

**RESPUESTAS DE LA YUCA MTAI-8 (*Manihot* sp.), ESTIMULADA CON ANA
EN UNA LOCALIDAD DEL SINU MEDIO**

**MARTÍNEZ GONZÁLEZ DANIEL JOSÉ
MARZÁN JULIO ERIKA MARÍA**



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y DESARROLLO RURAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
NOVIEMBRE 2020**

**RESPUESTAS DE LA YUCA MTAI-8 (*Manihot* sp.), ESTIMULADA CON ANA
EN UNA LOCALIDAD DEL SINU MEDIO**

**MARTÍNEZ GONZÁLEZ DANIEL JOSÉ
MARZÁN JULIO ERIKA MARÍA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO, MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER TITULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

DIRECTOR

Dr. YURI JANIO PARDO PLAZA

CODIRECTOR

I.A.; ESP. CESAR MUÑOZ PRETEL

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y DESARROLLO RURAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
NOVIEMBRE 2020**

Nosotros, **Daniel José Martínez González** y **Erika María Marzán Julio**, Bajo el artículo 61, acuerdo No. 093 del 26 de noviembre de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba; concertamos que la responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto serán responsabilidad nuestra.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Dr. YURI JANIO PARDO PLAZA
Director

I.A Esp. CESAR MUÑOZ PRETEL
Codirector

Dr. ISIDRO SUAREZ PADRÓN
Jurado

Dr. ALFREDO JARMA OROZCO
Jurado

Montería, Noviembre de 2020

DEDICATORIA

Y si tan solo tuviéramos las palabras perfectas en este momento, podríamos hablar maravillas, podríamos dirigir la dedicatoria más bella y pulcra sin error alguno, pero por tantos motivos nos quedamos cortos.

A ALONSO SEGURA DELGADO...

Al señor Alonso, al viejo Alonso. A él, quien nunca se quedaba quieto. A nuestro amigo, el famoso Ron Compuesto o Ron de Palito.

Son tantas las anécdotas por las cuales agradecerle al señor Alonso, por las cuales nunca olvidarlo. Siempre fue una persona jocosa, nunca le hacía falta un dicho para hacernos entrar en ambiente. Fue él quien nos estimuló y nos ayudó a tomar impulso para hacer realidad esta investigación y aunque ya no está en vida para acompañarnos a culminar esta etapa tan importante, todo esto es para y por él.

Por su labor, por su compañía, por sus grandes anécdotas, por su insistencia, por su paciencia y determinación, por sus incentivos y sobre todo, por todos los conocimientos compartidos y su tiempo invertido en esta investigación; este trabajo es dedicado al Viejo Alonso.

A quien en vida respondiera a: Alonso Segura Delgado “Ron de Palito”



Que en Paz Descanse

A DIOS y a la Vida, que aunque dura sea, tiene grandes momentos.

DANIEL JOSÉ MARTÍNEZ GONZÁLEZ
ERIKA MARÍA MARZÁN JULIO

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, quienes han dedicado toda nuestra vida a guiarnos por las sendas del compromiso y las buenas obras. Ellos quienes nos han dado su apoyo incondicional y a pesar de todos los obstáculos permanecen a nuestro lado y son un pilar importante.

Al Dr. Yuri Pardo Plaza, por ser nuestro tutor y futuro colega. Por acompañarnos e incentivarnos a continuar.

A Cesar Muñoz Pretel, nuestro codirector, amigo y futuro colega, por su tiempo invertido y conocimientos compartidos.

A Alonso Segura Delgado, por todo su apoyo, tan valioso como él. QEPD.

Al profesor Dairo Pérez Polo, por toda su colaboración y empeño en hacer posible esta investigación.

A Juan Daniel Martínez, Carlos Andrés Martínez, Jose Morelo, Oscar López, Luis Miguel Bertel, por su ardua labor y compañía en campo; por animarnos siempre y en todo momento. Y, a nuestros demás amigos y compañeros, que nos animaron a continuar y nos han aceptado como somos.

A Javier, auxiliar de campo de la granja experimental de la FCA, Unicor, por su labor y apoyo en campo.

A José Vicente Villalba, por su compañía y por ser tan humanamente posible un amigo, durante este proceso.

A mi madre Delcy González Hoyos, mis hermanos y mi sobrina, quienes me han acompañado.

A DIOS.

Daniel José Martínez González.

A mis padres Ángel Marzán y Perfida Julio, mis grandes pilares; a mis hermanas y sobrinos, de los regalos más lindos de la vida.

A Daniel Martínez, mi compañero de tesis, mi AMIGO, con quien he compartido la mayor parte de mi vida académica y gran parte de mi vida personal. Él quien siempre ha sido un amigo ejemplar, un apoyo. A quien agradezco por su compañía, respeto y su gran paciencia para conmigo.

A DIOS.

Erika María Marzán Julio.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
2 JUSTIFICACIÓN	18
3 MARCO TEÓRICO	20
3.1 YUCA	20
3.2 ASPECTOS GENERALES	21
3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	21
3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD MTAI-8.....	22
3.3 REGULADOR DE CRECIMIENTO	22
3.3.1 FITORREGULADORES	23
3.4 AUXINAS.....	23
3.4.1 LAS AUXINAS, PRIMERAS FITOHORMONAS DESCUBIERTAS	23
3.4.2 EFECTOS FISIOLÓGICOS.....	24
3.4.3 ÁCIDO α -NAFTALENACÉTICO (ANA) Y SU USO EN LA AGRICULTURA.....	25
3.4.4 REPRODUCCIÓN ASEXUAL	25
3.5 HORMONAGRO.....	25
3.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	26
3.6.1 LAS SIEMBRAS EN COLOMBIA	27
3.6.2 PRODUCCIÓN DE YUCA INDUSTRIAL EN CÓRDOBA	28
3.7 YUCA E INDUCTORES AUXÍNICOS	28
4 OBJETIVOS	30
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	30
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
5 HIPÓTESIS	31
6 METODOLOGÍA.....	32
6.1 LOCALIZACIÓN	32
6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	32
6.3 VARIABLES.....	32
6.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	32

6.3.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	33
6.4	DISEÑO EXPERIMENTAL Y/O MUESTREO	34
6.5	PROCEDIMIENTO	34
6.5.1	MANEJO AGROTÉCNICO.....	34
6.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	35
7	RESULTADOS	36
7.1	ÁREA FOLIAR.....	36
7.2	ÍNDICES FISIOTÉCNICOS	38
7.3	PRODUCCIÓN DE PESO SECO	46
8	CONCLUSIONES.....	54
9	RECOMENDACIONES.....	55
	REFERENCIAS	56
	ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Índices fisiotécnicos y sus unidades.....	33
Tabla 2: Tratamientos.....	34
Tabla 3. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para los índices de crecimiento IAF, RAF, TAN, TCR y TCC.....	40
Tabla 4. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para MS total.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Área foliar promedio	36
Figura 2. Desarrollo del área foliar de la yuca cv. MTai-8 (<i>Manihot</i> sp.).....	37
Fig. 3: IAF.....	38
Fig. 4: RAF.....	40
Fig. 5: TAN.....	41
Fig. 6: TCR.....	43
Fig. 7: TCC.....	44
Fig. 8: Producción de biomasa del cultivo	46
Fig. 9: Acumulación de peso en raíces	48
Fig. 10: Materia seca de raíces cultivo de yuca (<i>Manihot</i> sp.) MTai-8...	49
Fig. 11: Acumulación de peso en hojas	50
Fig. 12: Materia seca de tallos cultivo de yuca (<i>Manihot</i> sp.) MTai8.....	51
Fig. 13: Acumulación de peso en tallos.....	52
Fig. 14: Materia seca de tallos cultivo de yuca (<i>Manihot</i> sp.) MTai8.....	53

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo a: Mapa de campo; distribución espacial de las UM.....	62
Anexo b: Análisis de suelos de la granja experimental de UNICOR.....	63
Anexo c: Análisis de varianza para masa seca total y área foliar (AF) de los tratamientos. Donde CV (%), indica el coeficiente de variación.....	64
Anexo d: Análisis de varianza para masa seca de raíces, hojas y tallos, de los tratamientos. Donde CV (%), indica el coeficiente de variación.....	65
Anexo e. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para área foliar (AF) y acumulación de materia seca de raíces, tallos y hojas.....	66
Anexo e. Análisis de varianza para los índices fisiotécnicos de crecimiento IAF, RAF, TAN, TCR y TCC.....	68

RESUMEN

La investigación se realizó en la variedad MTai-8 de yuca amarga o industrial (*Manihot* sp.) a nivel de campo cultivada en una localidad del Sinú medio del Caribe colombiano, con el objetivo de determinar la respuesta de esta variedad al someter los propágulos de yuca a estímulos con distintas *concentraciones* del bioestimulante auxínico ANA aplicadas en presembrado. La investigación tomó seis meses, donde se tomaron muestreos destructivos cada mes y, a esto se le realizó estudio de algunos de los índices fisiotécnicos, como el RAF, IAF, TAN, TCR y TCC, de igual forma se evaluó el rendimiento en materia seca del cultivo. Antes de la siembra a nivel de campo, las estacas fueron sumergidas durante 15 minutos en bioestimulante auxínico, producto comercialmente conocido como Hormonagro® (ANA 17,2g/L). Las concentraciones del bioestimulante evaluadas sobre el cultivo fueron, 0 ppm (testigo en agua), 100 ppm y 200 ppm. Posterior a esto se montó en ensayo en bloques completamente azar. El efecto de los tratamientos, se hizo visibles a partir de los 60 DDS cuando inició la diferenciación en el incremento de la biomasa de los órganos, mostrando clara diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a la determinación de IAF y RAF el tratamiento de 100 ppm de bioestimulante auxínico se postula como el tratamiento con mayor exposición de área foliar a la radiación. La TAN, TCR, estos índices muestran claras fluctuaciones lo cual indica el desarrollo normal del cultivo para los tres tratamientos; TCC demuestra que el tratamiento de 100 ppm, es el tratamiento con mayor eficacia en cuanto a productividad agronómica. Todo lo que concierne a rendimiento del cultivo durante los seis meses después de la siembra, demuestra que el T2 o estimular las estacas de yuca en presembrado con una concentración de 100 ppm de bioestimulante auxínico es el mejor tratamiento, ya que indujo a obtener los valores más altos en cuanto a eficiencia y, producción y acumulación de biomasa del cultivo. Finalmente, la aplicación de auxinas a 100 ppm a las estacas de yuca variedad MTai-8 en presembrado, demostró que las plantas sufren una mayor diferenciación y se mostró un mejor rendimiento en el desarrollo del cultivo hasta los 6 meses de edad. Adicional a esto, los resultados de esta investigación sugieren que se debe continuar con la investigación de aplicación de auxinas exógenas a nivel de campo, hasta lograr resultados más precisos.

Palabras clave: yuca amarga, estímulos, bioestimulante, ANA, presembrado, índices fisiotécnicos, eficiencia, productividad.

ABSTRACT

The research was carried out on the MTai-8 variety of bitter or industrial cassava (*Manihot* sp.) At the field level cultivated in a locality of the middle Sinú of the Colombian Caribbean, with the objective of determining the response of this variety when subjecting propagules yucca to stimuli with different concentrations of the auxin biostimulant ANA applied in pre-planting. The investigation took six months, where destructive samplings were taken every month and, to this, a study of some of the physiotechnical indices was carried out, such as LAR, LAI, NAR, RGR and CGR, in the same way the performance in dry matter was evaluated of the crop. Before planting at field level, the cuttings were immersed for 15 minutes in auxin biostimulant, a product commercially known as Hormonagro® (ANA 17.2g / L). The concentrations of the biostimulant evaluated on the culture were 0 ppm (control in water), 100 ppm and 200 ppm. After this, a completely randomized block trial was set up. The effect of the treatments became visible from 60 DDS when the differentiation in the increase of the biomass of the organs began, showing clear significant differences between the treatments. Regarding the determination of LAR and LAI, the treatment of 100 ppm of auxin biostimulant is postulated as the treatment with the highest exposure of foliar area to radiation. The NAR, RGR, these indices show clear fluctuations which indicates the normal development of the crop for the three treatments; CGR shows that the 100 ppm treatment is the most effective treatment in terms of agronomic productivity. Everything that concerns crop yield during the six months after sowing shows that T2 or stimulating the cassava cuttings in pre-sowing with a concentration of 100 ppm of auxin biostimulant is the best treatment, since it induced the values to be obtained higher in terms of efficiency and production and accumulation of crop biomass. Finally, the application of auxins at 100 ppm to the cuttings of cassava variety MTai-8 in pre-planting, showed that the plants undergo greater differentiation and a better performance was shown in the development of the crop until 6 months of age. In addition to this, the results of this research suggest that the application of exogenous auxins should be continued at the field level, until more specific results are achieved.

