

Capítulo 7.

Proceso de producción de material vegetal de yuca micropropagado *in vitro* y sus fases de multiplicación para producción de semilla de alta calidad

Rocío Margarita Gámez Carrillo, Amaury Aroldo Espitia Montes y Sol Mara Regino Hernández

La biotecnología agrícola es aquella que se emplea para la mejora de cultivos y plantas. En general, se centra en la investigación y desarrollo de las plantas con o sin modificaciones genéticas, con la finalidad de mejorar sus características —haciéndolas resistentes a condiciones de estrés biótico o abiótico—, mejorar su productividad y aumentar su producción, así como el número y calidad de las semillas, principalmente.

Tipos de propagación en plantas

- **Macropropagación:** es un método aplicado bajo cobertura o en campo, en el cual se elimina la dominancia apical y se producen hijos. Se puede aplicar decapitación parcial o total. Utiliza métodos tradicionales, como plantaciones a partir de rizomas, corte de raíces, acodos, etc.
- **Micropropagación:** en condiciones asépticas y controladas, es una técnica con la cual se manipulan, aíslan e incuban órganos, tejidos o células para producir poblaciones de plántulas. Cada una de las plántulas que se produce puede crecer y ser fenotípica y genotípicamente idéntica a la planta original de la que se deriva (Villalobos, 1991),

así como generar plantas completas a partir de la clonación de la planta madre (Njukwe et al., 2007).

Ventajas de la propagación de plantas *in vitro*

- Permite una producción a gran escala y más rápida que la propagación convencional.
- Permite la transferencia de genes con rasgos deseables.
- Permite la generación de plantas genéticamente modificadas, con características agrónomicamente mejoradas, como un rendimiento superior, mejor calidad nutricional y mayor resistencia a enfermedades.
- Permite la síntesis de metabolitos secundarios o sustancias químicas de interés económico.
- Permite la conservación de plantas en estado vegetativo, con funcionamiento metabólico ralentizado (Lambardi et al., 2008) o a través de crioconservación (García-González et al., 2010).
- Debido a sus ventajas, esta técnica constituye la tecnología más utilizada para la clonación de especies de interés económico.
- Hay un incremento de la eficiencia en la micropropagación por las estrategias para aumentar los coeficientes de multiplicación y el volumen de material por área de cultivo, así como por la automatización o semiautomatización de algunas etapas (Orellana, 1998; Pérez et al., 1998).

Desventajas de la propagación de plantas *in vitro*

A escala comercial, el costo de la mano de obra se considera una desventaja de esta técnica (Perez-Barraza et al., 2000; Ziv, 1989), así como el elevado gasto por energía

eléctrica, el uso de agar como agente gelificante en el medio de cultivo y la capacidad limitada de los frascos. En algunas especies micropropagadas, los coeficientes de multiplicación son bajos, lo cual también incrementa los costos de producción y disminuye la eficiencia en el proceso (Pérez et al., 1998; Vasil, 1994).

La necesidad de producir material de alta calidad, rejuvenecido fisiológicamente y disponible para los productores de yuca ha requerido la búsqueda de alternativas para incrementar la eficiencia en los métodos de propagación y, por lo tanto, la aplicación de las técnicas biotecnológicas. Al respecto, se han desarrollado protocolos para la propagación *in vitro* por organogénesis de este cultivo (Medero, 1995; Roca et al., 1984).

Metodología para la introducción y distribución del germoplasma de yuca

En 1980, el banco de germoplasma de yuca fue introducido en un banco de germoplasma *in vitro*. Así, se produjeron cultivos estériles desde plantas madre libres de enfermedades; para esto, el uso de termoterapia y el cultivo de meristemas permitieron avanzar en la producción de plantas libres de virus de importancia cuarentenaria. Los envíos se realizaron en tubos de ensayo empacados junto con los siguientes documentos: a) el Acuerdo Normalizado de Transferencia de Material (ANTM), b) un certificado fitosanitario emitido por la autoridad colombiana, c) una lista de materiales, d) instrucciones de manejo de los cultivos al ser recibidos, e) la información del pasaporte, f) una evaluación morfológica y bioquímica, y g) el permiso de importación (Roca et al., 1989).

