

COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE YUCA EN SUSTRATOS Y SOLUCIONES NUTRITIVAS

BEHAVIOR OF CASSAVA GENOTYPES ON SUBSTRATES AND NUTRIENT SOLUTIONS

María Eugenia Sánchez Cevallos¹, Gloria Annabell Cobeña Ruiz², Alma Alexandra Mendoza García², María Virginia Mendoza García¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí-ULEAM, Circunvalación y calle 12-vía San Mateo, Manta, Manabí, Ecuador, Casilla Postal 2732. CP.

²Estación Experimental Portoviejo-INIAP- Km 12 Vía Portoviejo-Santa Ana, Portoviejo, Manabí, Ecuador

Email: gloria.cobena@iniap.gob.ec

Información del artículo

Resumen

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
05/12/2018

Aceptado:
13/05/2019

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
10(1):36-44

Con el objetivo de mejorar los métodos de propagación de plántulas de yuca en forma masiva empleando el Sistema Autotrófico Hidropónico, se evaluaron los genotipos de yuca: INIAP PORTOVIEJO-650 (IP-650), INIAP PORTOVIEJO-651 (IP-651), CM-3306-4-1 y CM-3300-19; en sustratos: turba y fibra de coco, y soluciones nutritivas: Murashige-Skoog, YaraMila-Complex y agua; bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 4x2x3 y tres repeticiones. La interacción de los tratamientos IP-650 con turba más YaraMila-Complex (A1B1C2) presentó las mejores tasas de multiplicación (1:10) en tres meses. El genotipo CM-3306-4-1 fue superior a los demás en algunas variables analizadas como: número de nudos, número de hojas y longitud de raíz principal. La turba fue el sustrato que mostró los promedios más altos en las variables longitud de tallo, diámetro de tallo, número de nudos y número de hojas. En la solución de Murashige-Skoog las plantas expresaron mejor sus características agronómicas. En el invernadero, las plántulas fueron aclimatadas y endurecidas durante 60 días antes de ser llevadas al sitio definitivo, obteniéndose una sobrevivencia del 92,12%. En campo, los genotipos se adaptaron bien a sus nuevas condiciones, de tal forma que la tasa de prendimiento fue del 98,49%. El menor costo de plántula se obtuvo a un valor de \$ 0,39 en los tratamientos IP-650 con turba más YaraMila-Complex (A1B1C2) e IP-650 con turba más agua (A1B1C3).

Palabras clave: Genotipos, propagación masiva, sustrato, soluciones nutritivas, Sistema Autotrófico Hidropónico

Abstract

With the goal of improving the cassava seedlings propagation methods into large scale propagation the autotrophic hydroponic system was applied, the cassava genotypes: INIAP Portoviejo-650 (IP-650), INIAP Portoviejo-651 (IP-651), CM-3306-4-1 and CM-3300-19 were evaluated on substrates: peat, and coconut fiber, and nutrient solutions: Murashige-Skoog, YaraMila-Complex, and water; for the purpose, a completely randomized design with factorial arrangement 4x2x3 and three replicates was carried out. The interaction between treatments IP-650 on peat and YaraMila-Complex (A1B2C2) showed the best multiplication ratio (1:10) in three months. Genotype CM-3306-4-1 was better than the other treatments in some of the variables evaluated such as: number of nodes, number of leaves, and main root length. Peat showed the highest averages for the variables stem length, stem diameter, number of nodes, and number of leaves. The plants treated with the solution Murashige-Skoog best expressed their agronomic characteristics. In the greenhouse, seedlings were acclimatized and strengthened during 60 days before taking them to the field, seedling survival rate was 92,12%. In the field, Genotypes adapted well to their new conditions, in such a way that the survival rate was 98,49%. The lower seedlings cost was \$ 0,39 for treatment IP-650 with peat and YaraMila-Complex (A1B1C2) and IP-650 with peat and water (A1B1C3).

Keywords: Genotypes, massive propagation, substrate, nutrient solutions, autotrophic hydroponic system.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es el segundo cultivo más importante dentro de las raíces y tubérculos,

es el alimento básico de casi mil millones de personas en 105 países, desempeñando una función decisiva en la seguridad alimentaria y la generación de ingresos para millones de productores y sus familias. A más del

consumo humano (Nassar, 2008 y Nassar 2010), es usada en la alimentación animal, se conocen alrededor de 300 productos industriales y con gran potencial como biocombustible (FAO, 2013).