Keywords: bitter cassava, stimuli, biostimulant, NAA, pre-planting, physiotechnical indices, efficiency, productivity.

INTRODUCCIÓN

La yuca -*Manihot* sp.- pertenece a la familia Euphorbiaceae. Esta familia está constituida por unas 7 200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una secreción lechosa. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica. El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz en 1766. Posteriormente, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. (Aristizabal & Sánchez, 2007).

La yuca es un cultivo muy versátil utilizado por pequeños campesinos en más de 100 países. Sus raíces son ricas en hidratos de carbono, mientras que sus hojas tiernas contienen hasta un 25 por ciento de proteínas, además de hierro, calcio y vitaminas A y C. Otras partes de la planta pueden utilizarse como alimento para animales, y el ganado criado con yuca tiene una buena resistencia a las enfermedades y bajas tasas de mortalidad (FAO, 2013).

La yuca es un alimento de gran aceptación a nivel mundial, además de la importancia socioeconómica que tiene y por considerarse, no solo como uno de los componentes principales de la canasta familiar, sino que ha contribuido significativamente en la generación de empleo y como fuente de materia prima en las industrias procesadoras de alimentos para consumo humano y animal; es un producto agrícola que es adecuado para la agroindustrialización y desarrollo de nuevos productos, por ser un cultivo de fácil adaptación a las condiciones climatológicas de muchas regiones; (Villada et al., 2009 & Rosses, 2008; como se cita en Rivera, 2012).

En Colombia, el consumo de variedades industriales ya supera 12% del total de este cultivo. El consumo nacional de yuca industrial supera las 269.000 ton, de las cuales se usan 69.000 ton para almidón y 200.000 ton para otros usos. Entre las principales zonas de producción en la región Caribe se destacan los departamentos de Magdalena, Atlántico, Córdoba y Sucre” (Cardona, 2019).

La variedad C. M Tai se introdujo en el año 1986 con el código de M Tai-8, es un clon que proviene del cruzamiento realizado en Tailandia entre la variedad colombiana MCOL 1684 y la variedad regional Rayong 1. Es considerada amarga por el alto contenido de cianuro en su pulpa (Salcedo et al., 2009)

Uno de los ensayos más antiguos sobre crecimiento vegetal implicó estudios sobre la biología y mecanismos de acción de las auxinas, las primeras hormonas vegetales en ser descubiertas. Las auxinas son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo y crecimiento de plantas. Aunque las auxinas se encuentran en todos los tejidos de la planta, una mayor concentración ocurre en las regiones que están en crecimiento activo (Jordán & Casaretto, 2006).

Trabajos como el realizado por Marín et al. (2009); demuestran que estimular microestacas de yuca con reguladores de crecimiento como ANA, se induce a una

mayor diferenciación, sobre todo en el desarrollo de brotes y raíces. Mientras que la investigación realizada por Burgos et al. (2009); determina que la aplicación de ANA adelantó la diferenciación de las raíces reservantes en dos cultivares de yuca.

Como consecuencia de esto, es posible que al estimular durante un tiempo determinado estacas de yuca de la variedad Mtai-8 con el bioestimulante ANA (ácido 1-naftalenacético), en presiembra y cultivadas bajo condiciones de campo, se induzca una mayor diferenciación de las raíces reservantes, tallos y hojas y, en contexto se probó mediante la determinación de la materia seca que se puede alcanzar un incremento en el rendimiento del cultivo, si este se tratan los propágulos con concentraciones determinadas de bioestimulante auxínico, durante un tiempo determinado. A razón de lo anterior se creó el interés de estudiar la respuesta de la yuca de la variedad Mtai-8 a inducciones con bioestimulantes auxínicos, variando la concentración del producto, sobre el rendimiento, la materia seca y almidón en raíces y con esto determinar que se pueden conseguir incrementos en los rendimientos del cultivo. En último lugar se tiene que el bioestimulante auxínico genera respuestas rápidas y favorables en las plantas de yuca variedad Mtai-8 y los resultados se expresan en la acumulación de biomasa de las raíces y del cultivo en general.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La yuca es el tercer cultivo alimenticio más importante en los trópicos, después del arroz y el maíz. Estimado por los pequeños agricultores por su tolerancia a la sequía y a los suelos infértiles, el cultivo es inherentemente ecoeficiente y ofrece una fuente confiable de alimentos e ingresos. La yuca en Colombia se cultiva en todo el país, en diferentes pisos térmicos y regiones, siendo la más arraigada la Costa Atlántica Colombiana, ya que ancestralmente constituye la principal fuente de ingresos y seguridad alimentaria para la población; adicionalmente hace parte de la identidad cultural y gastronómica (Mosquera, 2016).

La yuca es un producto que se cultiva en muchos países, identificándose variedades comerciales y variedades industriales, clasificación que se realiza de acuerdo al contenido de glucósidos, a nivel de Colombia se destaca como una de las principales raíces tuberosas cultivadas y consumidas (DANE, 2015). Los principales departamentos productores de yuca en Colombia son Bolívar, Magdalena, Nariño, Cauca, Sucre y Córdoba ocupando el 73% de la producción nacional, donde se destaca el departamento de Meta con los mejores rendimientos alcanzando 24.3 ton/ha, esto gracias a los sistemas tecnificados que se manejan en el departamento, entre los cuales se resalta el uso de aplicación de fertilizantes y buen manejo agronómico del cultivo (DANE, 2015).

A nivel global la producción de yuca se caracteriza por ser una actividad realizada en áreas rurales marginales como fuente alterna de recursos en las economías campesinas de países subdesarrollados. Estas condiciones determinan que la producción de yuca se destine en su mayor parte al consumo humano y que presente un escaso desarrollo tecnológico así como bajos niveles de control fitosanitario y asistencia técnica (Leihner, 2002).

No obstante, las inversiones en investigación y desarrollo de medios para la diversificación de la utilización de la yuca han abierto otras posibilidades de uso y mercadeo diferentes a la de consumo humano. Hoy en día, gracias a procesos de industrialización, se extrae de la yuca una amplia variedad de subproductos que van desde alimentos para animales, hasta alcoholes carburantes, pasando por aditivos y adhesivos de uso industrial (Balagopalan, 2002; Ceballos y Ospina, 2002).

La valorización del potencial económico de la yuca ha propiciado el montaje de un programa nacional para el fomento a la industrialización de este producto y la correspondiente producción de materia prima. A través de este programa se han integrado a nivel nacional y local, diversos agentes componentes de la cadena productiva, tales como productores, industriales, investigadores, quienes a través de acuerdos han viabilizado el desarrollo de esta actividad (DANE, 2004).

La yuca es una planta de aprovechamiento integral, ya que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Las raíces en la alimentación humana pueden darse como alimento fresco, croquetas, harina y almidón; en la alimentación animal, como complemento en los concentrados para aves, cerdos y rumiantes; a nivel industrial en la obtención de almidón, harina, alcohol carburante, goma, adhesivos

y pegantes, dextrina, glucosa, sorbitol, acetona, manufactura de explosivos, colorantes y floculante en minería (DANE, 2016).

Según los datos suministrados por el Minagricultura (2019); los cuales evidencian los rendimientos de la producción de yuca amarga en el país y en el departamento, y, además, desconociendo experiencias y/o investigaciones sobre la respuesta que pueda tener la yuca amarga al estimularla con bioestimulantes auxínicos, para aumentar el rendimiento en el cultivo de yuca, en las regiones productoras del Caribe Colombiano. Se pretende abordar la siguiente investigación fundamentándonos en exploraciones, como la de Burgos et al. (2009); quienes comprobaron que la aplicación de ANA (auxinas) adelantó la diferenciación de las raíces reservantes de la variedad Palomita e incrementó el porcentaje de materia seca de dichas raíces en la variedad Amarilla a partir de los 120 días posteriores a la plantación.

En la actualidad, la agroindustria de este sistema productivo está enfocada a la producción de almidones y biopolímeros por lo que se requiere un suministro constante de raíces y sus derivados, para suplir la demanda de raíces de yuca para su posterior procesamiento; pero, el desabastecimiento de yuca amarga, generalmente para segundo semestre del año, representa uno de los inconvenientes más importantes para la industria transformadora que tiende a detener la transformación de la materia prima por la escasez de raíces de yuca (Minagricultura, 2019).

Con base en esta información se generó el siguiente interrogante: ¿es posible que al estimular las estacas de yuca Mtai-8 con el bioestimulante auxínico ANA en presiembra, se logre inducir una mayor diferenciación de raíces reservantes y con ello mejorar los componentes de rendimiento y, finalmente, obtener mayor producción de raíces incrementando los rendimientos en cosecha?

2 JUSTIFICACIÓN

En el departamento de Córdoba se ha venido observando un aumento en la producción de yuca amarga en los últimos años donde se obtuvo un crecimiento de área cultivada del 5% entre el año 2013 y 2014, adicionalmente se presentó un aumento del 3% en los rendimientos ton/ha. Para el año 2014 se aumentó el 25% en las áreas cosechadas de yuca industrial en Colombia, este aumento estuvo altamente influenciado por las cosechas registradas en la Costa Atlántica, las cuales impulsaron al crecimiento y aumento de áreas cultivadas. (MinAgricultura, sioc minagricultura, 2015).

En Colombia se producen cerca de 2 millones ton de raíces al año, y la región Caribe aporta el 50% del total nacional. La siembra de este producto se adapta a diferentes condiciones geográficas, tolera sequías pues la fisonomía de la planta tiene mecanismos de defensa y puede adaptarse a los cambios climáticos (Aguilera, 2012). Así mismo posee ventajas competitivas, entre las que se destacan las nuevas variedades de yuca mejoradas genéticamente, liberadas por el gobierno nacional las cuales en experimento registran un mayor rendimiento en cuanto a toneladas por hectárea, la tradición cultural de los agricultores de cultivar la yuca a través de siglos y que Colombia es reconocida en algunos mercados Internacionales por las propiedades de este producto (Chaverra et. al., 2007).

Según Chaverra et al. (2007); existen variedades con las que se han obtenido rendimientos que van de 40.8 a 56.3 toneladas, con un rendimiento en materia seca que oscila alrededor de 39%. De manera que aspirar a incrementar los rendimientos a 25 toneladas por hectárea en variedades dulces y a más de 40 toneladas en amargas es más que factible.

No obstante, con todos los problemas y limitantes que se tiene para una óptima y eficiente producción de yuca amarga, se busca evaluar y consigo mejorar cada vez más las producciones y los rendimientos de dicho cultivo, mejorando o aumentando el número de raíces reservantes, las cuales son las que resultan ser de interés económico en este caso. Es de resaltar que la yuca en el departamento de Córdoba es una alternativa con un amplio potencial productivo y económico para los productores, ya que esta región presenta condiciones idóneas para la producción agrícola de este cultivo; basándonos en las experiencias productivas y las cifras del Minagricultura, que demuestran que el departamento aporta un 11% del volumen de producción nacional (Minagricultura, 2019).

Un punto importante para la realización del proyecto, se basa en que la yuca es el quinto producto agrícola que más se produce en el país, después de la caña panelera, el plátano, la papa y el arroz; además, la yuca se produce en los 32 departamentos del país, pero es la Costa Atlántica, Los Llanos y el Cauca donde la producción es predominante. Entre las variedades sembradas en el país, resalta la yuca amarga; cultivo que está dirigido a los segmentos industriales de transformación (Minagricultura, 2019).

En Colombia, más exactamente en el Caribe colombiano, no se ha realizado una evaluación de los efectos de cualquier tratamiento con inductores auxínicos sobre los índices fisiotécnicos de la yuca amarga variedad MTai 8, a nivel de campo. Las investigaciones en el tema se circunscriben a trabajos realizados in vitro (Medina et al., 2003; Albarrán et al., 2003). Por su parte, González (1998) expone que las citocininas y las auxinas son los principales reguladores de la micropropagación de esta especie, siendo las concentraciones de las hormonas, las determinantes del crecimiento de la planta.