Según el acuerdo entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Órgano Rector del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Tirfaa) de la FAO, el Banco de Germoplasma del CIAT (operado por el Programa de Recursos Genéticos) tiene el mandato para distribuir materiales de las colecciones en fideicomiso, según las indicaciones aprobadas por los mismos países. En estas instalaciones, el germoplasma de yuca clasificado como libre de patógenos se encuentra disponible para su distribución internacional de manera gratuita, con previa solicitud. El germoplasma se transfiere con una declaración de sanidad, un certificado fitosanitario y una copia del ANTM. Los fines de distribución aprobados tienen que ver con objetivos de alimentación y agricultura que incluyan producción comercial, conservación, mejoramiento, enseñanza e investigación. Para el buen funcionamiento de los bancos de germoplasma, hay unos principios fundamentales que explican por qué y para qué se conservan los recursos fitogenéticos; estos principios constituyen la base para establecer las normas y los criterios esenciales para una buena gestión de un banco de germoplasma. Los principios fundamentales inherentes a la conservación son:

- **Identidad de las accesiones:** se debe velar por que la identidad de las accesiones de las semillas conservadas en bancos de germoplasma se mantenga a lo largo de los distintos procesos: desde la adquisición hasta el almacenamiento y la distribución.
- **Mantenimiento de la viabilidad:** todos los procesos de los bancos de germoplasma deben aplicar las normas necesarias para garantizar que se mantengan niveles aceptables de viabilidad. Por tanto, debe prestarse especial atención a las metodologías aplicadas sobre adquisición, procesamiento y almacenamiento de germoplasma.
- **Mantenimiento de la integridad genética:** la necesidad de mantener la integridad genética está estrechamente relacionada con el mantenimiento de la viabilidad y

la diversidad de la muestra original recogida. Durante la adquisición, deberán obtenerse muestras de semillas suficientemente representativas, de buena calidad y en cantidad suficiente.

- **Mantenimiento de la sanidad de las semillas:** los bancos de germoplasma deben esforzarse por garantizar, en la medida de lo posible, que las semillas que conservan y distribuyen estén libres de plagas cuarentenarias reglamentadas (bacterias, virus, hongos e insectos).
- **Seguridad física de las colecciones:** la seguridad de las estructuras físicas de las instalaciones del banco de germoplasma es un requisito fundamental, pues allí se conservan las accesiones y se protegen los materiales contra factores externos, como desastres naturales, a partir de la refrigeración. Asimismo, los bancos de germoplasma deben asegurar que los materiales estén duplicados.
- **Disponibilidad y uso del germoplasma:** el material conservado siempre debe estar disponible para su uso.
- **Disponibilidad de la información:** con el fin de garantizar la comunicación de la información y la rendición de cuentas, toda la información deberá registrar los movimientos y las transferencias en tiempo real.
- **Gestión proactiva de los bancos de germoplasma:** la conservación sostenible y eficaz de los recursos genéticos depende de la buena gestión del material de germoplasma conservado. Dicha gestión debe garantizar que los materiales se conserven de manera eficiente y se pongan a disposición en tiempo oportuno y en cantidad suficiente para su uso posterior por parte de los fitomejoradores, agricultores e investigadores, entre otros usuarios.

Por la naturaleza del trabajo y la expansión de las colecciones, el Banco de Germoplasma del CIAT no es un centro de multiplicación de material para terceros. AGROSAVIA es la entidad que suplente este requerimiento, pues tiene la capacidad

de producir y escalar semilla a partir de los pocos individuos suministrados por el CIAT. Sin embargo, es importante enfatizar que hay algunos materiales de siembra que se introducen al país o a una región de manera no formal. En esos casos, estos cultivares deben ser seleccionados y enviados al CIAT para que este les aplique los procesos de limpieza e indexación.

La producción de semillas vegetativas limpias partiendo de materiales iniciales certificados generados por técnicas de multiplicación *in vitro* constituye una importante alternativa de producción de materiales de siembra de alta calidad. Las estrategias de vinculación tecnológica desarrolladas por AGROSAVIA han permitido escalar la producción de semilla élite en proyectos agroindustriales, con beneficios como los siguientes:

- Aumentos de productividad sobre variedades comerciales.
- Disminución en costos de producción.
- Reducción de impactos ambientales por sustitución de agroquímicos y siembra de cultivos a partir de semilla sana.

Se debe tener en cuenta que importantes cultivos agrícolas del trópico se han visto limitados por problemáticas fitosanitarias asociadas con plagas y enfermedades.