De acuerdo al Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT (1981), la biología de la yuca, no permite la reproducción comercial masiva por medio de semilla sexual, mientras que la propagación tradicional por estacas (asexual), presenta una tasa de multiplicación baja (10-20 estacas/planta/año) en relación a otros cultivos, además, este tipo de reproducción puede transmitir plagas y enfermedades (Fuenmayor *et al.*, 2012), por otra parte, los factores bióticos (artrópodos plagas, ácaros y enfermedades) y abióticos (escasez de precipitaciones o estrés hídrico, pobreza de nutrientes y pH del suelo, entre otros), pueden modificar considerablemente a la planta afectando: altura, vigor, ramificación, calidad de semilla y producción de raíces; siendo sus características genotípicas las más importantes, llegando a su degradación hasta el punto de causar erosión genética. La utilización de estacas de buena calidad, como parte de un conjunto de prácticas agronómicas en el manejo del cultivo, permitirá obtener plantaciones sanas, vigorosas y con buena producción (Arismendi, 2001 y Ospina, 2002).

El cultivo de tejidos es una herramienta que permite resolver problemas relacionados a la baja tasa de multiplicación, sanear materiales locales o introducidos, así como el refrescamiento de variedades (CIAT, 1980). Esta técnica consiste en aislar cualquier parte de la planta, sea esta una célula, un tejido o un órgano para cultivarlo en un medio nutritivo artificial aséptico, que permite producir plantas libres de patógenos a partir de materiales infectados, además, requiere de poco espacio para su almacenamiento, y el potencial de propagación es alto a igual que la estabilidad genética (Fuenmayor *et al.*, 2012).

El Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH), es un sistema que permite obtener mayor cantidad de plantas a partir de plántulas *In Vitro*, combinando técnicas de micropropagación y de multiplicación autotrófica, obteniéndose individuos con buenas características fenotípicas y agronómicas en menor tiempo (a partir de 100 tubos in vitro se obtienen 20 000 plántulas en un mes), mejor calidad fisiológica, adaptación al trasplante y disminución de pérdidas al momento de establecimiento en campo (Rigato, 2001 y Pérez *et al.*, 2013). A través de este método se le proporciona a las plántulas las condiciones físicas adecuadas para que se desarrollen en contenedores plásticos con sustrato y soluciones nutritivas, sin adicionar sacarosa y reguladores de crecimiento, además que reduce las pérdidas al momento del trasplante (Rigato *et al.*, 2001), el tiempo y los costos de producción (Mendoza, 2010).

Considerando lo señalado, se planificó el presente trabajo que tuvo como objetivo mejorar los métodos de propagación masiva de plántulas, empleando el Sistema

Autotrófico Hidropónico en cuatro genotipos de yuca en diferentes sustratos y soluciones nutritivas a nivel de laboratorio, invernadero y campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el sitio “El Cady”, parroquia Colón, provincia de Manabí, entre junio del 2009 y mayo del 2010. Los factores en estudio fueron: cuatro variedades de yuca, dos sustratos y tres soluciones nutritivas. En el cuadro 1, se detallan los tratamientos producto de la combinación de los factores y niveles de estudio.

Los tratamientos se establecieron en un Diseño Completamente al Azar (DCA), en arreglo factorial 4x2x3, con tres repeticiones, conformando 72 unidades experimentales. Para el análisis estadístico de los tratamientos se utilizó el programa estadístico Info-Stat versión 2008, por medio del cual se realizaron los análisis de varianza y comparación de medias (Tukey al 5% de probabilidades).

Cuadro 1. Detalle de los tratamientos, producto de la combinación de los factores y niveles en estudio

Trat.	Genotipos de Yuca	Sustratos	Soluciones nutritivas
T1	INIAP-Portoviejo-650	Turba	Murashige-Skoog
T2	INIAP-Portoviejo-650	Turba	YaraMila-Complex
T3	INIAP-Portoviejo-650	Turba	Agua
T4	INIAP-Portoviejo-650	Fibra de coco	Murashige-Skoog
T5	INIAP-Portoviejo-650	Fibra de coco	YaraMila-Complex
T6	INIAP-Portoviejo-650	Fibra de coco	Agua
T7	INIAP-Portoviejo-651	Turba	Murashige-Skoog
T8	INIAP-Portoviejo-651	Turba	YaraMila-Complex
T9	INIAP-Portoviejo-651	Turba	Agua
T10	INIAP-Portoviejo-651	Fibra de coco	Murashige-Skoog
T11	INIAP-Portoviejo-651	Fibra de coco	YaraMila-Complex
T12	INIAP-Portoviejo-651	Fibra de coco	Agua
T13	CM 3306-4-1	Turba	Murashige-Skoog
T14	CM 3306-4-1	Turba	YaraMila-Complex
T15	CM 3306-4-1	Turba	Agua
T16	CM 3306-4-1	Fibra de coco	Murashige-Skoog
T17	CM 3306-4-1	Fibra de coco	YaraMila-Complex
T18	CM 3306-4-1	Fibra de coco	Agua
T19	CM 3306-19	Turba	Murashige-Skoog
T20	CM 3306-19	Turba	YaraMila-Complex
T21	CM 3306-19	Turba	Agua
T22	CM 3306-19	Fibra de coco	Murashige-Skoog
T23	CM 3306-19	Fibra de coco	YaraMila-Complex
T24	CM 3306-19	Fibra de coco	Agua

