que son evaluados y considerados durante la selección de genotipos promisorios. Durante el primer mes solamente se registra la variable de germinación; en el tercer mes se registra el comportamiento de los genotipos con respecto al vigor y su respuesta a trips y bacteriosis; en el quinto mes se registra la respuesta a trips, ácaros y bacteriosis; durante el séptimo mes, la respuesta a ácaros y bacteriosis, y, finalmente, previamente a la cosecha se realiza la evaluación de precosecha, la cual incluye el registro de las variables altura de planta, altura de ramificación, número de ramificaciones,

número de estacas por planta, volcamiento y evaluación del tipo de planta (TPD). En la cosecha, la cual depende de las condiciones ambientales de cada zona, se toman todas las variables restantes por parcela; los parámetros y detalles de la información a tomar se describen a continuación:

- Fecha: se seguirá el formato mes/día/año.
- Área cosechada: se decide no incorporar en el formato.
- Distancia de siembra: se escribe la distancia entre plantas y entre surcos (por ejemplo, 1,0 × 1,0 m).
- Fecha de cosecha: se seguirá el formato mes/día/año.
- Fecha de evaluación: se seguirá el formato mes/día/año.
- Localidad: lugar de toma de datos.
- Evaluador: persona responsable.
- Se debe registrar un identificador único, que consta de año de evaluación, número del ensayo, propósito, tipo de ensayo, localidad, número de repetición, nombre del genotipo y número de parcela. Ejemplo: 202208CQMUL_CIAT_rep1_PER183_1.
- Identificador espacial: se siembra siguiendo el consecutivo; sin embargo, la distribución en campo se realiza de acuerdo con el área disponible. Se realiza el plano de campo y se informa el número de surcos y de bloques usados en el experimento. Con el fin de realizar un análisis estadístico confiable, se debe registrar el número de la columna y el número de fila donde queda sembrado cada genotipo.
- Número de estacas sembradas: número de estacas sembradas por parcela.
- Número de estacas germinadas: se debe hacer resiembra hasta máximo quince días después de la siembra; el conteo para evaluar la germinación se realiza al mes después de la siembra.
- Vigor: se debe evaluar entre dos y cuatro meses después de la siembra, con las siguientes calificaciones: 1 = muy poco vigor, 2 = poco vigor, 3 = intermedio, 4 = vigorosa y 5 = muy vigorosa. Las bases de datos a entregar deben ser corregidas en caso de que haya sido usada una escala inversa.
- Altura de planta: se evalúa, en centímetros, desde la superficie del suelo hasta la última rama.

- Altura a la primera ramificación: medida desde la superficie del suelo hasta la primera ramificación; en caso de que la planta no tenga ramificación, se registra el mismo valor de la altura de la planta.
- Número de ramificaciones: corresponde al número ramificaciones en la planta (niveles).
- Número de estacas por planta: se estima el número de semillas comerciales (cangres o esquejes de buena calidad, de 20 cm y mínimo 5 nudos) que se esperar obtener por planta.
- Longitud de tallo: longitud de tallo con hojas en centímetros.
- Evaluación de planta (ТРД): 1 = claramente mejor que el promedio, 2 = probablemente mejor que el promedio, 3 = arquitectura representativa del promedio, 4 = probablemente peor que el promedio y 5 = claramente peor que el promedio. Se debe considerar su estado fitosanitario, arquitectura, retención de hojas verdes y vigor.
- Volcamiento: 1 = ninguno o muy poco, 2 = intermedio y 3 = mucho.
- Número de plantas cosechadas: ESS = 7 plantas, EPR = 8 plantas, EAR = 6 plantas internas dentro de la parcela de 20 plantas, PR-PEA = 9 plantas internas en parcelas de 25 individuos. No se deben cosechar bordes en los EAR, PR y PEA.
- Evaluación de raíz: 1 = claramente mejor que el promedio, 2 = probablemente mejor que el promedio, 3 = arquitectura representativa del promedio, 4 = probablemente peor que el promedio y 5 = claramente peor que el promedio. Se hace una valoración integral del estado fitosanitario, forma, tamaño, etc. Se presta especial atención a la ocurrencia de síntomas de cuero de sapo.
- Constricciones de la raíz: 1 = pocas o ninguna, 2 = intermedia y 3 = muchas.
- Forma de raíz: 1 = cónica, 2 = cónica-cilíndrica, 3 = cilíndrica y 5 = irregular.
- Color de raíz: 1 = blanco o crema, 2 = café claro y 3 = café oscuro.
- Color de pulpa: 1 = blanco, 2 = crema claro, 3 = crema, 4 = amarillo claro, 5 = amarillo, 6 = amarillo intenso, 7 = anaranjado y 8 = rosado.
- Longitud de raíz: 1 = corta (15 cm), 2 = media (15-30 cm), 3 = larga (> 30 cm).