Por todo lo anterior, AGROSAVIA ha desarrollado procesos de innovación con énfasis en el escalamiento tecnológico, para aumentar significativamente la competitividad de los sistemas de producción. El cultivo de tejidos permite obtener grandes cantidades de plantas, seleccionadas en campo por su alto rendimiento, libres de plagas y enfermedades, y con ventajas comparativas respecto a las sembradas a partir de semilla tradicional.

Gracias a estos proyectos, clientes comerciales o aliados estratégicos pueden acceder a varios tipos de materiales producidos por AGROSAVIA:

- **Material inicial o *in vitro*:** plantas producidas en el laboratorio de cultivo de tejidos o micropropagación.
- **Semillas super-élite o *ex vitro*:** plantas enraizadas y endurecidas en el invernadero núcleo.
- **Semillas élite:** plantas establecidas en el vivero.

A partir de estas semillas, los clientes de AGROSAVIA también pueden aplicar escalamiento tecnológico, endureciendo las plantas y multiplicando la semilla para su establecimiento en el sitio definitivo.

El establecimiento de este tipo de semilla, producida a partir de procesos biotecnológicos, requiere cuidados y condiciones ambientales especiales para garantizar su viabilidad y un excelente comportamiento productivo en campo. Solo si se atienden cuidadosamente las indicaciones sobre su manejo, se garantiza que la semilla mantenga la calidad.

Material vegetal inicial

El material vegetal puede tener diferentes fuentes de origen, como bancos de germoplasma vegetal, otros laboratorios y centros de investigación; sin embargo, cuando se quiere propagar un material, ya sea por preferencia de los productores o la industria, o para programas de investigación, se pueden seleccionar plantas madre con buenas características (buen rendimiento, ausencia de problemas fitosanitarios, etc.), a las cuales se les cortan los tallos, de los que se extraen estacas de 30 cm de largo, con 15 entrenudos, para luego ser enviadas al CIAT para su limpieza e indexación. Estos materiales libres de virus son devueltos al laboratorio de AGROSAVIA para su micropropagación *in vitro*.

Recepción del material de siembra

En el laboratorio del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA se reciben los materiales que provienen de otros laboratorios; las plántulas llegan en tubos de ensayo o frascos rotulados y sellados (figura 7.1). Los recipientes con las vitroplantas se ubican en el cuarto de crecimiento en condiciones de 26-32°C de temperatura, con 16 horas luz y 8 de oscuridad de fotoperiodo. Posteriormente, se abre la hoja de vida del material inicial en el Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) de AGROSAVIA, y se estipula una etiqueta dependiendo de la variedad. El material permanece en observación durante 2-4 semanas, para realizar un seguimiento de la presencia de contaminación y del desarrollo de las plantas. Si durante el tiempo de incubación se observa alguna contaminación o cualquier característica de no conformidad en los materiales, se debe reportar en el Registro de Productos No Conformes (PNC), ubicar el material en el sitio asignado para PNC y llevar a cabo el manejo respectivo.



Figura 7.1. Material vegetal. a. Material vegetal del CIAT; b. Indexado y rotulado de plantas, para entrega a AGROSAVIA mediante acuerdos de transferencia de material (ATM).

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes y Rocío Margarita Gámez Carrillo

Micropropagación *in vitro*

Transcurrido el tiempo de observación, los tubos con material vegetal se llevan al área de transferencia. Cuando el material cuenta con el tamaño ideal, inicia el proceso de multiplicación de acuerdo con el protocolo estandarizado por AGROSAVIA.

Obtención de explantes

En cabinas de flujo, con ayuda de pinzas y un bisturí, las plantas se extraen de los tubos o contenedores, y se ubican sobre servilletas o papel estéril, o directamente sobre las cajas Petri (figura 7.2). Se procede a quitar las hojas secas, las raíces y parte del tallo para obtener un explante de aproximadamente 1 cm de largo, con mínimo una y máximo tres yemas (figura 7.3); igualmente, se deben separar los explantes apicales de los axilares.