Este ensayo se realizó en tres fases (Figura 1)

Fase 1. Campo-Vivero

El ensayo se inició con la selección de plantas madres del banco de germoplasma de la E.E. Portoviejo. Como criterios de selección se consideraron: plantas con madurez apropiada (8-12 meses de edad), vigorosas, productivas, visualmente libres de insectos plagas y enfermedades, metodología empleada por el CIAT (1982).

Una vez obtenidas las estaquillas de aproximadamente 20 cm de longitud, fueron sembradas en fundas de polietileno de 5x8 cm, de color negro perforadas en la parte lateral y en la base y se llenaron de sustrato en una proporción de 2:1 de suelo y arena. Para el mantenimiento de las plantas en vivero se regó con aproximadamente 200 mL de agua/planta, con intervalos de dos veces/semana y fertilización foliar una vez al mes (Librel 1 g/L de agua). Las plantas permanecieron en vivero por un lapso de cuatro meses, a partir del cual se empezaron a cortar los ápices para su posterior siembra *in vitro*.

Fase 2. Laboratorio

El cultivo *in vitro* se inicia con la desinfección de los equipos, instrumentos y otros materiales utilizados, los ápices o yemas fueron desinfectados en alcohol al 70% durante 30 segundos; luego en una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, se dejaron durante 2,5 minutos, pasado este tiempo, se lavaron con agua, hasta no percibir residuos de alcohol y cloro en los mismos. Sobre la platina del estereomicroscopio, con la pinza y un bisturí, se eliminaron hojas y estípulas de la yemas hasta llegar al meristema apical; se realizó un corte a lo largo del cuello morfológico y se sembró el meristema en un “tubo de ensayo” que contenía medio de cultivo de crecimiento (4E), se flameó la boca del “tubo” antes de sembrar y se selló con film plástico.

Posteriormente, los tubos de ensayo fueron ubicados en el cuarto de crecimiento, con fotoperiodo de 12 horas y temperatura de 28°C, hasta el momento de la siembra en los contenedores plásticos.

Preparación del medio de cultivo de crecimiento (4E)

En un vaso de precipitación se disolvió el agar (7 g) en 500 mL de agua destilada y se calentó en el agitador termomagnético hasta que se volviera transparente. En otro vaso de precipitación con agua destilada, se disolvió cada uno de los componentes del medio (Murashige-Skoog (4,3 g), sacarosa (20 g), soluciones madres de BAP (Bencilaminapurina-5 mL), GA (Ácido Giberélico-5 mL), ANA (Ácido Naftalenacético-2 mL), Thiamina (10 mL) e Inositol (12,5 mL)), se mezclaron las dos preparaciones, se ajustó el pH a 5,7 y se aforó a 1000 mL.

Finalmente se dispensó 5mL de medio por tubo de ensayo, los mismos que fueron previamente esterilizados en autoclave durante 20 minutos.

Fase 3. Invernadero-Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH)

Preparación sustratos

Fibra de coco, obtenida de finca de agricultores de la parroquia “Riochico”, la cual fue molida, lavada por dos ocasiones y esterilizada en un autoclave por una hora y la turba utilizada fue la oscura, comercialmente conocida con el nombre PRO MIX-PGX la misma que proviene de la descomposición de restos vegetales, es rica en carbono y nitrógeno.

Preparación de soluciones nutritivas

Se pesó 3,6 g de Murashige-Skoog (MS) y 20 mg YaraMila-Complex (12.11.18), por separado, cada una de ellas se disolvió en 840 mL de agua destilada y para el tratamiento agua se midió 840 mL de agua destilada, soluciones que se utilizaron para regar las plantitas según los tratamientos en estudio.

Acondicionamiento de las unidades experimentales

Los contenedores plásticos, se lavaron y luego se llenaron con los respectivos sustratos (turba y/o fibra de coco) en cantidad de 75 g, posteriormente se regaron con las soluciones nutritivas (Murashige-Skoog, YaraMila-Complex y agua) y se dejaron reposar por un lapso de dos horas para que la solución humedezca todo el sustrato.

Preparación de las plantas iniciales

Una vez seleccionadas las vitroplantas (vigorosas y con buen tamaño de hoja), se les eliminó la parte de la raíz que contenía medio y se utilizó el esqueje apical que tenía tres nudos y medían aproximadamente 4 cm de longitud.