- Longitud de pedúnculo: 1 = corto (pegadas), 2 = intermedio (máximo 5 cm), 3 = largo (> 5cm).
- Número de raíces podridas: se obtiene por conteo.
- Número de raíces totales: se obtiene por conteo.
- Número de raíces comerciales: conteo de raíces de un tamaño de diámetro entre 4 y 6 cm, y con longitud mayor a 20 cm.
- Peso de raíces comerciales: se pesan las raíces comerciales (kg).
- Peso de planta: peso de toda la parte aérea de tallos, hojas y tocón (kg).
- Peso de raíces totales: se pesan todas las raíces (kg).
- Peso de raíces en aire: se registra el peso de una muestra entre 3 y 5 kg; se registra su peso en gramos.
- Peso de raíces en agua: se registra el peso de las raíces pesadas previamente en aire cuando son sumergidas en el agua; se registra el peso en gramos.
- Facilidad de pelado: 1 = fácil y 2 = difícil.
- Observaciones: se registra toda novedad encontrada en la parcela, si existe.
- Para el desarrollo de materiales con alto valor nutricional se realiza una selección de contenidos de carotenoides predichos con NIR y eventualmente se confirman los datos de materiales seleccionados con cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC, por sus iniciales en inglés). Estas valoraciones se hacen en etapas tempranas de selección (F1 o F1C1) y se confirman luego (por HPLC) en etapas avanzadas, y solo en materiales altamente promisorios.
- Si el perfil de la variedad es para el consumo fresco, se valora el contenido de glucósidos cianogénicos por medio de espectrofotometría (Essers et al., 1993).

Todas las evaluaciones de variables en campo se realizan usando la aplicación Fieldbook.

Variables sobre respuesta a plagas y enfermedades

Se usa la guía ilustrada de plagas y enfermedades publicada por el CIAT (Álvarez et al., 2002), en pruebas supervisadas por el ICA, y se envían muestras para obtener el diagnóstico. Se usan las siguientes escalas para evaluar plagas y enfermedades, este monitoreo se realiza a los 3, 5 y 7 meses, según lo descrito previamente:

- Trips: 1 = plantas sanas; 2 = puntuaciones amarillentas ligeras en las hojas apicales; 3 = cogollo y hojas adyacentes con deformaciones ligeras y puntuaciones amarillas; 4 = deformación intensa de hojas apicales o maduración del área foliar, y 5 = cogollo completamente deformado o muerto, no hay hojas adyacentes, con síntomas de escoba de bruja, muerte del ápice y yemas laterales muertas.
- Ácaros: 1 = planta sana; 2 = pocas puntuaciones en el cogollo y hojas terminales; 3 = cogollo afectado u hojas adyacentes con muchas puntuaciones de un color amarillo; 4 = cogollo deforme, hojas adyacentes con muchos ácaros, encrespamiento de las hojas, y 5 = cogollo muerto, defoliación con muchos ácaros, caída de las hojas.
- Barrenador del tallo (*Chilomima clarkei*): 1 = planta sana; 2 = menos del 25 % de la corteza destruida; 3 = menos del 50 % de la corteza dañada; 4 = entre 50 y 75 % de la corteza dañada, hojas flácidas, y 5 = más del 75 % de la corteza dañada, plántula muerta.
- Mancha parda fungosa (*Cercospora vicosae*): 1 = sin síntomas, 2 = síntomas en el tercio inferior de la planta, 3 = síntomas foliares en el tercio inferior y tercio medio de la planta, 4 = síntomas en los tres tercios de la planta y 5 = síntomas en toda la planta, con más del 50 % de las hojas afectadas.
- Superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*): 1 = planta sana; 2 = pocos chancros en venas principales y secundarias de las hojas; 3 = chancros en hojas, pecíolos y ramas; no alargamiento; 4 = alargamiento, y 5 = muerte descendente.