Otro aspecto específico que justifica la ejecución de este proyecto, es adquirir y generar conocimientos a través de procesos investigativos y comparativos en la producción agrícola de la zona, identificando así producciones locales de yuca, y finalmente, mejorar la producción y rendimiento de este cultivo; bien sabiendo que el país tiene oportunidades comerciales interesantes que ubican a la yuca en distintas cadenas productivas nacionales de importancia; como lo expresa el Minagricultura (2019), que indica que la balanza comercial de la yuca para Colombia es positiva y, además, identifica un alto potencial exportador, especialmente para las variedades de yuca amarga, teniendo en cuenta que en el mundo se está presentando una tendencia a la sustitución de almidones procesados de maíz, por almidones de yuca.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 YUCA

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. Originaria de América del Sur, la yuca fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada extensivamente desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente. Los primeros viajeros europeos reconocieron rápidamente las virtudes de este cultivo y lo distribuyeron por las colonias que los países europeos tenían en África y Asia (Ceballos, 2002).

En el sur del continente, la yuca se conoce como mandioca, nombre que recibe también en Brasil. El nombre en inglés (cassava) puede haberse derivado de la palabra casabi, que entre los indios Arawak significaba raíz (FAO/FIDA, 2000), o bien de la palabra cazabe, que es una torta o galleta seca producida por los indígenas de la cuenca amazónica (Cock, 1989).

Hasta hace pocas décadas, la yuca y sus productos eran poco conocidos fuera de las regiones tropicales, en donde ésta había sido cultivada por muchos años. Este cultivo ha recibido poca atención en otras regiones, en parte porque sus productos no eran exportados, y porque la especie no se adapta a los climas templados. Sin embargo, luego de la creación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia, y del International Institute of Tropical Agriculture (IITA), en Nigeria, alrededor de 1970, por primera vez se iniciaron esfuerzos coordinados para un mejoramiento con bases científicas del cultivo (Cock, 1989). Adicionalmente, numerosos países han desarrollado programas de yuca exitosos. (Ospina, B., 2002).

Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot* de las cuales sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada. Su reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual (Ceballos y De la Cruz, 2002).

La yuca recibe diferentes nombres comunes: yuca en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas, mandioca en Argentina, Brasil y Paraguay, cassava en países anglo parlantes, guacamote en México, aipi y macacheira en Brasil y mhogo en swahili en los países de África oriental (Montoya & Ramírez, 2007).

La planta de yuca crece en una variada gama de condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas; en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano. Aunque la yuca prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos más rentables es su capacidad para crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos períodos de sequía. Sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo. Es un cultivo de amplia adaptación ya que se siembra desde el nivel del mar hasta los 1 800 msnm, a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C, una humedad relativa entre 50% y 90%

con una óptima de 72% y una precipitación anual entre 600 y 3 000 mm con una óptima de 1 500 mm (Montoya & Ramírez, 2007).

Según Aristizabal & Sánchez, (2007); su ciclo de crecimiento desde la siembra a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: es más corto, de 7 a 12 meses, en áreas más cálidas y es más largo, 12 meses o más, en regiones con alturas de 1 300 a 1 800 msnm. Su producción se desarrolla en varias etapas a saber:

- Enraizamiento de las estacas en el primer mes;
- Tuberización, entre el primer y segundo mes o hasta el tercero, dependiendo del cultivar;
- Engrosamiento radical, entre el tercero y cuarto mes o hasta el sexto, dependiendo del cultivar, y
- Acumulación, entre el quinto y sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo.

Esta planta es apreciada por su adecuada adaptación a diferentes ecosistemas, alta tolerancia a la sequía y al ataque de plagas y facilidad de almacenamiento (Giraldo, 2006). A pesar de ser un cultivo de secano, la yuca no produce económicamente en condiciones de deficiencia de humedad, aunque en estas condiciones las plantas crecen y puedan producir (Finagro, 2012). Las raíces de yuca son fuente de carbohidratos que aportan energía proveniente del almidón, mientras que el forraje de yuca es fuente de proteína, fibra y pigmentantes (Gil, 2006).

3.2 ASPECTOS GENERALES

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La yuca (*Manihot sp.*) es una planta perenne leñosa, su tallo es cilíndrico formado por nudos (punto en el que la hoja se une al tallo) y entrenudos (porción del tallo entre dos nudos). El diámetro oscila entre de 2 y 6 cm y la altura entre 1 y 3 m, aproximadamente. Se puede multiplicar mejor en forma vegetativa, por lo tanto los tallos son importantes pues cuando están maduros se cortan en estacas de 7 a 30 cm de longitud con los cuales se propaga la planta. Las hojas son largas, gruesas, rígidas, ensiformes y las producidas en los primeros 3 a 4 meses de vida de la planta son más grandes. Sus flores son pequeñas y sencillas (no presentan ni cáliz ni corola), unisexuales (masculinas y femeninas en una misma planta) y la polinización cruzada es realizada por la acción de los insectos. La raíz es un tubérculo alargado, tiene una corteza externa que es parduzca de aspecto leñoso y una interna que es de color blanco o rosado; sufren un rápido deterioro fisiológico después de que son cosechadas. La pulpa es la parte utilizable de la raíz en donde se almacena el almidón, por lo cual es lo que ha tenido mayor valor económico y corresponde al 80% del peso fresco de la raíz (Ceballos y De la Cruz, 2002).

La presencia de glucósidos cianogénicos, tanto en raíces como en las hojas, determinan el uso final de la yuca. Según los niveles de glucósidos, existen dos tipos de yuca: La dulce que tienen niveles bajos de éstos y puede ser consumida

después de cocinada; y la brava que es considerada venenosa pues posee un alto contenido de glucósidos y necesita un proceso para eliminarlos antes de consumirse, por lo cual esta variedad es generalmente usada para procesos industriales. De acuerdo con el uso final de la yuca se clasifica como de calidad culinaria si se destina para el consumo, o industrial cuando se usa para la producción de harina, almidón, trozos secos, o doble propósito que pueden ser usados tanto para el consumo humano como industrial (Aguilera Díaz, 2012).

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD MTAI-8

La variedad CORPOICA-TAI, liberada en Tailandia como RAYONG 60 en 1987, fue introducida con el código MTAI-8 por CIAT en 1986. Este clon proviene del cruzamiento, realizado en Tailandia, entre la variedad colombiana MCOL 1684 y la variedad regional Rayong 1 (Corpoica, 2004).

Según el Corpoica, (2004); las características morfológicas son:

Planta: De porte medio a alto, alcanzando una altura promedio de 2.00 m

Tallo: Color externo verde grisáceo, corteza del tallo (colénquima) verde claro, epidermis color crema. Bajo condiciones de la costa Atlántica, el tallo ramifica a los 1.20 m y en condiciones de Urabá a 0.90m.

Hojas: Son de color verde claro, ápices pubescentes verde oscuros; el lóbulo central es de forma lanceolada, peciolo verdes con manchas rojizas en el extremo distal y proximal. Color del cogollo verde morado con pubescencia.

Raíces: De color blanco a crema, corteza de color blanco o crema y pulpa crema, tiene forma cónica cilíndrica con pedúnculo corto. Las raíces de esta variedad poseen alto contenido de glucósido cianogénico en la pulpa.

3.3 REGULADOR DE CRECIMIENTO

El funcionamiento normal de una planta requiere de ciertos mecanismos que le permitan regular y/o coordinar las diferentes actividades de sus células, tejidos y órganos. Al mismo tiempo debe ser capaz de percibir y responder a los cambios del medio ambiente. Entre los posibles mecanismos de regulación, el más conocido es el sistema de mensajeros químicos (señales químicas) (Fichet, 2017). Esta comunicación química se establece fundamentalmente a través de hormonas vegetales. Una fitohormona u hormona vegetal se define como una sustancia orgánica, distinta de los nutrientes, activa a muy bajas concentraciones, a veces producida en determinados tejidos y transportada a otro tejido, donde ejerce sus efectos, pero también puede ser activa en los propios tejidos donde es sintetizada (Fichet, 2017).

3.3.1 FITORREGULADORES

Los Fitorreguladores son compuestos orgánicos que actúan en muy pequeñas cantidades en las plantas. Inhiben, promueven o modifican algunos procesos fisiológicos. Por lo tanto la utilización razonable de los fitorreguladores no consiste en sustancias para lograr un desarrollo forzado en los cultivos, sino para restablecer la fisiología normal de la misma, cuando por desviaciones climáticas la planta no sintetiza las hormonas naturales (Jankiewicz, 2003).

Según Rojas, (2010); El fitorregulador (regulador de crecimiento) es un compuesto químico capaz de intervenir en el metabolismo, que actúa en muy bajas concentraciones para activar o deprimir algún proceso en el desarrollo. Estos pueden ser:

Naturales: Producidos por la planta

Sintéticos: Producidos químicamente

Para el mismo autor, algunas fitohormonas tienen la propiedad de acelerar la formación de raíces mediante el aumento de la velocidad de la división celular. Según Alcántara et al. (2019); dentro del desarrollo de las plantas, se requiere de reguladores hormonales, capaces de controlar toda la actividad metabólica en función de garantizar la homeostasis intracelular y extracelular. Cada fitohormona de acuerdo con su estructura química realiza diferentes interacciones para poder cumplir con sus funciones. Las principales fitohormonas utilizadas en el crecimiento vegetal son las auxinas, giberelinas, citoquininas, entre otras.

3.4 AUXINAS

3.4.1 LAS AUXINAS, PRIMERAS FITOHORMONAS DESCUBIERTAS

Rastogi et al. (2013); afirman que las auxinas promueven el alargamiento celular, especialmente de los brotes, e induce el dominio apical y el enraizamiento. Para Lluna, 2006; las auxinas estimulan la elongación celular, la división celular en el cámbium en presencia de citoquininas, la diferenciación de xilema y floema y la formación de raíces laterales y adventicias; producen una curvatura de la punta de la planta hacia la luz, fototropismo; reprimen el desarrollo de brotes axilares laterales manteniendo dominancia apical, retrasan la senescencia de las hojas; pueden inhibir la abscisión de la hoja o el fruto. Para lo anterior, Rastogi et al., 2013; indican que el efecto de la aplicación de las auxinas en las plantas depende de concentración.

Dentro de las auxinas más conocidas a nivel vegetal se encuentra el ácido 3-indolacético (AIA) que es la principal auxina producida de manera natural, aunque también se conocen otro tipo de auxinas que son producidas de manera sintética como el ácido indol-butírico (IBA), el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido α -naftalenacético (NAA) (Alcántara et al., 2019).

Las auxinas a bajas concentraciones producen una aceleración de la respiración que repercute en un intenso metabolismo. Concentraciones que pasan del óptimo deprimen estos procesos (Jankiewicz, 2003).

Existen dos maneras de transportar a las auxinas; uno rápido y de larga distancia, que se lleva a cabo por difusión en el floema y transporta a las auxinas de los órganos jóvenes de la parte aérea al resto de la planta y otro lento y de corta distancia que se da hacia adentro y hacia fuera de la célula y es llevado a cabo tanto por la acción de familias de transportadores de membrana como por difusión (Garay et al. 2014).

3.4.2 EFECTOS FISIOLÓGICOS

El nombre auxina significa en griego “crecer” y se le atribuye a un grupo de compuestos que estimulan la elongación de las células (Maldonado, 2017). Las auxinas coordinan los principales procesos de desarrollo de las plantas, los cuales incluyen:

- Embriogénesis, diferenciación del tejido vascular, el mantenimiento del meristemo y la iniciación de los órganos laterales (raíces laterales, yemas axilares, flores) (Maldonado, 2017).
- Según Rojas (2010); La auxina es dirigida a la zona oscura de la planta lo que ocasiona que las células de esa zona crezcan más en relación a las células que se encuentran en la zona clara de la planta. Esto produce una curvatura de la punta de la planta hacia la luz, movimiento que se conoce como fototropismo.

Según Leyser, 2001; las señales de las auxinas se transfieren rápidamente en una variedad de respuestas que incluyen cambios de dirección del crecimiento, formación de brotes, ramificación de las raíces y la diferenciación vascular.