Plantación de los esquejes

Antes de la siembra de los explantes, se realizó un hoyo en el sustrato y luego se plantaron tres esquejes por contenedor para lograr un crecimiento homogéneo; se hizo una leve presión y se cerró el contenedor con una funda plástica, la cual tenía cinco orificios lo que permite el intercambio gaseoso. Finalmente, los contenedores sembrados fueron llevados a la cámara de crecimiento (laboratorio) a 28°C de temperatura y 10 horas luz.



Figura 1. Proceso de multiplicación rápida de plántulas de yuca

Medición de las variables en estudio

Se tomaron en cuenta tres fases de multiplicación: la primera correspondió a los primeros 20 días después que las plántulas pasaron del cultivo *in vitro* al SAH, eliminándose la parte de la raíz; después de 20 días se realizó el segundo corte en SAH e igual procedimiento se hizo para la tercera multiplicación.

Adaptación de plántulas producidas a partir del SAH

Previo al trasplante se retiró el plástico de los contenedores 10 días antes de ser llevadas a invernadero para que se adaptaran a las condiciones del medio.

Endurecimiento y adaptación en vivero

Consistió en llevar las plantas a fundas con sustrato formado por suelo agrícola y arena en una proporción de

2:1 previamente esterilizados en autoclave, las plántulas permanecieron en vivero durante 60 días (30 dentro de cámara y 30 afuera, para adaptarlas especialmente a condiciones de humedad relativa).

Costo de producción

Se efectuó mediante la suma de todos los costos divididos para la cantidad total de plántulas obtenidas por tratamiento.

Datos tomados al finalizar cada fase del SAH

Longitud del tallo.- Se midió desde la base del cuello de la plántula hasta el ápice, se expresó en cm.

Diámetro del tallo.- Medido a 1 cm de la base del tallo utilizando un calibrador Vernier, se expresó en mm.

Número de nudos.- Se contabilizó la cantidad de nudos de cada plántula.

Hojas.- Se contó el número de hojas de cada plántula
Cantidad de raíces.- Para esta variable se arrancó delicadamente una plántula y se contó el número de raíces presentes.
Longitud de la raíz.- Medida desde el cuello de la planta hasta la cofia o punta.
Número promedio de plántulas y tasa de multiplicación.- Se contabilizó la cantidad de plantas obtenidas y este total se dividió para el número de plantas madres (plantas iniciales).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES AGRONÓMICAS DE LAS PLANTAS

El análisis estadístico de los datos obtenidos en laboratorio, mostró significación al 1% de probabilidades en cuanto a genotipos (longitud de tallo, número de nudos y hojas por plántula) y al 5% de probabilidades para la longitud de la raíz principal, en los sustratos (longitud y diámetro de tallo, número de nudos y hojas por plántula), en las interacciones sustrato con solución nutritiva (longitud de los tallos, número de nudos y hojas por plántula y al 5% de probabilidades para el diámetro de los tallos) y solución nutritiva (diámetro de los tallos y cantidad de raíces por plántula, y al 5% de probabilidades para el número de nudos por plántula. (Cuadro 2).

De manera general, los coeficientes de variación para las primeras cinco variables en estudio, presentan rangos de 16,64% hasta 33,80%, valores considerados aceptables, excepto para longitud de raíz principal que presentó un coeficiente de variación alto (43,20%), debido posiblemente a la respuesta de adaptación y desarrollo que tienen los diferentes genotipos a los sustratos y soluciones nutritivas.

Longitud de tallo por plántula (cm) a los 20 días

Dentro de genotipos la prueba de Tukey al 5%, estableció dos rangos de significación, el mayor promedio dentro de esta variable, lo presentó IP-650 con 7,39 cm, mientras que la variedad IP-651, CM-3306-4-1 y CM-3306-19 comparten el mismo rango con promedios que van desde 5,64 cm hasta 5,88 cm; no coincidiendo con Mendoza (2010) al señalar al método SAH con la variedad IP-651 la de mayor longitud (6,59 cm), mientras que la IP-650 alcanzó un promedio inferior (5,61 cm), esta respuesta posiblemente puede estar influenciada por el genotipo.

La prueba de significación de medias para sustratos, determinó dos rangos de significación, donde el mejor promedio de longitud de tallo fue para turba con 7,38 cm, probablemente porque la turba al provenir de la descomposición de materia orgánica, es rica en carbono y

nitrógeno y aporta con macro y micronutrientes, diferente a la fibra de coco que obtuvo el promedio más bajo con 4,90 cm. Los tratamientos que tuvieron como sustrato la fibra de coco presentaron poco desarrollo, debido posiblemente a que este no aporta con tantos elementos minerales y además retenían mayor humedad. Coincidiendo con lo encontrado por Monne y Miranda (2007), quienes evaluaron el efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero utilizando: turba, suelo, convencional, arena y turba + cascarilla de arroz quemada, concluyendo que para el buen desarrollo de raíces y sostenimiento de la planta la turba es el mejor sustrato por aportar macro y micronutrientes.