Figura 7.2. Plántulas listas para su división en explantes. a. Plántulas listas para su división en explantes o nudos; b. El material *in vitro* alcanza alturas cercanas a los 5 cm, con raíces y hojas, llenando y alcanzando el borde del contenedor.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

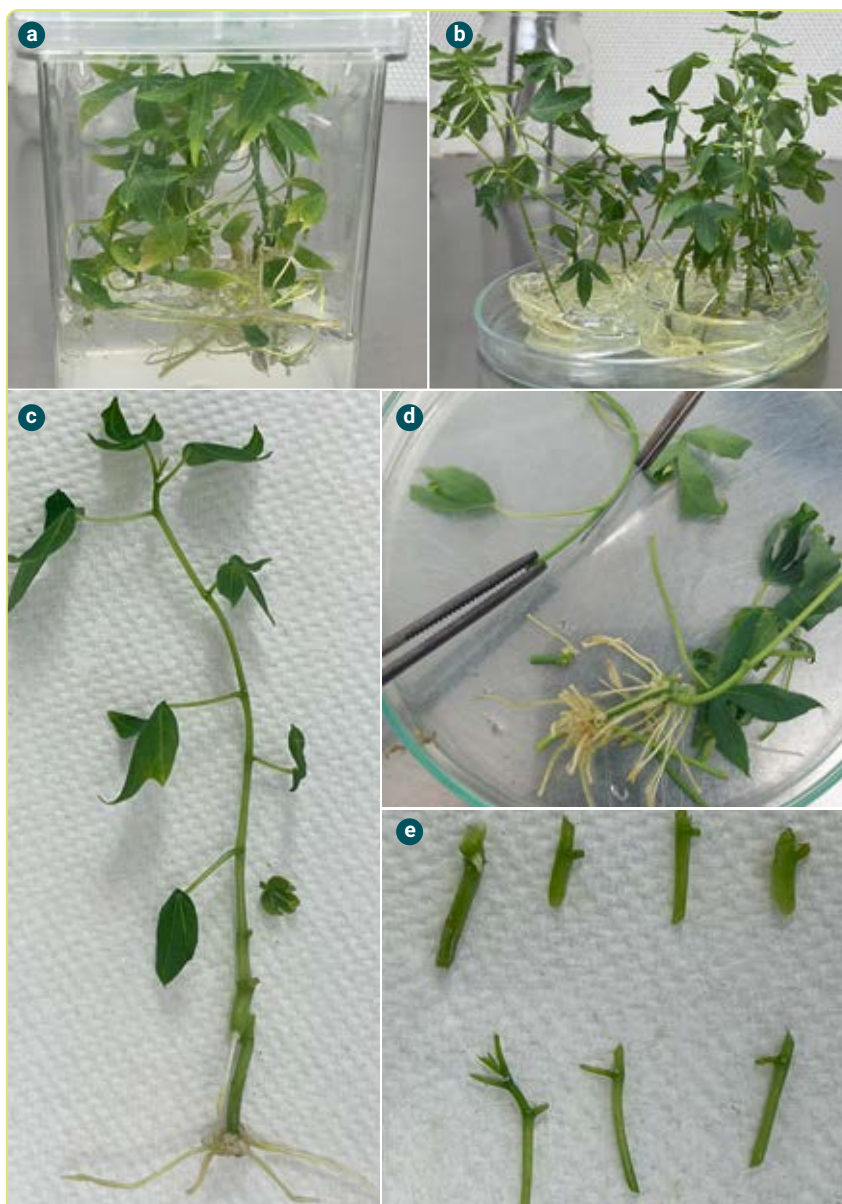


Figura 7.3. Fraccionamiento de la plántula para la obtención de explantes. a, b y c. Secuencia de la selección de las plántulas; d y e. Fraccionamiento e individualización de los nudos o explantes, para el escalamiento de nuevas plántulas *in vitro*. Raíces y hojas son eliminadas.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo y Amaury Aroldo Espitia Montes

Preparación del medio de cultivo

El medio de cultivo ajustado para el establecimiento contiene sales MS (Murashige & Skoog, 1962); está complementado con 1 mg de tiamina, 100 mg de m-inositol, 30 g de sacarosa, 6 g de agar (o 2 g de phytigel), con pH de 5,8, y es esterilizado durante 20 minutos para su posterior tapado y sellado en condiciones de asepsia.

Para el proceso de multiplicación, se prepara el medio de cultivo específico, que contiene MS (Murashige & Skoog, 1962), 1 mg de tiamina, 100 mg de myoinositol, 30 g de sacarosa, 0,5 mg de ácido 1-naftalenacético (ANA), 6 g de agar y un pH de 5,8, y se realiza la siembra en los contenedores.

Siembra de explantes

Los explantes obtenidos son establecidos en contenedores de 750 mL con medio de cultivo para multiplicación; en cada contenedor caben de 10 a 15 explantes (figura 7.4). Después, los contenedores se marcan con la etiqueta asignada al material vegetal. Posteriormente, se llevan a cuarto de crecimiento para incubación por 3-6 semanas, a 26-32°C de temperatura, con 10-16 horas de fotoperiodo (figura 7.5). Los contenedores son ubicados en el estante respectivo, y se registra el movimiento realizado en la hoja de vida del material vegetal.