- Bacteriosis (*Xanthomonas* sp.): 1 = planta sana; 2 = puntos en las hojas, manchas angulares; 3 = marchitamiento en hojas y defoliación, 4 = exudación en tallos, y 5 = muerte descendente de la planta.
- Antracnosis (*Colletotrichum* o *Glomerella manihotis*): 1 = sin síntomas visibles, 2 = manchas foliares y/o quemazón o distorsión foliar, 3 = quemazón foliar (chanchos en el tallo), 4 = muerte descendente y/o marchitez y 5 = muerte de más del 70 % de la planta.
- Mosca blanca: 1 = planta sana; 2 = presencia de pocos adultos; 3 = presencia de adultos y huevos; 4 = presencia de adultos, huevos y ninfas, y 5 = presencia de fumagina.
- Cuero de sapo: 1 = no hay síntomas, 2 = medio, 3 = severo, 4 = muy severo y 5 = extremadamente severo.
- Mosca del cogollo: 1 = planta sana; 2 = perforaciones en hojas; la planta presenta apariencia normal; 3 = perforaciones en el tallo; la planta presenta apariencia normal; 4 = perforaciones en el cogollo, y 5 = cogollo muerto con pudrición y caída.

Protocolo de evaluación de la calidad física y culinaria de las raíces de yuca

Algunos de los criterios de calidad de la yuca para mercado en fresco están relacionados con la calidad física y culinaria de las raíces. La buena calidad de las raíces de yuca que se ofrecen en el mercado en fresco está asociada generalmente con los siguientes aspectos: a) bajo contenido de glucósidos cianogénicos, medido en la forma de ácido cianhídrico (HCN) (< 90 ppm), compuesto que les da sabor amargo a las raíces de yuca y es tóxico al consumirlo; b) contenido entre intermedio y alto de materia seca (> 30 %) y de almidón, y c) buena calidad culinaria y resistencia al deterioro. El punto exacto de cocción es diferente para cada variedad de yuca, pues cambia si se utiliza solo el parénquima del centro de las raíces o solo el de los extremos; por lo tanto, es muy importante que la materia prima sea homogénea. Las raíces deben ablandarse suficientemente a los 20 min de cocción. Es altamente deseable que, para consumo fresco, las raíces sean

fáciles de pelar, lo que implica que no deben tener constricciones marcadas o frecuentes.

La calidad es la totalidad de las condiciones y características de un producto que lo hacen cumplir con los requerimientos del mercado y con el gusto o la aceptabilidad del consumidor. La calidad física tiene que ver con la forma y el tamaño de las raíces y la calidad culinaria, con el tiempo de cocción o preparación de las raíces y con la aceptación por degustación que manifiesta el consumidor. Las raíces de yuca que son de excelente calidad culinaria tienen un tiempo óptimo de cocción entre 20 y 30 min. Otros factores para determinar la buena calidad culinaria de la yuca son los siguientes: a) la textura o consistencia: la yuca cocida debe ser firme, sin porciones duras o vidriosas, y el almidón que contiene debe ser blanco o de color amarillento, pero nunca transparente; b) el sabor: no debe ser ni amargo ni dulce (neutro), pues lo primero significa que las raíces tienen un contenido alto de glucósidos cianogénicos y lo segundo, que tienen un alto contenido de azúcares, y c) las fibras: no debe tenerlas, ni tampoco tejidos dentro del parénquima. Estos factores se detectan principalmente al degustar los trozos de yuca, ya que no podrían percibirse mediante la observación de su apariencia externa.

A continuación, se describe el procedimiento para la realización de pruebas de evaluación del tamaño y de cocción de las raíces de yuca:

1. Escoger en el lote entre 2 y 3 plantas de los materiales de yuca a evaluar y cosecharlas completas, sin dañar las raíces.
2. Cortar todas las raíces de cada planta (teniendo especial cuidado al separar la raíz del tallo y dejando un pequeño trozo de pedúnculo o tocón).
3. Seleccionar las raíces de acuerdo con la siguiente clasificación:
 - Raíces comerciales: raíces grandes o medianas, con diámetro mayor de 5 cm
 - Raíces no comerciales: raíces pequeñas, con diámetro menor de 5 cm
 - Raicillas: raíces muy pequeñas y delgadas, con diámetro menor de 2 cm
4. Lavar y secar todas las raíces, y pesar de acuerdo con los tres grupos seleccionados.