El proceso de enraizamiento consta de dos etapas: formación de primordios de raíz y crecimiento de raíces; ambas etapas requieren auxinas y sus necesidades dependen de la especie (Acosta, et al., 2000). En este contexto, el enraizamiento de muchas especies es muy rápido en una gran diversidad de sustratos como suelo, arena, turba, vermiculita, etc. (Juárez et al., 2020).

Los niveles de auxina influyen en la percepción de la luz por los fotorreceptores, es decir, citocromos que a su vez afectan el metabolismo general y las vías biosintéticas de las plantas (Facella et al. 2012; Kami et al. 2012). Otros procesos vegetales controlados por las auxinas incluyen la iniciación lateral de la raíz, la producción de etileno, la iniciación del meristemo floral, la diferenciación vascular, el dominio apical, el desarrollo embrionario, la abscisión foliar, la partenocarpia, la diferenciación del floema y el xilema, la formación de yemas florales y el desarrollo del fruto. (Hopkins y Huner, 2004; Smith, 2008; Facella et al. 2012; Muday et al. 2012; Niklas y Kutschera, 2012).

3.4.3 ÁCIDO α -NAFTALENACÉTICO (ANA) Y SU USO EN LA AGRICULTURA

Actualmente es posible encontrar formulaciones a base de compuestos hormonales sintéticos cuya finalidad al ser aplicados en los vegetales es: promover, inhibir o retardar procesos morfológicos o fisiológicos de las plantas. Lo anterior con el objetivo de lograr mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos, que se refleje en mayor rendimiento y rentabilidad para el productor. Estas sustancias son conocidas con el nombre de biorreguladores hormonales o simplemente como biorreguladores. Una de las hormonas sintéticas del tipo auxínico que ha sido sintetizada es el ácido naftalenacético, comúnmente llamado ANA (Intiagri, 2018).

Según Giraldo et al. (2009); existen inductores químicos artificiales, elaborados con ácido alfa-naftalenacético (ANA) como ingrediente activo, que son reguladores fisiológicos que actúan sobre los puntos de crecimiento activo de las raíces de las plantas y afectan las divisiones celulares promoviendo la emisión radical.

El Ácido 1-naftalenacético (ANA) es un regulador de crecimiento vegetal auxínico sintético ampliamente utilizado en agricultura, principalmente en la producción de cultivos hortofrutícolas, así como especies ornamentales. Se emplea para el enraizamiento de esquejes de plantas, para prevenir el aborto de frutos pre-cosecha, en la inducción floral, el raleo de frutos, entre otros procesos (Intiagri, 2018).

Salisbury y Ross (2000) mencionan que la auxina sintética ANA suele ser más eficaz que el ácido indol-3-acético (IAA), al parecer porque no es destruida por la IAA oxidasa ni otras enzimas y, por consiguiente, persiste más tiempo en el sustrato. Del mismo modo, Taiz y Zeiger, 2006; indican que la administración de auxinas promueve la elongación de secciones escondidas de raíces e incluso de raíces intactas de muchas especies, es decir, las secciones separadas responderán drásticamente a la auxina exógena aumentando rápidamente su velocidad de crecimiento. La auxina (ANA) es una hormona de crecimiento que estimula el desarrollo de raíces y que puede combinarse con otras hormonas, las citoquininas para ser más exactos, para controlar la formación de brotes y raíces (Pinto et al., 2012).

3.4.4 REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Una de las principales funciones de las auxinas es la multiplicación celular, a tal grado que son ampliamente usadas en la propagación asexual de plantas (esquejes, estacas, reproducción in vitro) (Intiagri, 2018). El ácido naftalen-1-acético (ANA) es comúnmente utilizados para inducir el enraizamiento (Maldonado, 2017).

3.5 HORMONAGRO

HORMONAGRO® A.N.A. es un bioestimulante preventivo y correctivo de la caída prematura de botones, flores y frutos no maduros. Incrementa la producción hasta en un 25% al fortalecer el pedúnculo de las flores y frutos evitando pérdidas por vientos y lluvias (Colinagro, 2013).

HORMONAGRO® A.N.A. es un activador enzimático de los siguientes procesos fisiológicos en las plantas:

- Activa la división celular
- Regula la maduración
- Mantiene las semillas en un estado de germinación latente
- Promueve la emisión de raíces, la floración y la fructificación

Evita la caída de botones, flores y frutos (Colinagro, 2013).

3.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz, en 1766. Posteriormente, fue clasificada (Pohl, 1827 y Pax, 1910) como dos especies diferentes, dependiendo si se trataba de yuca amarga *M. utilisima* o dulce *M. aipi*. Finalmente se propone que la especie *M. esculentasea* dividida en tres subespecies: *M. esculenta*, *M. flavellifolia* y *M. peruviana*. Sugiriendo que estas dos últimas subespecies son formas silvestres de la versión cultivada *M. esculenta* subespecie *esculenta* (Allem, A. C., 1995).

Acerca del origen de la yuca la más antigua y hasta ahora más sostenida hipótesis se atribuye al botánico y geógrafo de plantas De Candolle en 1967 quien basado en la abundancia de especies silvestres en la parte noroeste del Brasil y evidencias que muestran la antigüedad del cultivo de la yuca en dicha región, propuso que esta fue meramente cultivada allí. También se considera que la yuca fue cultivada por primera vez en Brasil, Venezuela o Centro América. Numerosas evidencias apuntan a que el área de domesticación de la yuca comprende una vasta región desde México hasta Brasil. Esta especie se habría cultivado desde hace 5000 años (Simmonds, N. E, 1976).

La yuca podría ubicarse en una categoría que Harlan (1971) llama cultivos «no-céntricos», es decir, aquellos que parecen no tener un centro obvio ni de origen ni de diversidad y que parecen haberse domesticado en un área muy amplia. (Suárez y Mederos, 2011).

En la época prehispánica, la primera agricultura intensiva desarrollada con asentamientos estables tuvo su origen en la selva amazónica y de allí se difundió por las costas hacia el año 4000 a.C. En el Caribe colombiano, de acuerdo con diversos hallazgos arqueológicos que se señalan más adelante, se presume que el cultivo de yuca silvestre (*Manihot carthagenensis*) sirvió de base para el sedentarismo al permitir el asentamiento estable de una vida aldeana ribereña. Siglos más tarde fue reemplazado por el maíz. En esta época, la yuca fue utilizada como alimento complementario a la recolección de recursos de la fauna fluvial y marina (Uribe y Mora, 2007). Según evidencias de instrumentos líticos encontrados en algunas capas de los concheros ubicados en Puerto Hormiga, en el Canal del Dique (departamento de Bolívar), cuyas fechas datan entre 3100 y 2500 a.C., donde

se encontraron grandes platos pandos o budares para triturar raíces y semillas. Así mismo, en las sabanas de San Marcos, en un sitio llamado El Pozón, sobre una antigua playa de río, se hallaron cuencos y vasijas pandas que tienen fecha de 1700 a.C. También, en La Guajira se encontraron cerámicas fechadas de finales del primer milenio d.C. hasta la segunda mitad del segundo milenio, que permiten plantear la posibilidad de agricultores que cultivaron yuca y maíz (Uribe y Mora, 2007).

En Colombia, la principal zona de producción de yuca es la región Caribe donde se concentra el 42% de la producción nacional (Gottret et al., 2002). Igual que en otros países, el cultivo es manejado por agricultores en pequeñas explotaciones, los cuales utilizan cultivares no identificados conformados por genotipos locales o variedades mejoradas, al desconocer la magnitud de la variabilidad genética (Alzate et al., 2010).

3.6.1 LAS SIEMBRAS EN COLOMBIA

Si bien la yuca es uno de los tubérculos preferidos por los colombianos, después de la papa, en el ámbito industrial el principal uso que se le da está relacionado con el almidón. La diferencia entre ambos tipos es que las yucas dulces son bajas en contenido de cianuro, mientras que las amargas son tóxicas para el consumo en fresco, ya que tienen un alto contenido de cianuro. Otro uso alternativo que ha crecido es su utilización como materia prima en la fabricación industrial de alimentos para animales (Cardona, 2019).

La yuca se caracteriza por su gran diversidad de usos. Tanto sus raíces como sus hojas pueden ser consumidas por humanos y animales de maneras muy variadas. Los productos de la yuca también pueden ser utilizados por la industria principalmente a partir de su almidón para producir harinas, almidón y alcohol. Las raíces de la yuca son fuente importante de hidratos de carbono y las hojas de proteínas, minerales y vitaminas principalmente carotenos y vitamina (Finagro, 2012).

Es recomendable realizar la siembra al comienzo de la estación de lluvias. En Colombia la yuca es cultivada en regiones altas y lluviosas como la andina y la Orinoquía con suelos ácidos e infértiles, en áreas semidesérticas como la Guajira, en suelos fértiles como los del Valle y Tolima y en las selvas tropicales, debido a que este es un país con una diversidad de climas la yuca es un producto altamente adaptable por lo que puede ser cultivado fácilmente (Márquez & Olarte, 2017).

Se recomienda realizar la siembra al comienzo de la estación de lluvias. En aquellas zonas en las que llueva durante todo el año, se podrá planificar la plantación de acuerdo a las demandas del mercado o las necesidades de la industria (Finagro, 2012).

La cosecha se lleva a cabo después de unos diez meses de tiempo de crecimiento, este tiempo lo define el agricultor en función de la productividad. Los tubérculos

pueden permanecer en el suelo durante unos 18 meses, se debe cortar las yucas más grandes para así poder definir si requieren o no más tiempo. Esta es la etapa final del cultivo (Márquez & Olarte, 2017).

3.6.2 PRODUCCIÓN DE YUCA INDUSTRIAL EN CÓRDOBA

La yuca es el quinto bien agrícola que más se produce en el país, después de la caña panelera, el plátano, la papa y el arroz. En Colombia se cultiva yuca en los 32 departamentos, sin embargo es preponderante en la Costa Atlántica, los llanos y el Cauca. En el país se producen diferentes variedades de Yuca, sin embargo la producción se divide en dos grandes segmentos: Yuca Dulce, dirigida principalmente al consumo humano, y Yuca Amarga dirigida a los segmentos industriales de transformación en harinas y más recientemente empaques. (Olarte, 2019)

El consumo nacional de yuca industrial supera las 269.000ton, de las cuales se usan 69.000ton para almidón y 200.000ton para otros usos. Entre las principales zonas de producción en la región Caribe se destacan los departamentos de Magdalena, Atlántico, Córdoba y Sucre”. Resaltando así, el departamento de Córdoba como el segundo productor de yuca en el país, con un 12.9% de la producción (Cardona, 2019).

3.7 YUCA E INDUCTORES AUXÍNICOS

Los reguladores del crecimiento vegetal modifican las características normales del crecimiento de las plantas (Ackerman y Hamemik, 1996) y causan diversas respuestas fisiológicas (Salisbury y Ross, 1994). Las auxinas regulan la proliferación de raíces y su elongación, tanto como la dominancia apical (Mok y Mok, 2001). El ácido 1-naftalenacético (ANA) es una auxina sintética cuya aplicación tanto en viveros como en la producción a campo, ha mostrado la capacidad de inducir el proceso de enraizamiento en diferentes cultivos, tales como forestales, frutales y ornamentales (Weaver, 1999; Hartman y Kester, 2001).

Mejía de Tafur, (2002); señala que durante las primeras semanas, la planta forma raíces fibrosas; de igual modo afirma que durante los primeros meses del cultivo, la formación de hojas se antepone sobre la formación de las raíces de almacenamiento; después, la planta continúa formando hojas, a la vez que almacena almidón en las raíces reservantes. Por su parte Howerler & Cadavid, (1983); indicaron que en la yuca la acumulación de materia seca es lenta durante los meses iniciales, más exactamente durante los dos primeros meses, pero aumenta considerablemente durante los siguientes cuatro meses y esta acumulación de materia seca desacelera durante los últimos 6 meses debido a la caída de las hojas.