Desde el mismo momento en que el material es trasladado al cuarto de crecimiento hasta el siguiente cambio de fase, se debe monitorear frecuentemente el comportamiento de los explantes para cerciorarse de que presenten una respuesta positiva en cuanto a formación de plántulas con buen desarrollo y vigor. Si durante el tiempo de incubación se observa contaminación o cualquier característica de no conformidad en los materiales, se debe reportar en el Registro de PNC y realizar el manejo respectivo vigente. Se debe

repetir el procedimiento anterior cada 3-6 tres semanas,
hasta obtener la cantidad de plantas requerida.



Figura 7.4. Siembra de explantes de yuca en contenedores.

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes



Figura 7.5. Plántulas de yuca en cuartos de crecimiento, con el fotoperíodo requerido.

Fotos: Jhon Jairo Roperó Rodríguez

Material micropropagado

Al cumplir las cantidades programadas, se deben seleccionar contenedores con plantas bien desarrolladas (5-10 cm de altura, buen desarrollo de la parte aérea y adecuado sistema radicular) y llevarlos al área de preparación del material vegetal. Después, se sacan las raíces del contenedor y se lavan cuidadosamente con agua limpia, para eliminar residuos del medio; además, se sumergen en una solución fúngica a base de oxiclورو de cobre por tres minutos (figura 7.6). Luego, las plántulas se clasifican por tamaño, se envuelven en papel húmedo y se llevan al invernadero para iniciar el proceso de endurecimiento (figura 7.7).



Figura 7.6. a. Plántulas de yuca para endurecimiento, retirando el agar del medio de cultivo; b. Proceso de desinfección en una solución antifúngica.

Fotos: Jhon Jairo Roperó Rodríguez



Figura 7.7. Plántulas provenientes de laboratorio para llevar a invernadero.

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes

Cuando el material se va a enviar a los invernaderos en las diferentes ciudades, se ubican 50-100 plantas por contenedor de 750 mL y se agregan aproximadamente 100 mL de agua. Posteriormente, se sellan con vinipel y se coloca una etiqueta con la identificación según el código del material. Los contenedores se empaquetan en cajas debidamente rotuladas. Por último, se hace el envío a la ciudad de destino para iniciar el proceso de endurecimiento en el invernadero núcleo.

Aclimatación de plántulas de yuca in vitro en invernadero

Preparación del sustrato

El sustrato le brindará a la planta anclaje y provisión de nutrientes, por lo que se recomienda hacer una mezcla de aluviación, arena y lombricompuesto en proporción del 85 %, 10 % y 5 %, respectivamente; luego, se llenan bandejas de 24 alveolos con dicho sustrato (aproximadamente 8,2 kg de sustrato)

y se desinfecta con una solución de 2.0 mL L⁻¹ 1.3 Diformil 3 Propano) (figura 7.8).



Figura 7.8. Desarrollo y crecimiento de las plántulas provenientes del laboratorio, aclimatadas en el invernadero y establecidas en un sustrato específico debidamente desinfectado. a. Estadios iniciales de crecimiento; b. Planta desarrollada y aclimatada a condiciones externas.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Sin embargo, también se han encontrado las siguientes opciones para los sustratos en condiciones de invernadero:

- **Opción 1:** aluvión, ceniza de cascarilla de arroz y lombriabono, en proporción del 85%, 10% y 5%, respectivamente.
- **Opción 2:** arena y lombriabono, en proporción del 75% y 25%, respectivamente, recomendada para endurecimiento.
- **Opción 3:** arena, aluvión y lombriabono, en proporción del 50%, 30% y 20%, respectivamente, recomendada para multiplicación.
- **Opción 4:** lombriabono y arena, en proporción del 50% y 50%, respectivamente.

Para la desinfección, se encuentran las siguientes opciones:

- **Opción 1. Solarización:** el sustrato preparado se esparce sobre un plástico negro, manteniendo una capa de 10 cm de espesor, en un área sin sombra; el sustrato se humedece y se cubre con el plástico, a fin de alcanzar una temperatura promedio de 70 °C, necesaria para la eliminación de microorganismos patógenos. Este proceso requiere de 21 a 45 días, dependiendo de las condiciones ambientales.
- **Opción 2. Química:** se prepara la solución desinfectante utilizando 5 mL/L de agua. Diez litros de esta solución alcanzan para cubrir un volumen de 0,3 m³ de sustrato. La aplicación de la solución desinfectante se hace con una regadera o fumigadora, y con ayuda de la pala se mezcla el sustrato para asegurar que la preparación haga contacto con todas las partículas que lo componen. Se deja actuar por 24 horas.