Las soluciones nutritivas no presentaron significación estadística; sin embargo numéricamente la solución Murashige-Skoog, sobresale con plantas de mayor longitud de tallo (6,46).

La interacción sustratos más soluciones nutritivas, hay tres rangos de significación, de acuerdo a Tukey 5%, estableciendo que turba con YaraMila-Complex y turba con agua presentan los valores promedios más altos con 7,67 cm y 7,56 cm, respectivamente, debido a que la turba aporta mayor cantidad de elementos minerales a diferencia de la fibra de coco con agua que obtuvo menor promedio con 4,29 cm. Las soluciones nutritivas en combinación con el sustrato fibra de coco presentaron los valores más bajos, ya que esta presenta en su composición bajo contenido de minerales por lo tanto el aporte es mínimo.

Diámetro de tallo de plántula (mm) a los 20 días

En los sustratos, Tukey al 5% estableció dos rangos de significación, determinando que el promedio más alto lo presentó turba con 1,36 mm, distinto al que logró la fibra de coco que obtuvo el menor promedio con 1,25 mm. Esto muestra que la turba permite obtener plantas más robustas, característica asociada a mayor vigorosidad. En un estudio sobre sistemas de multiplicación acelerada en yuca, los mejores promedios se obtuvieron en SAH utilizando turba (Mendoza, 2010).

Se aprecia que para las soluciones nutritivas, Tukey al 5% determinó dos rangos de significación, en el que Murashige-Skoog tiene el mayor promedio con 1,38 mm y comparte rango estadístico a YaraMila-Complex con 1,30 mm y diferente estadísticamente al tratamiento con agua con 1,25 mm. Resultados similares fueron reportados por Pérez *et al.* (2010) en la multiplicación *in vitro* de *Aloe Barbadensis* Mill, utilizando para el efecto tres medios de cultivo: Murashige-Skoog (MS), Gamborg (B5) y Nitsch y Nitsch (NN), determinando que MS superó a B5 y NN, respuestas que pueden deberse posiblemente a que MS tiene mayores concentraciones de sales minerales.

En la interacción de sustratos más soluciones nutritivas, tukey al 5% mostró tres rangos de significación, estableciendo que fibra de coco+Murashige-Skoog presentó el mayor promedio con 1,39 mm, probablemente se deba a que la fibra de coco tiene la particularidad de retener los nutrientes y liberarlos de forma progresiva, rangos compartidos con los tratamientos turba+Murashige-Skoog y turba+YaraMila-Complex (1,38), siendo diferentes del menor promedio, de 1,16 mm, obtenidos con la complementariedad de la fibra de coco con agua, comprensible, ya que de por sí la fibra de coco no aporta con muchos elementos minerales al igual que el agua.

Número de nudos por plántula a los 20 días

Respecto a los genotipos, se puede observar que tukey al 5% encontró tres categorías de significación, donde el mayor promedio fue para el material CM-3306-4-1 con 4,61 nudos y es igual estadísticamente a IP-651 con 4,26, diferente del menor promedio de 3,44 nudos para IP-650. Este comportamiento posiblemente se deba a la respuesta genética de los materiales (Mendoza, 2010). Esto no coincide con lo estudiado por Pila (2007) que a los 21 días obtuvo 2,70 nudos por plantas, esto probablemente a que se utilizó esquejes apicales y esquejes medios de aproximadamente 1,5 cm.

En los sustratos, tukey al 5% estableció dos rangos diferentes, en los que la turba obtuvo el mayor valor promedio con 4,57 nudos mientras que la fibra de coco logró el valor más bajo con 3,58 nudos. Monne y Miranda (2007), determinaron que la turba es un buen sustrato para el sostenimiento de las plantas. Así mismo, Pila (2007) obtuvo resultados favorables con turba, mostrando es un sustrato apropiado para el crecimiento de plantas, lo que aumenta proporcionalmente el número de nudos.

Para el factor soluciones nutritivas, tukey al 5% identificó dos categorías, donde Murashige-Skoog logró el mayor promedio con 4,35 nudos/planta, siendo diferente al promedio más bajo para el Agua con 3,86 nudos/planta. Pérez et al., (2010) expresan que las soluciones que tienen mayores concentraciones de sales minerales como el MS favorecen el crecimiento de la planta y la formación de nudos.