Durante su investigación, Burgos et al. (2009); determinaron que el efecto del tratamiento con ANA fue evidente a partir de los 120 DPP, cuando consiguieron tendencias positivas en respuesta a la aplicación del bioestimulante en ambos

cultivares. La aplicación de ANA mejoró de manera significativa el NRR (número de raíces reservantes) particularmente en el cv. palomita. Para esa instancia del ensayo pudieron observar que el tratamiento con ANA adelantó la diferenciación de NRR, respecto a las plantas testigo, favoreciendo la especialización funcional temprana del sistema de raíces de reserva. De igual modo determinaron que mientras que las relaciones de competencia de asimilados dentro del sistema de órganos subterráneos de la planta, hizo que las raíces reservantes se convirtieran en el principal sumidero, respecto de las raíces fibrosas.

Páez (1989b) señala que algunos medios de cultivo para iniciación de cultivo de tejidos en yuca que contienen ácido 1-naftalenácetico (ANA) y bencil aminopurina (BAP) en determinadas concentraciones conducen a la formación de callos. En la evaluación de 19 clones élites de yuca, Marín et al. (2008); encontraron diferencias significativas entre los clones evaluados, en cuanto al desarrollo de la parte aérea (longitud de vitroplantas y número de nudos producidos) y cantidad de raíces mostrado por los mismos, en medio MS con $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ de ANA.

En el estudio realizado por Marín et al. (2009); para la multiplicación in vitro de los cultivares estudiados, el medio M1 (ANA $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ + AG₃ $0,05 \text{ mg L}^{-1}$), fue el mejor inductor para la regeneración de la mayoría de los cultivares evaluados, ya que hubo un desarrollo de brotes y raíces, lo que podría influir en una mejor adaptación de las vitroplantas a nivel de umbráculo y campo.

La aplicación de ANA adelantó la diferenciación de la variable NRR del cv Palomita, por otra parte, al estimular con ANA al cv. Amarilla, se incrementaron los parámetros de calidad, porcentaje de materia seca, diámetro y longitud de raíces de reserva (Burgos et al., 2009).

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la respuesta de la yuca MTai-8 a distintas concentraciones del bioestimulante auxínico ANA aplicadas en presiembra, sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de yuca amarga, cultivada en una localidad del Sinú medio del Caribe Colombiano.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones del bioestimulante auxínico ANA en el comportamiento la yuca variedad MTai-8.
- Determinar la producción de materia seca y su distribución durante las etapas vegetativas y reproductivas de la variedad de yuca MTai-8, tratada con cantidades específicas de bioestimulante auxínico ANA.

5 HIPÓTESIS

Al tratar las estacas de yuca amarga (Mtai-8) con soluciones concentradas de bioestimulante auxínico ANA en presiembra, durante un tiempo determinado se induce a una mayor diferenciación de las raíces reservantes y mejores características de los componentes de desarrollo del cultivo.

6 METODOLOGÍA

Se realizó el estudio de la respuesta de la yuca variedad MTai-8 (yuca amarga o industrial), al someterla en presiembra a estímulos con un bioestimulante auxínico, producto comercialmente conocido como Hormonagro (con una concentración de 17,2g/L de ANA) durante 15 minutos y sembrada a nivel de campo. La respuesta del cultivo, se determinó durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, cuando los especímenes se encontraban en plena competencia de desarrollo, lo cual nos permitiría superar cualquier inconveniente generado por factores como el ambiente, efecto borde, etc.

La siembra se realizó el 13 de septiembre de 2019 prolongándose el estudio hasta marzo del 2020.

6.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en la Granja Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, situada en el kilómetro 3 de la vía que conduce de Montería al municipio de Cereté, con coordenadas geográficas; 8°75' LN y 75° 52' LW, a una altura de 14 m.s.n.m.; se caracteriza por su precipitación promedio de 1200 mm anuales; temperatura promedio anual de 28°C, humedad relativa de 82%, brillo solar variable de 6 a 8 horas diarias, de acuerdo a la estación meteorológica de la Universidad de Córdoba (Palencia et al., 2006). En donde se establecieron unidades de muestreos u observación (UM).

6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se establecieron unidades experimentales de 287 plantas por repetición en cada uno de los tratamientos. Se hicieron muestreos destructivos mensuales de una planta por tratamiento y replica. Las plantas para los muestreos fueron tomadas al azar en cada unidad de muestreo para aleatorizar las posibles heterogeneidades del suelo. Para determinar la respuesta, se evaluó el rendimiento, uno de los factores críticos correspondiente a la materia seca. Para los muestreos mensuales se tomó una (1) planta por replica, para un total de nueve (9) plantas. Se disectaron los órganos de cada planta, se les determinó el peso en fresco en gramos (g); posterior a esto se depositó cada órgano en bolsas de papel (cada uno), se rotuló y se llevó al horno de secado por espacio de 72 horas.

6.3 VARIABLES

6.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Se realizó análisis de suelos para conocer las características del área a utilizar. De igual modo se tuvo en cuenta:

- Edad del Cultivo

- Concentraciones de ANA: se evaluaron las siguientes concentraciones de ANA: 0, 100, 200 ppm. Durante un tiempo de inmersión de 15 minutos, para determinar la respuesta del cultivo.

6.3.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- El Área Foliar, mediante el método gravimétrico propuesto por Evans, 1972.
- Peso seco de órganos, se determinó pesando las nueve muestras (plantas) que se tomaban mensual, en una balanza digital luego de ser retiradas del horno de secado.
- Peso seco de la planta, se determinó mediante la sumatoria del seco de cada órgano (raíces, hojas y tallos).
- Distribución del peso seco, se estableció mediante figuras de distribución de materia seca por órganos.

Índices fisiotécnicos, se calculan siguiendo las siguientes ecuaciones, identificadas y descritas en la tabla 1:

Tabla 1. Principales índices o parámetros morfológicos usados para determinar los índices de crecimiento, sus ecuaciones y unidades. Donde W= es el peso (g), T= tiempo (DDS), As= área del suelo, AF= área foliar en m²

Índice de crecimiento		Ecuaciones	Unidades
Tasa de crecimiento relativo	TCR	$= \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(T2 - T1)}$	g.(g día)
Tasa de asimilación neta	TAN	$= \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)} * \frac{(\ln AF2 - \ln AF1)}{(AF2 - AF1)}$	g.(cm ² día)
Tasa de crecimiento del cultivo	TCC	$= \frac{1}{As} * \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)}$	g.(cm ² día)
Índice de área foliar	IAF	$= \frac{(AF2 + AF1)}{2}$ $= \frac{1}{As}$	adimensional
Relación de área foliar	RAF	$= \frac{\left(\frac{AF1}{W1}\right) + \left(\frac{AF2}{W2}\right)}{2}$	cm ² .g

Para el análisis de los índices fisiotécnicos, se usaron medidas directas tales, de peso seco total de la planta, área foliar total y DDS (días después de la siembra). Finalmente, para realizar el análisis de crecimiento, seguiremos análisis tradicional

o clásico que involucra la toma de datos en función del tiempo en un número determinado de muestras, propuesto por Gardner *et ál.* (2003).

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y/O MUESTREO

Para esta investigación se estudió la respuesta de la variedad de yuca MTai-8 (yuca amarga o industrial); material vegetal el cual fue obtenido de un cultivo comercial ubicado en La Ye, municipio de Sahagún, Córdoba. Dicha investigación fue cuantitativa; utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres tratamientos; los cuales estuvieron distribuidos al azar en cada bloque.

Tabla 2. Descripción de los Tratamientos

Tratamiento	Descripción	Tiempo
T1	Inmersión en agua (se comporta como tratamiento testigo)	15 minutos
T2	Inmersión en ANA 100 ppm	
T3	Inmersión en ANA 200 ppm	

6.5 PROCEDIMIENTO

6.5.1 MANEJO AGROTÉCNICO

Se realizó la selección y posterior preparación del terreno. Dicha preparación consistió de dos pases de disco para disgregar el suelo y un pase de surcadora. Siguiendo a esto, se procedió al demarcado de las unidades de muestreo; una vez todo listo se llevó a cabo la siembra, donde por cada unidad de muestreo se establecieron 287 estacas en posición inclinada.

Siembra

La siembra se realizó el 13 de septiembre de 2019. Para dicha actividad se seleccionó el material vegetal de mejor calidad, se cortaron y se procedió a sembrar las estacas de mejores características visuales. La siembra se realizó manualmente después de haber sumergido el material vegetal en los contenedores con las soluciones, durante 15 minutos; a continuación, se procedió a enterrar los esquejes de 15cm de longitud con una inclinación aproximada de 70°, con densidad de siembra de 287 plantas/unidad de muestreo, en un marco de plantación de 1m x 1m.

Manejo de Malezas

Para el manejo de malezas, se utilizaron dos tipos de control: control manual y control químico. Primeramente, se inició con una aplicación en presiembra de herbicida, producto conocido como Paraquat a una dosis de 2,0 L/Ha, más un

herbicida sellante, comercialmente conocido como Karmex® en una dosis de 1 kg/ha y, a los tres meses después de la siembra se procedió con limpia manual.

6.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

El Área Foliar; se determinó mediante métodos gravimétricos. Siguiendo el modelo lineal propuesto por Evans G. C. 1972. Quien propone que $AF = a + b (W_{\text{Seco}})$, $R^2 = 96,84\%$; donde $1 \text{ Cm}^2 \text{ AF} = 0,004366 \text{ g } W_{\text{Seco}}$.

La distribución del peso seco; para obtener la distribución del peso seco se determinó la proporción de la materia seca del peso de la planta asignada a cada órgano.

Rendimiento mediante la determinación del peso fresco de raíces de las plantas seleccionadas por muestreo. Se tomaron ocho plantas por replicas y se determinó a cada una de ellas:

- Peso fresco y seco (g) de las raíces, gravimétricamente.

Para las variables agrobotánicas, como lo son, el área foliar, el rendimiento, la distribución de la materia seca; los datos se analizaron con un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples de comparación de promedios de Tukey. Se utilizó el programa SAS para el procesamiento de datos.

Las variables fisiotécnicas, TCR, TAN, TCC, IAF, y RAF, se calcularon y se analizó su comportamiento mediante gráficos.

7 RESULTADOS

7.1 ÁREA FOLIAR

El Área Foliar; se determinó mediante métodos gravimétricos. Siguiendo el modelo lineal propuesto por Evans G. C. (1972), en el libro “El análisis cuantitativo del crecimiento de las plantas”; donde se siguió la ecuación de determinación de área foliar mediante métodos gravimétricos y usando la biomasa de las hojas en peso seco ($AF = a + b (W_{Seco})$, $R^2 = 96,84\%$); finalmente, se determinó que $1 \text{ Cm}^2 \text{ AF} = 0,004366 \text{ g } W_{Seco}$. Durante los primeros 6 meses de estudio, el AF del cultivo presentó un crecimiento exponencial que se hizo más evidente entre los 60 a 179 DDS, con un crecimiento significativo (figura 1).

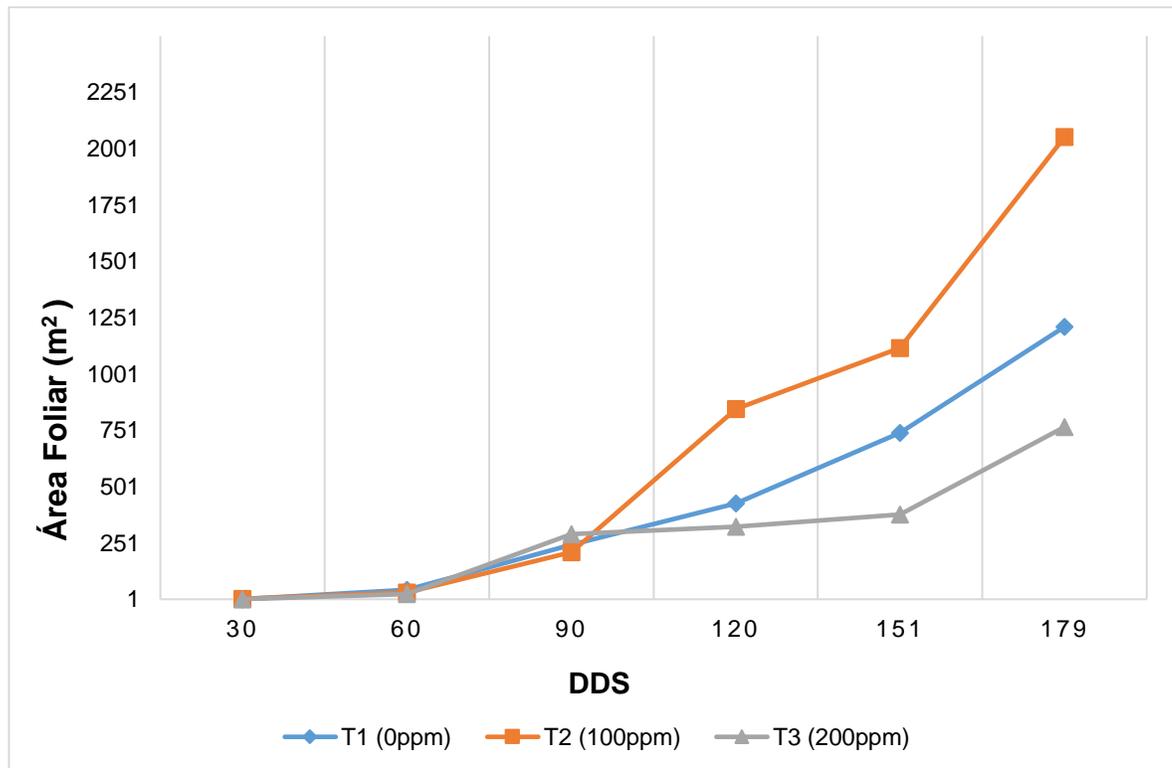


Figura 1. Área foliar promedio para los tratamientos, en yuca (*Manihot* sp.) durante la etapa de máximo crecimiento.