Producción de material vegetal de categoría superélite (SE)

Con ayuda de una espátula, se abre en el sustrato un orificio de aproximadamente 3 cm, se ubica la planta y, para asegurar que la raíz quede totalmente cubierta, se presiona el sustrato.

El endurecimiento de las plántulas se hace gradualmente, y para ello se tienen definidas dos fases:

La fase 1 comprende desde el momento de la siembra hasta las 3-6 semanas después. Dado que la primera semana es la más crítica, ya que se debe acondicionar la planta de condiciones *in vitro* a *ex vitro*, se usa en primer lugar el sarán o polisombra, con 27%-30% de luz, y en segundo lugar el sistema de riego por nebulización y manejando frecuencias

definidas; se cuida que la temperatura y la humedad relativa se mantengan en rangos de 28 a 34°C y del 80 % al 95 %, respectivamente. Los riegos iniciales se realizan a intervalos de 3 a 12 minutos, con frecuencias de 3 a 12 segundos. En esta fase se recomienda el uso de una cobertura que permita mantener la humedad al menos por una semana. A partir de la segunda semana de endurecimiento, se deja filtrar el 40 % de luz solar, se conserva la humedad relativa superior al 80 % y se aplica fertilizante compuesto NPK al sustrato. Se deben hacer monitoreos constantes para identificar la presencia de plagas y enfermedades, y, en caso de ser necesario, se aplica tiametoxam, en dosis de 2 g/L de agua, y azoxystrobin, en dosis de 1 mL/L de agua.

La segunda fase comprende entre la tercera y la sexta semana de endurecimiento; en esta etapa, el sarán o polisombra debe permitir un 60 %-70 % de luz, y se cuida que la temperatura y la humedad relativa se mantengan en rangos de 34 a 38°C y del 60 % al 80 %, respectivamente. Los riegos se realizan a intervalos de 5 a 30 minutos, con frecuencias de 5 a 20 segundos. Se realizan aplicaciones de fungicida y fertilizante, las cuales se repiten una vez por semana en dosis de 2 g y 2 mL/L de agua, respectivamente. En este punto, las plantas deben tener un tamaño de 8-10 cm, para iniciar el proceso de escalamiento.

Escalamiento de plantas de yuca superélite (etapa de invernadero)

El proceso de escalamiento no es más que la regeneración de nuevas plantas superélite, lo cual se consigue mediante repiques del tallo de las plantas base, cortando la sección apical con la ayuda de una tijera y dejando esquejes con dos o tres yemas, a los cuales se les aplica, en su parte basal, la hormona enraizadora ANA (ácido naftalenacético); posteriormente, se siembran en bandejas, en un sustrato previamente desinfectado. Este proceso debe repetirse, cada

cuatro o cinco semanas, en las plantas regeneradas y las bases; se recomienda realizar dos repiques por planta. Una vez cumplida esta tasa de multiplicación, las plantas deben ser trasladadas a viveros o directamente a campo, según el caso (figura 7.9).

Para esta actividad existen dos opciones. La primera consiste en contabilizar el número de plantas por multiplicar para, con base en ellas, y según el coeficiente de multiplicación, calcular el número de conos requeridos para la siembra de los segmentos apicales. Se procede a la preparación del sustrato y al llenado de las bandejas siguiendo las indicaciones descritas anteriormente. Con ayuda de una tijera o bisturí,



Figura 7.9. Multiplicación de semilla superélite de yuca en invernadero núcleo. a. Plantas ya aclimatadas; b. Se realiza corte de apical al que se le aplica hormona enraizadora; c. Se siembra en un nuevo sustrato; d. Así se obtiene semilla superélite de yuca.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

se corta la parte apical de la planta, de forma que se producen dos segmentos (basal y apical). De cada segmento se cortan las hojas, cuidando que solo quede una. Cada segmento apical se sumerge en una solución fungicida durante un minuto y se deja escurrir; luego, la parte inferior de cada segmento apical se introduce en polvo hormonal; posteriormente, cada segmento apical se introduce en un cono de la bandeja y se presiona el sustrato para asegurar que no queden cámaras de aire. Después, se realiza el manejo del material sembrado siguiendo las indicaciones previas. Esta labor se repite una vez más, de tal forma que se asegure que la tasa de multiplicación esté en una proporción de 1:8. De cuatro a seis semanas después, la planta multiplicada está apta para las condiciones de vivero o campo.