Cuando interactúan los sustratos con las soluciones nutritivas, Tukey al 5% diferenció dos rangos, en el que turba con YaraMila-Complex confirman el mejor promedio de 4,64 nudos/planta, mientras que Fibra de Coco con YaraMila-Complex fue distinto con el promedio más bajo de 3,08 nudos/planta.

Número de hojas por plántula a los 20 días

En el efecto de los genotipos probados, se puede observar que Tukey al 5% estableció dos rangos de significación donde los materiales CM-3306-4-1 e IP-651 consiguieron los mayores promedios con 5,04 y 4,89 hojas/planta respectivamente, siendo diferente de los materiales CM-3306-19 e IP-650 con los valores más bajos de 4,09 y 3,94 hojas/planta en cada caso. Esta influencia posiblemente se debe al genotipo (CIAT, 1980).

Para los sustratos, Tukey al 5% de oportunidades estableció dos rangos, en donde la turba obtuvo mayor promedio de 5,18 hojas, diferente del valor más bajo 3,81 que lo consiguió fibra de coco. Pila (2007), obtuvo resultados favorables con turba, mostrando que este sustrato es apropiado para el crecimiento de las plantas y por ende la cantidad de hojas es proporcional a los nudos.

Cuando se combinan los sustratos con las soluciones nutritivas, Tukey al 5% de probabilidades mostró tres rangos de significación. La turba con YaraMila-Complex obtuvo el promedio más alto con 5,36 hojas, compartiendo rango el mismo sustrato con agua y Murashige-Skoog con 5,11 y 5,06 hojas respectivamente, y siendo diferente de los promedios más bajos que corresponden a fibra de coco con YaraMila-Complex y agua con valores que oscilan entre 3,42 y 3,58 hojas. La poca cantidad de hojas, posiblemente sea la respuesta de las plántulas al sustrato fibra de coco, que según Baldomero y Zárate (2007) es salino características atribuidas a su origen pudiendo afectar el crecimiento de la planta y la formación de hojas.

Cantidad de raíces por plántula a los 20 días

En cuanto al factor de las soluciones nutritivas, tukey al 5% encontró dos rangos de significación diferentes. Murashige-Skoog tuvo el mayor promedio con 5,10 raíces, distinto del menor valor de 3,96 raíces/plántula para el agua. Resultados parecidos obtuvo Molina (2012) al evaluar varios medios de cultivo y dosis de auxinas y citoquininas para la germinación de semillas de *Comparentia spaciosa*, encontrando que Murashige-Skoog mostró los mejores resultados y sugirió que es una alternativa que puede ser utilizada para diferentes especies.

Longitud de raíz principal (cm) por plántula a los 20 días

En los genotipos, Tukey al 5% de probabilidades mostró dos rangos de significación, obteniendo el promedio más alto para CM-3306-4-1 con 6,16 cm, y compartiendo el

mismo rango con IP-650 e IP-651 con valores que van desde 5,18 hasta 5,59 cm, y siendo diferente de los 4,71 cm que obtuvo CM-3306-19. Esta respuesta se debe posiblemente a que los materiales se comportan de manera diferente según su caracterización genotípica (CIAT, 1980; Pila, 2007).

Número promedio de plantas obtenidas

La mayor cantidad de plantas obtenidas en laboratorio (SAH) fue para el tratamiento INIAP Portoviejo 650+ turba+Yaramila Clomplex con 94 plantas (Cuadro 3).

Costo de plántula por tratamiento

Los tratamientos que presentaron los costos de producción más bajos con respecto a la cantidad total de plantas obtenidas en el Sistema Autotrófico Hidropónico fueron los tratamientos dos (IP-650 + turba + YaraMila-Complex) y tres (IP-650 + turba + agua) a un valor de \$ 0,39 en ambos tratamientos, seguido del tratamiento nueve (IP-651 + turba + agua) que presentó un valor de \$ 0,40 (Cuadro 4).

Cuadro 2. Fuentes de variación del estudio “Comportamiento de genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en sustratos y soluciones nutritivas en Sistema Autotrófico Hidropónico para propagación masiva” E.E.P, 2010