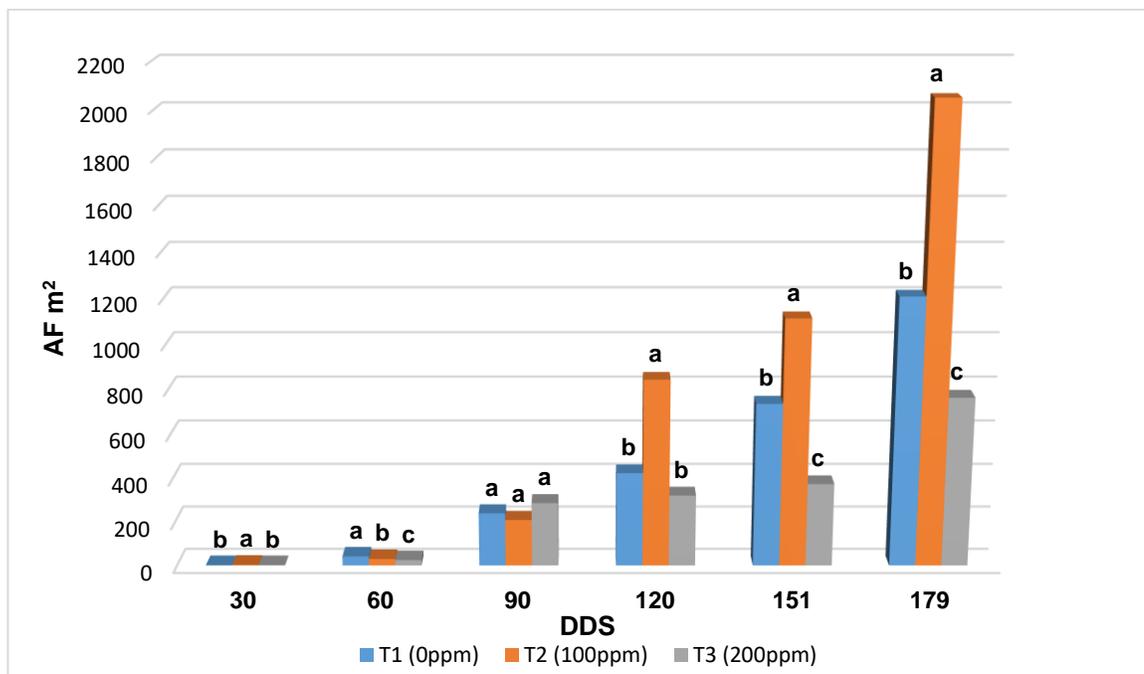


Figura 2. Desarrollo del área foliar de la yuca cv. MTai-8 (*Manihot* sp.). Las letras representan la separación de media. Promedios con letra similar no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($p=0,05$).

Según Aguilar, B.; et al. (2017); la mayor producción de hojas está dado entre los 60 y 150 DDS, siendo los 150 DDS la fase de mayor producción de hojas. Lo anterior queda demostrado en la figura 1, haciendo referencia a que existe una estrecha relación entre el área foliar y el número de hojas; donde se marcó un dinámico incremento en el área foliar para los tres tratamientos.

El comportamiento de cada tratamiento demuestra que el estímulo de la auxina sobre las plantas de yuca afecta de manera positiva a cada tratamiento, expresando un incremento considerable en la producción de área foliar a partir de los 60 DDS. Es el tratamiento T3 (200 ppm) que demuestra una mayor producción de área foliar promedio, presentando incrementos ligeramente notables, esto durante los tres primeros meses del cultivo. A partir los 150 DDS el tratamiento T2 (100 ppm) presentan un aumento imponente en la producción de área foliar, mientras que en el T1 o tratamiento testigo la producción de AF presenta un incremento más pasivo, pero sobresaliendo por encima del T3 (200 ppm ANA). Finalmente, este comportamiento puede llevar a suponer que el efecto de la auxina a 100ppm sobre las plantas de yuca induce a una mayor producción de área foliar.

Como bien se observa en la figura 2, el desarrollo del área foliar de las plantas de los tratamientos fue exponencial, lo cual indica que estuvo creciendo con el tiempo. El análisis estadístico señala que se presentaron diferencias significativas al 1% (Pr

< 0,01) entre los tratamientos, pero para la fecha 90 DDS no hubo diferencias significativas. Los resultados confirman el comportamiento de la gráfica de AF donde el tratamiento T2 (100 ppm) superó en área foliar al resto de los tratamientos; finalmente esto favorecería el crecimiento y desarrollo de las plantas de este tratamiento figura 8 (acumulación de masa seca). En el análisis de varianza y prueba de promedios de Tukey identificados en el anexo c y e; figura 2, se identifican las diferencias significativas entre las concentraciones de bioestimulante auxínico y el tratamiento testigo.

7.2 ÍNDICES FISIOTÉCNICOS

Los índices fisiotécnicos estudiados, permitieron revelar que el estímulo con las concentraciones de bioestimulante auxínico (100 y 200 ppm) y el tratamiento testigo, a las estacas de yuca en presiembra; tuvo efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo.

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

Según Mejía de Tafur, (2002; el índice de área foliar aumenta entre los 3 y 6 meses de edad del cultivo. Esta situación se ve justificada en la siguiente gráfica.

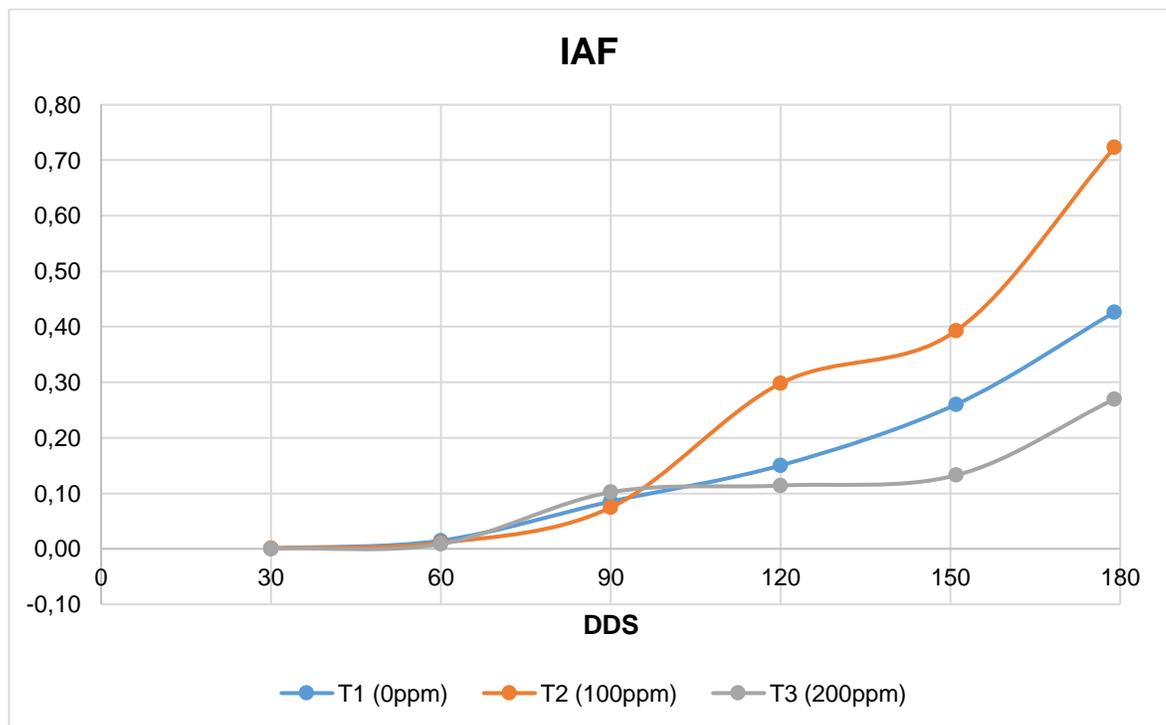


Figura 3. Índice del área foliar para los tres tratamientos en el cultivo de yuca variedad MTai-8, durante los primeros seis meses DDS.

En la figura 3, se evidencia el comportamiento semejante para los tres tratamientos, que muestran un leve incremento hasta los 60 DDS. El comportamiento de los

tratamientos a este índice es comparable al comportamiento de los tratamientos en el área foliar (figura 1). De los 60 DDS en adelante los tres tratamientos incrementan su superficie foliar asimilatoria con más rapidez; en esta nueva etapa el tratamiento T3 se impone por encima de los tratamientos T1 y T2.

A partir de los 90 DDS, se observa claramente que el tratamiento T3 presenta un comportamiento más pasivo; lo cual podría indicar que el rendimiento por unidad de área foliar, de este tratamiento es sutil y que hay menor exposición de área foliar a radiación. Posteriormente, los tratamientos T1 y T2, que hacen referencia a 0 y 100 ppm de bioestimulante auxínico respectivamente, toman fuerza y se sobrepone por encima de T3, pero es el T2 (100 ppm) que obtiene los mejores resultados en este índice; indicando probablemente que este tratamiento indujo a que el rendimiento por unidad de área foliar fuese mayor y por ende que hubiera mayor exposición de área foliar a radiación.

Se identifican las variaciones de las medias de cada tratamiento a este índice. Para esta variable se presentan diferencias significativas al 1% ($Pr < 0.01$), entre los 30 y 60 DDS y, nuevamente entre los 151 y 179 DDS; indicando que entre los 90 y 120 DDS los tratamientos no presentan variaciones de respuesta en estas fechas para este índice (tabla 3). Finalmente, se deduce que este índice presenta diferencias significativas entre los tres tratamientos, lo cual nos lleva a que la respuesta de las concentraciones de bioestimulante auxínico (T2 y T3) respecto al tratamiento testigo (T1) para este índice, son diferentes.