5. Pelar las raíces comerciales y cortar 1 o 2 cilindros de 6 cm de longitud de la parte central de cada raíz.
6. Partir cada cilindro por la mitad (2 trozos), descartar la parte fibrosa y/o leñosa del centro y pesar los trozos empacados en una bolsita de tela, previamente identificada.
7. Aparte, calentar agua potable (aproximadamente 2 l) en una olla hasta que hierva.
8. Cuando el agua esté hirviendo, introducir los trozos en la olla de cocción.
9. Empezar a contabilizar el tiempo.
10. Al transcurrir 10 min, introducir un tenedor a los trozos de yuca y observar su consistencia (el tenedor debe penetrar suavemente).
11. Introducir el tenedor cada 5 min, hasta que los trozos tengan la textura adecuada. Al final, la yuca cocida debe tener una consistencia entre firme y blanda.
12. Si después de 60 min, los trozos no han alcanzado la consistencia esperada, se detiene la prueba.
13. Dejar enfriar un poco los trozos de yuca y pesar los trozos cocidos.
14. Finalmente, evaluar (de forma preliminar) los otros factores de importancia en la calidad culinaria: textura (dura/vidriosa, blanda/firme), sabor (amargo, neutro o dulce) y fibras.
15. Los análisis de retención de β -carotenos después del proceso de cocción serán realizados usando la técnica de HPLC.

Recientemente se ha descrito un protocolo para la valoración facilitada de tiempo de cocción pesando las raíces antes de iniciar la cocción y luego de 20 min. Una buena calidad está asociada con la absorción de agua mientras las raíces hierven. Mientras mayor sea el incremento del peso en los trozos de raíces luego de 20 min de cocción, mayor la absorción de agua y menor el tiempo requerido de cocción (Tran et al., 2021).

Construcción de costos para generar cultivares y estimación de costo-beneficio

Con el fin de establecer los costos de las nuevas variedades de yuca, así como también de las tecnologías trabajadas con agricultores, se construye una herramienta de captura de información que permite registrar los costos fijos y variables de los genotipos seleccionados que se validen en campo. Para esto se tendrán en cuenta los siguientes costos:

- Costos de infraestructura y/o herramientas
- Costos de insumos
- Costos de establecimiento de los genotipos
- Costos de mantenimiento de los genotipos
- Costos de cosecha
- Costos de monitoreo por hectárea y/o planta
- Costo de análisis de laboratorios
- Costo de asistencia técnica
- Otros (arriendo, administrativos, trámites de registro, etc.)

La construcción de costos se realiza para los genotipos seleccionados y validados en campo con los productores de las regiones de estudio, como ejemplo se presenta una estructura de costos (Anexo 1).

Los datos son registrados en la herramienta por el equipo investigador que se encuentre en campo durante el tiempo que conlleve el establecimiento, mantenimiento y cosecha de los genotipos. Los datos obtenidos se cuantifican con los precios comerciales que se manejen en la región y no en los centros de investigación de AGROSAVIA.

Por otro lado, con la misma herramienta se construyen los costos de establecimiento, mantenimiento y cosecha de los cultivos que actualmente maneja el productor (testigo regional), incluyendo las prácticas agrícolas

que lleva a cabo, con el fin de tener una base de comparación y análisis con los genotipos desarrollados por la Corporación, paralelamente el equipo de investigación tiene en cuenta las variables productivas que presentan los cultivares.

Estimación de la relación costo-beneficio

Con el fin de analizar el beneficio económico que recibe el productor al implementar los genotipos potenciales a ser registrados, comparado con el de los cultivos que maneja actualmente (testigo regional), se realiza el cálculo de la relación costo-beneficio, en la cual se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Los costos totales del cultivo (establecimiento, producción, mantenimiento y cosecha) por hectárea
- Los costos de los métodos convencionales utilizados por los productores
- El rendimiento de producción con los nuevos genotipos
- El rendimiento de producción con los cultivos actuales
- El precio de venta de la yuca, de acuerdo con el uso (consumo fresco o uso industrial)
- El porcentaje de disminución de pérdidas
- El porcentaje de mejoras con los nuevos genotipos
- El porcentaje de afectación por enfermedades y/o plagas
- El mejoramiento de la calidad (incluyendo la calidad nutricional)
- La mejora en la estabilidad del comportamiento agronómico (particularmente el contenido de materia seca)
- Otros factores