Para la segunda opción también se contabiliza el número de plantas por multiplicar para, con base en ellas, y según el coeficiente de multiplicación, calcular el número de conos requeridos para la siembra de los segmentos apicales. Luego, se procede a la preparación del sustrato y al llenado de las bandejas siguiendo las indicaciones descritas previamente. En este caso, con ayuda de una tijera o bisturí, se corta la planta separando la parte apical de los segmentos axilares, de forma que se obtengan de 3 a 5 segmentos (axilares y apical), más el basal, que queda en la bandeja de origen. De cada segmento apical se cortan las hojas, cuidando que solo quede una. Todos los segmentos obtenidos del corte se sumergen en una solución fungicida durante un minuto y se dejan escurrir; después, la parte inferior de cada segmento se introduce en polvo hormonal; luego, cada segmento se introduce en un cono de la bandeja y se presiona el sustrato para asegurar que no queden cámaras de aire. Posteriormente, se realiza el manejo del material sembrado siguiendo las indicaciones previas. Esta labor se repite una vez más, de tal forma que se asegure que la tasa de multiplicación esté en una proporción de 1:8. De cuatro a seis semanas después, la planta multiplicada está apta para las condiciones de vivero o campo.

Producción de material vegetal de categoría élite

Los materiales vegetales que salen del invernadero núcleo y pasan a viveros locales o directamente a campo reciben el nombre de plantas élite (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015), las cuales se encuentran aclimatadas a las condiciones ambientales. Para realizar el envío del material procedente del invernadero núcleo a otros lugares, se debe diligenciar un formato de envío y un recibo a conformidad del material entregado, el cual debe cumplir con características deseables en cuanto al estado de la raíz y las hojas, el tamaño, el color y la posibilidad de mantener la trazabilidad de las plantas.

Vivero

En ocasiones, las plantas que se producen en el invernadero núcleo pueden ser llevadas a viveros locales de asociaciones de productores, donde se pueden mantener durante 30-40 días para que terminen su proceso de endurecimiento, manteniendo una luminosidad del 60%, regándolas manualmente por la mañana y por la tarde (en caso de que no se cuente con sistema de riego) y aplicando fertilizantes granulados al sustrato, en dosis de 1 g/planta.

Trasplante a sitio definitivo o campo

Una vez las plantas cumplen con las condiciones adecuadas en las etapas de invernadero y vivero, deben ser trasplantadas en campo siguiendo la Resolución 3168 del ICA (2015). En consecuencia, las plantas élite sembradas en campo originan semilla de categoría básica (primera generación); la siembra de semilla de categoría básica produce semilla de categoría registrada (segunda generación), y la siembra de semilla de categoría registrada produce semilla certificada.

(tercera generación). Para tal fin, se requiere de condiciones de manejo diferentes a las aplicadas para la producción comercial, las cuales se presentan a continuación.

Establecimiento del lote para la producción de semilla

Selección, preparación del terreno y siembra

Para la inscripción y siembra de un lote productor de semilla, su manejo debe ser diferente al de un lote destinado a la producción de raíces, por lo que se recomienda que el lote no proceda de siembras de yuca anteriores y que esté al menos a 500 m de distancia de otros lotes de yuca (ICA, 2015). Los suelos deben ser de textura liviana y estar bien drenados y aireados. Para determinar la oferta nutricional del suelo, se deben tomar muestras para realizar un análisis de fertilidad completo y, con base en sus resultados, establecer el plan de fertilización del cultivo (figura 7.10). La densidad de siembra debe ser de 10.000 plantas/ha.

Mantenimiento del cultivo

Es importante que el cultivo permanezca libre de malezas los primeros noventa días, que corresponde al periodo crítico en que estas compiten con el cultivo, por lo que se recomienda, inicialmente, utilizar un herbicida preemergente y, posteriormente, uno posemergente, combinados con controles manuales. Para el manejo de plagas y enfermedades, se deben realizar monitoreos para observar a tiempo su presencia y, en caso de que se presenten afectaciones, aplicar moléculas con acción insecticida y fungicida.