Fuentes de variación	Longitud de tallo (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de nudos	Número de hojas	Cantidad de raíces	Longitud de raíz principal (cm)
Genotipos						
IP-650	7,39 a	1,35	3,44 c	3,94 b	4,35	5,18 a
IP-651	5,64 b	1,35	4,26 ab	4,89 a	4,30	5,59 a
CM-3306-4-1	5,64 b	1,26	4,61 a	5,04 a	4,72	6,16 a
CM-3306-19	5,88 b	1,28	4,00 bc	4,09 b	4,76	4,71 b
Promedio	6,14	1,31	4,07	4,49	4,53	5,41
Tukey 5%	0,49	0,06	0,30	0,32	0,41	0,62
CV %	29,80	16,64	27,63	26,44	33,80	43,20
Sustratos						
Turba	7,38 a	1,36 a	4,57 a	5,18 a	4,61	5,38
Fibra de coco	4,90 b	1,25 b	3,58 b	3,81 b	4,45	5,44
Promedio	6,14	1,30	4,07	4,49	4,53	5,41
Tukey 5%	0,71	0,08	0,44	0,46	0,60	0,91
CV %	29,80	16,64	27,63	26,44	33,80	43,20
Soluciones nutritivas						
Murashige-Skoog	6,46	1,38 a	4,35 a	4,74	5,10 a	5,05
YaraMila-Complex	6,04	1,30 ab	4,03 ab	4,39	4,54 ab	5,72
Agua	5,92	1,25 b	3,86 b	4,35	3,96 b	5,47
Promedio	6,14	1,31	4,08	4,49	4,53	5,41
Tukey 5%	1,51	0,18	0,93	0,98	1,27	1,93
CV %	29,80	16,64	27,63	26,44	33,80	43,20
Sustratos + Soluciones nutritivas						
Turba+Murashige-Skoog	6,90 ab	1,38 a	4,47 a	5,06 ab	7,67	5,78
Turba+YaraMila-Complex	7,67 a	1,38 a	4,64 a	5,36 a	7,56	5,65
Turba+Agua	7,56 a	1,33 ab	4,61 a	5,11 ab	6,90	5,56
Fibra de coco+Murashige-Skoog	6,01 b	1,39 a	4,22 a	4,42 b	6,01	5,37
Fibra de coco+ YaraMila-Complex	4,40 c	1,21 bc	3,08 b	3,42 c	4,40	5,11
Fibra de coco+Agua	4,29 c	1,16 c	3,44 b	3,58 c	4,29	4,98
Promedio	6,13	1,30	4,06	4,49	6,13	5,40
Tukey 5%	1,15	0,37	1,94	2,04	2,63	4,02
CV %	29,80	16,64	27,63	26,44	33,80	43,20

Nota: Promedios con letras distintas en la columna, difieren significativamente según Tukey al 5% de probabilidad.

Cuadro 3. Número de plántulas obtenidas en laboratorio

Tratamientos	No. de plantas en laboratorio	Tratamientos	No. de plantas en laboratorio
1	76	13	47
2	94	14	47
3	88	15	52
4	36	16	31
5	30	17	27
6	30	18	29
7	40	19	40
8	62	20	41
9	68	21	42
10	28	22	30
11	28	23	29
12	30	24	27

Cuadro 4. Costo de plántula por tratamiento

Tratamientos	Personal \$	Solución nutritiva \$	Uso de laboratorio \$	Uso de invernadero \$	Sustratos \$	Total \$	Plantas obtenidas en lab.	Valor de planta \$
1	8,36	13,30	13,66	4,80	3,65	43,77	76	0,58
2	10,34	0,01	16,90	4,80	4,52	36,57	94	0,39
3	9,68	0,00	15,82	4,80	4,23	34,53	88	0,39
4	3,96	6,30	6,47	4,26	15,84	36,83	36	1,02
5	3,30	0,003	5,39	4,80	13,20	26,70	30	0,89
6	3,30	0,00	5,39	4,80	13,20	26,69	30	0,89
7	4,40	7,00	7,19	3,73	1,92	24,24	40	0,61
8	6,82	0,006	11,15	4,80	2,98	25,75	62	0,42
9	7,48	0,00	12,23	4,26	3,26	27,23	68	0,40
10	3,08	4,90	5,03	2,13	12,32	27,46	28	0,98
11	3,08	0,002	5,03	4,26	12,32	24,70	28	0,88
12	3,30	0,00	5,39	3,73	13,20	25,62	30	0,85
13	5,17	8,23	8,45	4,80	2,26	28,91	47	0,62
14	5,17	0,005	8,45	4,80	2,26	20,69	47	0,44
15	5,72	0,00	9,35	4,80	2,50	22,37	52	0,43
16	3,41	5,43	5,57	4,80	13,64	32,85	31	1,06
17	2,97	0,002	4,85	4,80	11,88	24,51	27	0,91
18	3,19	0,00	5,21	4,80	12,76	25,96	29	0,90
19	4,40	7,00	7,19	4,26	1,92	24,77	40	0,62
20	4,51	0,004	7,37	4,26	1,97	18,12	41	0,44
21	4,62	0,00	7,55	4,80	2,01	18,98	42	0,45
22	3,30	5,25	5,39	3,73	13,20	30,87	30	1,03
23	3,19	0,003	5,21	4,80	12,76	25,97	29	0,90
24	2,97	0,00	4,85	4,26	11,88	23,96	27	0,89

CONCLUSIONES

La variedad INIAP Portoviejo-650, se destaca frente a las demás variedades por presentar plántulas con mejor longitud de tallo y diámetro, características asociadas al vigor de una plantita.