TAN						
(ppm)	DDS					
	30	60	90	120	151	179
0	0,0008807a	0,00082853a	0,0012794a	0,0031694a	0,0022466a	0,0013989a
100	0,0012554a	0,00084851a	0,0008153b	0,0029671a	0,0017354b	0,0010437a
200	0,001024a	0,00082467a	0,0012284ab	0,0038684a	0,0026410a	0,0016832a
TRC						
(ppm)	DDS					
	30	60	90	120	151	179
0	-0,006334b	0,053432a	0,062600ab	0,06045a	0,0513748a	0,0438938a
100	0,02427a	0,049214ab	0,055930b	0,042554a	0,0518369a	0,0449429a
200	0,001311b	0,04828b	0,063668a	0,06003a	0,0480437b	0,0420372b
RAF						
(ppm)	DDS					
	30	60	90	120	151	179
0	182,03a	129,46a	59,286b	32,739a	40,128b	46,841b
100	159,51a	148,52a	88,559a	41,376a	55,376a	66,050a
200	167,68a	125,46a	59,633b	26,426a	32,725c	38,676b

TCC						
(ppm)	DDS					
	30	60	90	120	151	179
0	0,00028318a	0,0030065a	0,013848a	0,010017a	0,003031a	0,0050827b
100	0,00020129b	0,0015867a	0,015302a	0,011928a	0,007725a	0,0061426a
200	0,0001719b	0,0035035a	0,012965a	0,000084a	03005504a	0,0036680c
IAF						
(ppm)	DDS					
	30	60	90	120	151	179
0	0,05847b	1,47028a	8,5205a	15,018a	27,600b	42,625b
100	0,114924a	1,06577b	7,4370a	19,876a	39,267a	72,278a
200	0,058470b	0,86980c	10,1924a	11,400a	13,250c	24,920c

Tabla 3. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para los índices de crecimiento IAF, RAF, TAN, TCR y TCC; desde los 30 hasta los 179 DDS. Promedios con letra similar no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($p=0,05$)

RAZÓN DE ÁREA FOLIAR (RAF)

Los tratamientos mostraron un descenso como respuesta a este índice, mostrando su mayor valor a los 30 DDS; en adelante, se aprecia un descenso evidente.

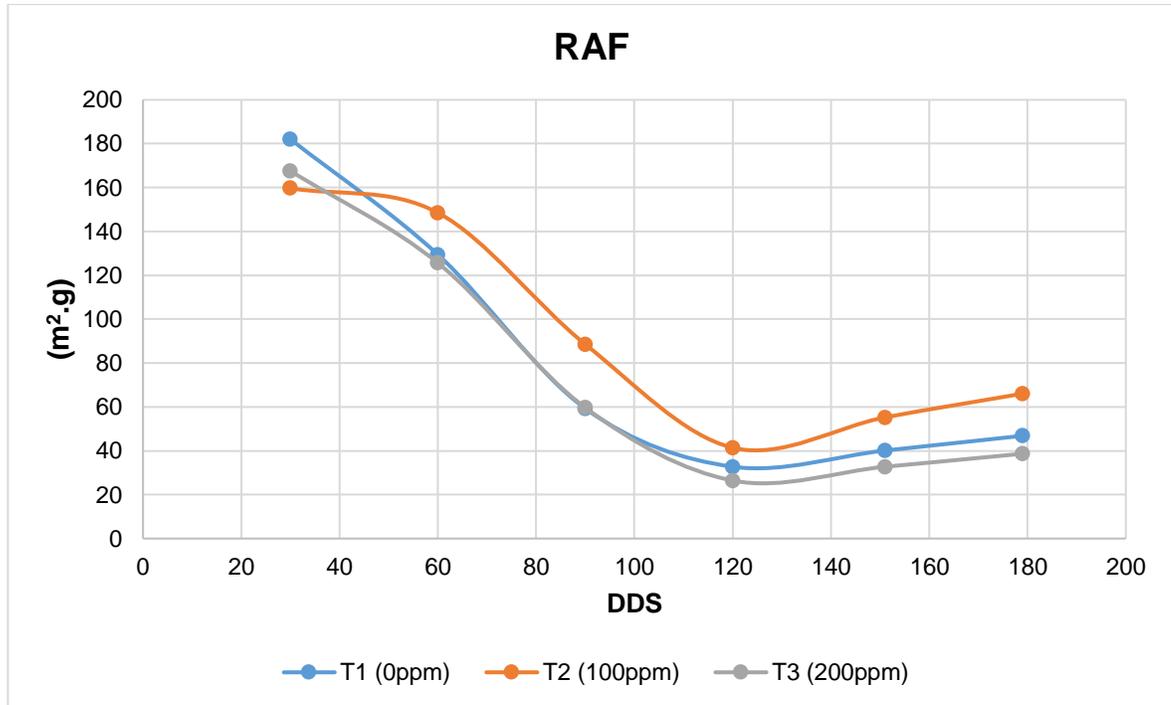


Figura 4. Razón del área foliar para los tres tratamientos en el cultivo de yuca variedad MTai-8, durante los primeros seis meses DDS.

Con esta respuesta por parte los tratamientos, se puede llegar a suponer que la máxima capacidad fotosintética se presentó a los 30 DDS, donde inicialmente el tratamiento T1 estuvo por encima de los T2 y T3. Durante el lapso comprendido después de los 30 DDS se aprecia un comportamiento variable entre todos los tratamientos y el T2 presenta un claro incremento, superponiéndose a los otros tratamientos. Este índice presenta una disminución bastante abrupta para los tratamientos 1 y 3, lo cual nos puede indicar una menor capacidad fotosintética hasta los 120 DDS, cuando tienen un muy sutil incremento. Finalmente, el T2, es el tratamiento que muestra mayor valor a partir de los 120 DDS, indicando una mayor capacidad fotosintética antes los demás tratamientos, se puede apreciar claramente en la figura 4.

Como bien se observa en la figura 4, el comportamiento de los tres tratamientos es muy similar, presentándose diferencias significativas al 1% ($Pr < 0.01$) (tabla 3), a los 90 DDS y entre los 151 y 179 DDS, donde cada tratamiento muestra una respuesta diferente a lo que concierne a capacidad fotosintética de las plantas de cada tratamiento.

TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN)

El análisis de este índice permitió estudiar la eficiencia fotosintética del cultivo sometido a estímulos, durante los seis meses de la investigación. La respuesta se evidencia en la figura 5.

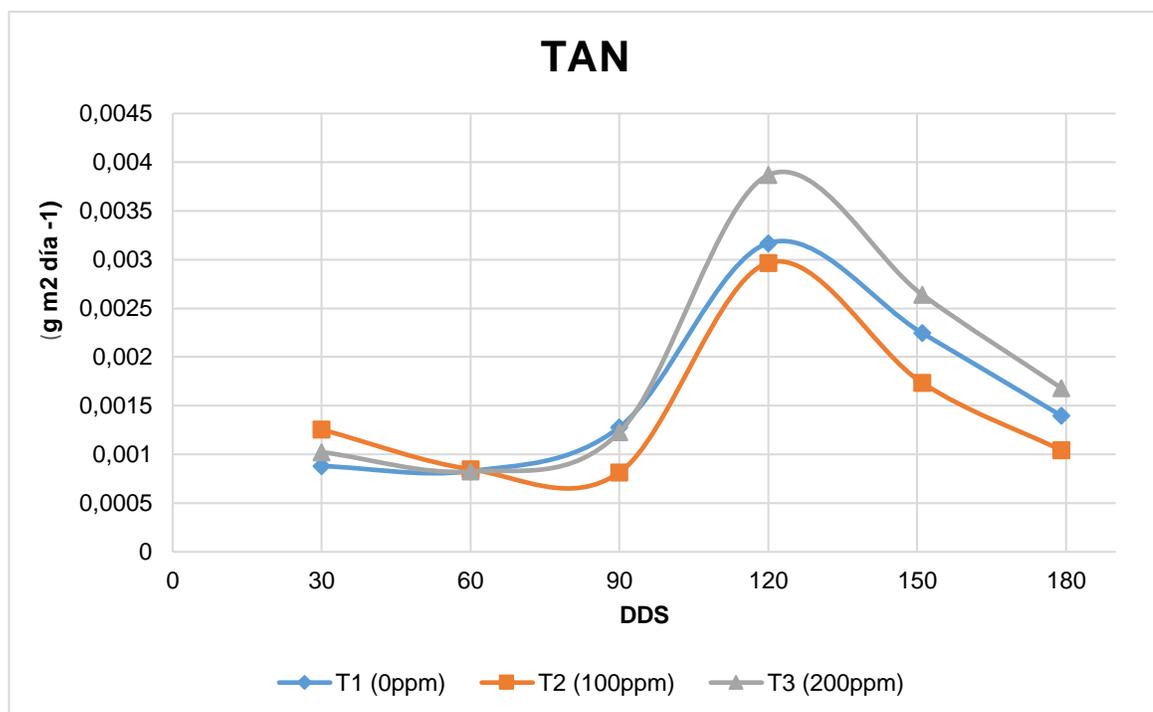


Figura 5. Tasa de asimilación neta para los tres tratamientos en el cultivo de yuca variedad MTai-8, durante los primeros seis meses DDS.

Se sabe que la tasa de asimilación neta (TAN), es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio de las plantas del cultivo; conociendo esto se tiene que, inicialmente, los tratamientos presentan un sutil descenso a partir de los 30 DDS; comportamiento que cambia después de los 60 DDS, cuando los tres tratamientos presentan fluctuaciones en respuesta a este índice. A partir de los 90 DDS el T1 y T3 presentan los mayores valores de eficiencia fotosintética por encima del T2, sin que las curvas se mantengan alejadas. Siguiendo lo descrito por Mejía de Tafur, (2002); quien asegura que durante los 3 primeros meses del cultivo, la formación de hojas tiene prioridad. El mayor valor de cada tratamiento se alcanza a los 120 DDS; en adelante y siguiendo el comportamiento de los tratamientos reflejado en la figura 5, se observa un descenso que indica un desarrollo normal y lo que significa para el cultivo que las plantas entran en etapa de acumulación de biomasa en las raíces.

La acelerada caída de la curva de la razón de área foliar, después de los 120 DDS, se puede contrastar con el incremento de materia seca en las raíces a partir de la misma fecha, lo anterior se evidencia en la figura 9. Finalmente, se puede suponer que este índice favorece al tratamiento T3, que demuestra los mejores resultados y

que la eficiencia fotosintética del cultivo disminuye para que inicie la etapa de acumulación de materia en el órgano de interés.

Siguiendo el comportamiento de los tratamientos en la figura 5; se identifica que la respuesta de las concentraciones y el tratamiento testigo a este índice no es muy diferente, ya que solo se presentan diferencias significativas al 1% y 5% ($Pr < 0.01$; $Pr = 0.01 - 0.05$) a los 90 y 151 DDS respectivamente; indicando finalmente, que no hay diferencias significativas para esta variable evaluada, esta respuesta se evidencia en la tabla 3.

TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO (TCR)

La tasa de crecimiento relativo del cultivo revela cuanto incrementa la acumulación de biomasa en el cultivo, representada en gramos de peso seco por unidad de tiempo o días después de la siembra (Jarma et al., 2010). En la figura 6 se evidencia el comportamiento de los tratamientos a la acumulación de biomasa durante los seis meses de estudio.

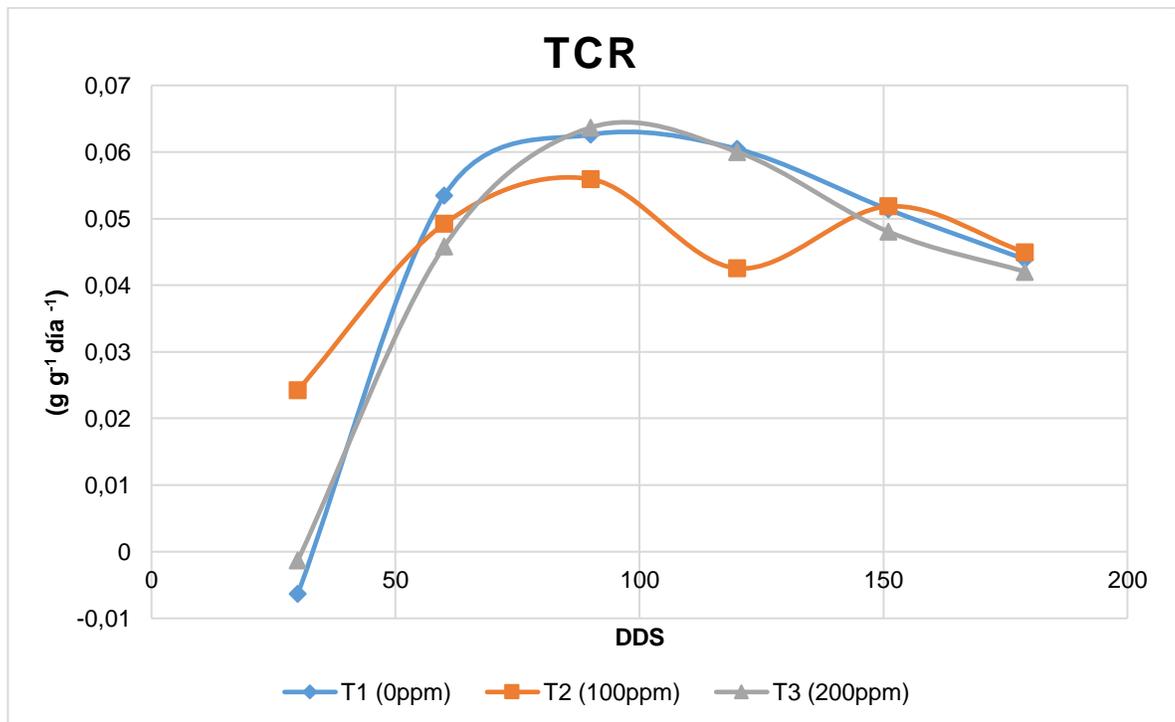


Figura 6. Tasa de crecimiento relativo para los tres tratamientos en el cultivo de yuca variedad MTai-8, durante los primeros seis meses DDS.