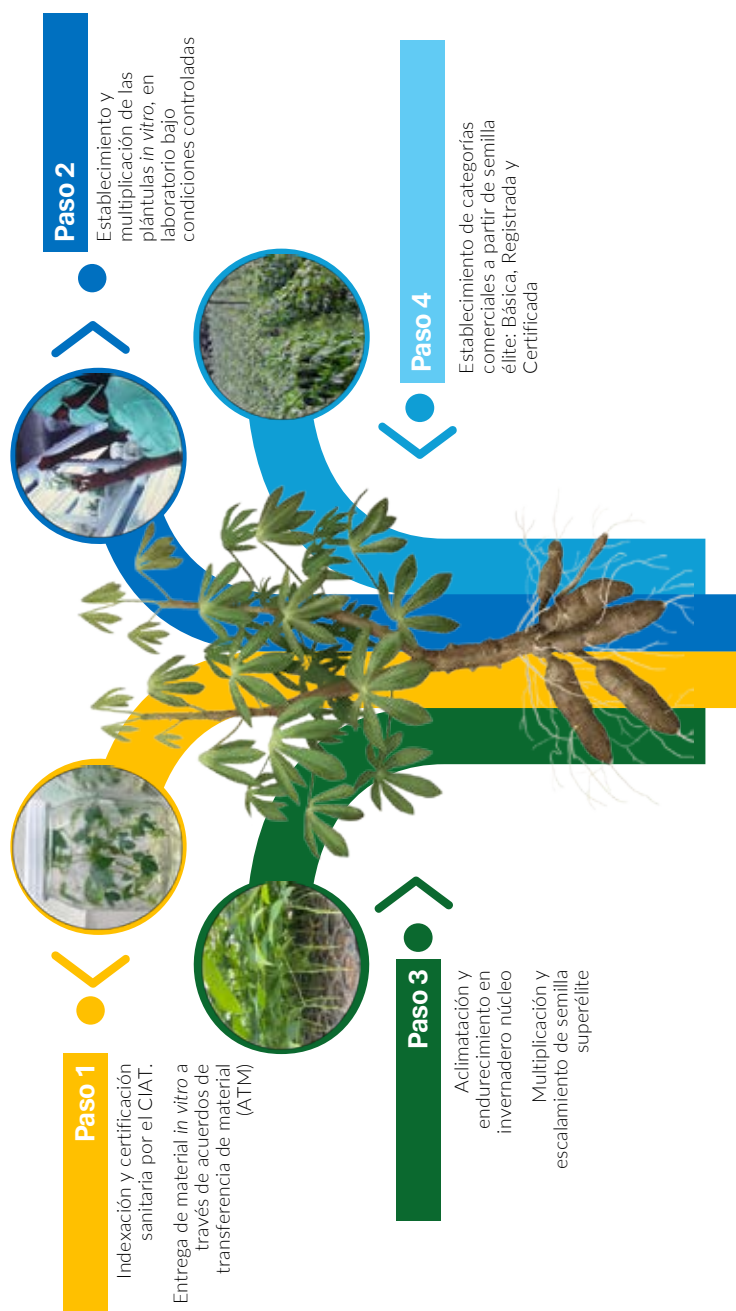


Figura 7.10. Establecimiento del cultivo.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Suministro de riego

El ciclo productivo de la yuca requiere en promedio de 1.400 mm de agua; en caso de que las precipitaciones no aporten esta cantidad, se puede hacer uso de riego complementario para garantizar la calidad de la semilla.

Cosecha y poscosecha

Según la Resolución 3168 de 2015 del ICA, los tallos de yuca deben poseer la madurez fisiológica adecuada a una edad entre 7 y 12 meses después la siembra y estar libres de afectaciones por plagas y enfermedades. Para la cosecha, se deben arrancar las plantas completas, para evaluar el estado fitosanitario de las raíces. Esto se debe realizar bajo la supervisión de los funcionarios del ICA, con el fin de obtener por parte de ellos la certificación para la elaboración de marbetes y códigos de acuerdo con la categoría de semilla para la cual se registró el lote. Esta labor de evaluación de las raíces es importante, ya que si se tienen porcentajes de afectación superiores al 5 %, no se emite la certificación y se rechaza el lote como productor de semilla.

Por otro lado, es importante ratificar que el almacenamiento de la semilla no puede superar los treinta días después de la cosecha, para evitar la deshidratación, el deterioro fisiológico y la pérdida de viabilidad de brotación, que debe estar por encima del 85 %.