La turba en relación a la fibra de coco es la opción tecnológica más adecuada debido a la obtención de

promedios más altos en las variables longitud de tallo, diámetro de tallo, número de nudos y de hojas.

En la solución de Murashige-Skoog las plantas expresaron mejor sus características agronómicas (vigor y tamaño de planta).

La interacción turba con YaraMila-Complex, hizo que las plantas expresaran mejores caracteres que las otras combinaciones.

Con las interacciones de la variedad INIAP Portoviejo-650 con turba más YaraMila-Complex (tratamiento 2) y variedad INIAP Portoviejo-650 con turba más agua (tratamiento 3) se logró producir más plantas a un menor costo (\$ 0,39 por planta) y de mejor calidad.

LITERATURA CITADA

Arismendi, L. 2001. Investigación sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz) en el Oriente de Venezuela. Revista UDO 1(1): 1-10.

Baldomero, H; Zárate, N. 2007. Producción de Tomate (Lycopersicon esculentum Mill) hidropónico con sustratos, bajo invernadero (en línea). Tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, México. 102 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1980. El cultivo meristemas de yuca. Cali, Colombia. 11, 20-22 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Morfología de la planta de yuca. Cali, Colombia. 5, 11-13 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Multiplicación acelerada de material genético promisorio. (en línea). 5 p. Disponible en: <http://books.google.com.ec>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2013. La yuca tiene gran potencial como cultivo del siglo XXI. (en línea). Disponible en: <http://www.fao.org>

Fuenmayor, F.; Montilla, J.; Albarrán, J.; Pérez, M.; Vaccarino, L.; Segovia, V. 2012. Evaluación y selección de clones de yuca (Manihot esculenta Crantz) del Plan Nacional de Semillas del INIA-Venezuela. Resultados Preliminares. Revista Científica UDO Agrícola 12 (1): 17-24.

InfoStat. 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas. Argentina.

Mendoza, M. 2010. Estudios de sistemas de multiplicación acelerada a partir de plántulas In Vitro en tres variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz). Tesis de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Manabí, Ecuador. Universidad Técnica de Manabí (UTM). 5, 13-15, 19 p.

Molina, J. 2012. Evaluación de cinco medios de cultivo: Phytamax, Murashige-Skoog, Knudson, Lindemann

- y Casero) y tres dosis de auxinas y citoquininas para la germinación de semillas en *Comparettia spaciola*. Tesis de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca, Ecuador. 120, 134 – 135 y 141 p.
- Monne, A; Miranda, D. 2007. Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero (en línea). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1(2):152
- Nassar, N.; Ortiz, R. 2008. Genetic resources: Manipulation for crop improvement. *Revista Plant Breeding Reviews*, 31:01-50
- Nassar, N.; Ortiz, R. 2010. Nutrición: Yuca mejorada contra el hambre. *Revista Española científica*. 406:56-61.
- Ospina Patiño, Bernardo; Ceballos, Hernán; Alvarez, Elizabeth; Bellotti, Anthony C.; Calvert, Lee A.; Arias V., Bernardo; Cadavid López, Luis Fernando; Pineda López, Benjamín; Llano R., Germán Alberto; Cuervo Ibáñez, Maritza (eds.). 2002. La yuca en el Tercer Milenio : Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca, Cali, CO. 586 p. (Publicación CIAT no. 327)
- Pérez, J; Albany, N; Vilchez, J; León de Sierra; Molina, N. 2010. Efecto del medio de cultivo en la multiplicación In Vitro de *Aloe Barbadosensis* M. (en línea). Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Química). 453-457
- Pérez, D.; Gómez, T.; Gonzáles, A.; Franco, O.; Rubí, M.; Gutierrez, F.; Serrato, R. 2013. Calidad de plántula en cinco cultivares de papa determinada por la intensidad de luz blanca y tipo de propagación. *Revista Ciencia Ergo Sum*. 20(2): 138-147.
- Pila, L. 2007. Evaluación de 31 clones promisorios de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la agroindustria, en condiciones In Vitro y en el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH). Tesis de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2,12-15, 35, 65 p.
- Rigato, S; González, A; Huarte, M. 2001. Producción de plántulas de papa a partir de técnicas combinadas de micropropagación e hidroponía para la obtención de semilla prebásica. (en línea). *Revista Latinoamericana de la papa*. 118
- Rigato, S. 2001. Beneficios del Sistema Autotrófico Hidropónico. (en línea). Disponible en <http://www.esp.sahtecno.com>.