En relación a las respuestas obtenidas, este índice presenta fluctuaciones muy notorias entre los tratamientos. Inicialmente, el tratamiento T2 (100 ppm) es quien presenta valores más altos de TCR. A partir de los 60 DDS la respuesta de los tratamientos varía, siendo el tratamiento T1 (testigo) que predomina en esta fecha; a los 90 DDS es la fecha donde se alcanza el valor máximo de TCR por los

tratamientos T1 y T3 (200 ppm), con 0,0626 y 0,0636 g.g⁻¹ día⁻¹ respectivamente. Desde esta fecha, la respuesta de los tratamientos comienza a disminuir. Luego de disminuir el tratamiento T2, después de los 120 DDS presenta un leve aumento que le permite superar a los tratamientos T1 y T3. Finalmente, esto puede significar que los tratamientos presentan un comportamiento normal durante el tiempo de estudio, manifestando que las plantas de los tratamientos son eficientes en la producción de biomasa expresada en gramos de masa seca. Lo anterior se comprueba por lo dicho por Jarma et al., 2010; quien señala que la disminución en los valores de la TCR, están relacionados con el aumento la edad de la planta o directamente con la producción de tejidos no asimilatorios (producción de tejido leñoso) y llenado de las raíces (órgano de interés). (Contrastar las figuras 6 y 9).

Entre el lapso de los 30 hasta los 90 DDS se presentaron diferencias significativas 5%; Pr= 0.01 - 0.05) entre la respuesta de los tratamientos a la tasa de crecimiento relativo, pero esta respuesta se ve interrumpida a los 120 DDS donde no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos; finalmente, a partir de los 151 DDS en adelante la respuesta de los tratamientos vuelve a ser diferente, indicando que se presentan diferencia significativa al 1% (Pr <0.01) entre las concentraciones de bioestimulante auxínico y el tratamiento testigo (tabla 3).

TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC)

Este índice permitió estudiar la eficiencia de las plantas de cada tratamiento del cultivo para la producción de biomasa. Según Jarma et al., 2010; la TCC es un índice de productividad agronómica para plantas que crecen juntas.

La figura 7, muestra que entre los 30 DDS y 90 DDS, los tres tratamientos presentaron un incremento bastante claro, alcanzando su valor máximo a los 90 DDS, después de esa fecha la curva de los tres tratamientos disminuye, pero sin alcanzar valores negativos; lo que indica que los tratamientos disminuyen su eficiencia. Esto se puede constatar con la producción y acumulación de biomasa en las plantas, sobre todo en la eficiencia de producción de biomasa de las raíces (figura 9).

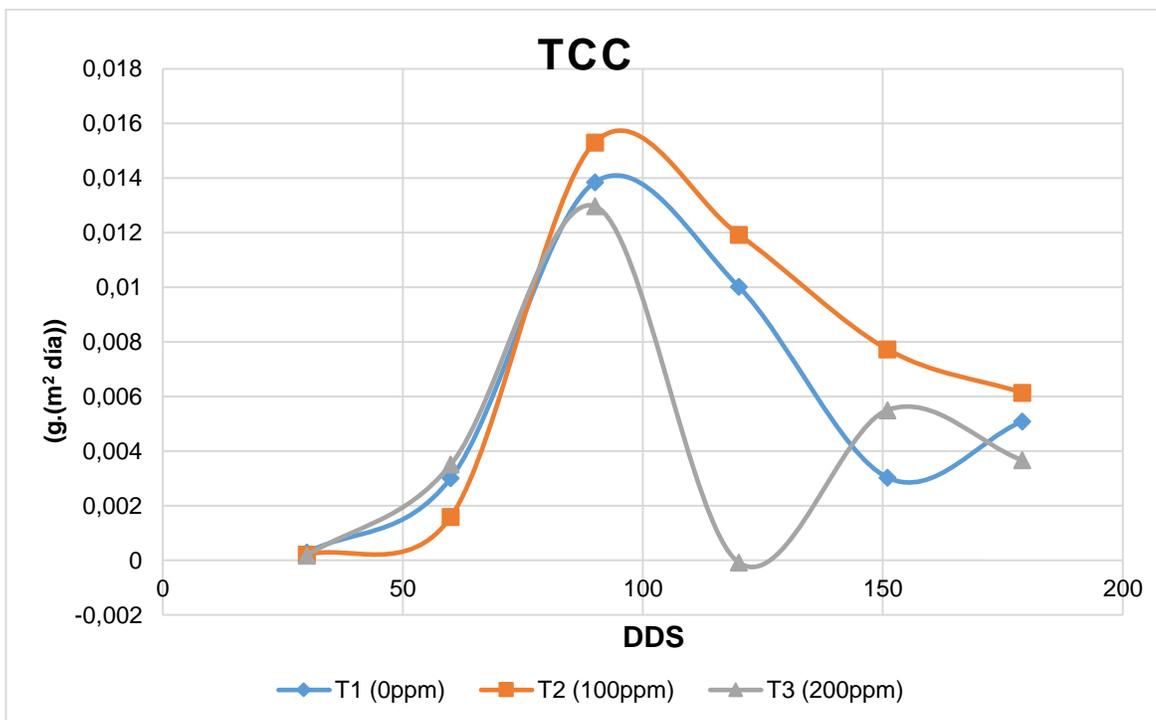


Figura 7. Tasa de crecimiento del cultivo para los tres tratamientos en el cultivo de yuca variedad MTai-8, durante los primeros seis meses DDS.

El tratamiento T3 presenta cambios desde los 30 DDS, cuando inicia la eficiencia productiva de este tratamiento, alcanzando su máximo valor a los 90 DDS y disminuyendo después de esto, igual que los demás tratamientos; pero con la diferencia de que después de los 120 DDS este tratamiento logra un nuevo aumento, lo cual nos puede indicar que las plantas de este tratamiento siguen siendo eficientes, lo que se puede suponer que este tratamiento sigue ganando peso.

Finalmente, como este índice representa la productividad agronómica del cultivo, se puede entender que el tratamiento T2 posee una alta productividad o eficiencia en las etapas iniciales, entre los 30 y 90 DDS y, aunque su eficiencia comienza a disminuir a partir de los 120 DDS, se mantiene por encima de los demás tratamientos; esto nos lleva a deducir que es el tratamiento más eficiente.

El análisis de este índice determina que se presentan diferencias significativas al 1 y 5% ($Pr < 0.01$; $Pr = 0.01 - 0.05$), a los 30 y 179 DDS entre la respuesta de las plantas a las concentraciones y el tratamiento testigo, indicando una respuesta diferente entre los tratamientos. Pero el resto de las fechas revelan que no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos para este índice (tabla 3).

7.3 PRODUCCIÓN DE PESO SECO

La producción de biomasa expresada en gramos de peso seco para el cultivo, con las condiciones que se le dieron para el estudio, presento una tendencia creciente desde el inicio de los muestreos. En la figura 8, se evidencia el comportamiento de la acumulación de biomasa expresada en gramos de peso seco de los tres tratamientos. Aunque, entre los 30 y 90 DDS el crecimiento fue pasivo; a partir de los 120 DDS la acumulación de biomasa se disparó notoriamente.

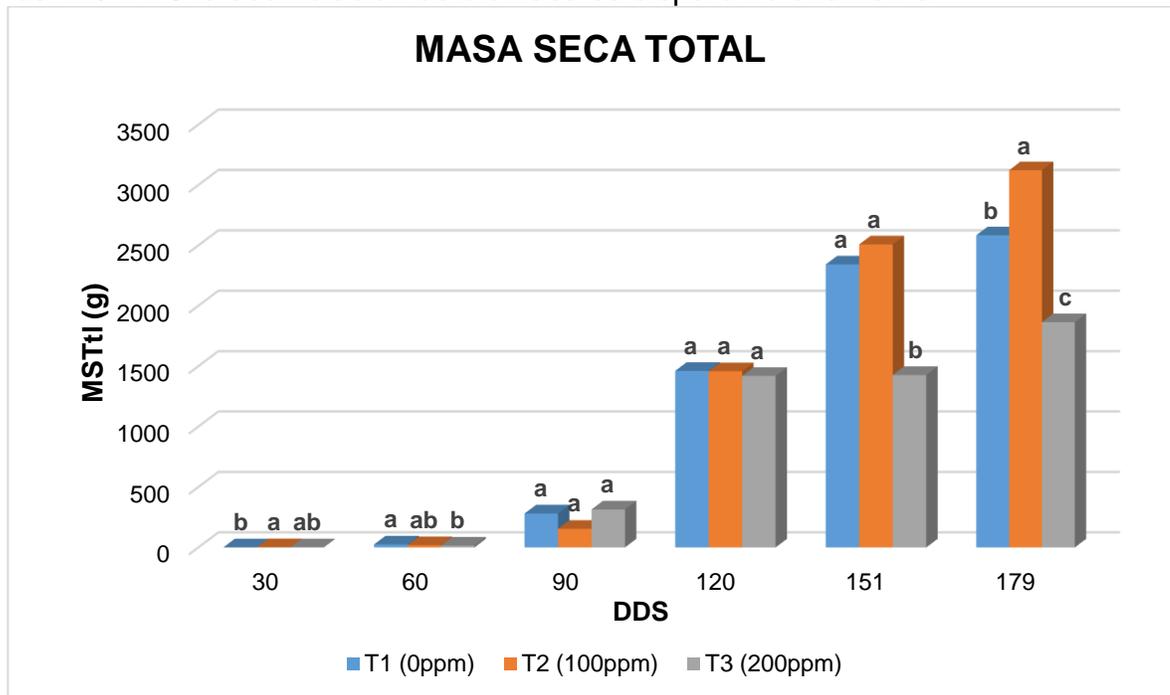


Figura 8. Producción de biomasa en gramos de peso seco para el cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8 durante seis meses. Se expresa la separación de medias de los tratamientos.

Durante los 30 y 60 DDS la respuesta es poco demostrativa al efecto del estímulo con agua y del bioestimulante auxínico. Los resultados del efecto de la auxina empiezan a hacerse notorios a partir de los 90 DDS, donde la mejor respuesta fue por parte de los tratamientos T1 y T3. A partir de los 90 DDS la respuesta de los tres tratamientos es aún más evidente; para esta fecha el T1 y T2 muestran resultados semejantes. Desde los 151 DDS en adelante la acumulación de masa seca fue mayor en el T2.

La respuesta del tratamiento T1 (testigo), confirma lo señalado Taiz y Zeiger (2006), quienes indicaron que las células de la raíz suelen contener auxina suficiente o casi suficiente para la elongación normal.

Finalmente, a los 179 DDS el tratamiento T2 (100 ppm) se impuso como el tratamiento con mayor acumulación de biomasa, superando a los tratamientos T1 y T3 por encima de los 3000g de peso seco. Siguiendo lo anterior se puede llegar a

suponer que el T2, es el mejor ya que induce una a producción y acumulación de biomasa expresada en gramos de peso seco durante el tiempo de la investigación.

Los resultados arrojados por el análisis estadístico, indican las diferencias significativas 1% y 5% ($Pr = 0,01 - 0,05$ y $Pr < 0,01$) entre las concentraciones de auxina utilizadas en la investigación; donde en la acumulación de materia seca total presentó diferencias significativas al 5% en los 30 y 60 DDS, durante los 90 y 120 DDS no se presentaron diferencias significativas y, finalmente, se vuelven a presentar diferencias significativas al 1% a los 151 y 179 DDS. Siguiendo lo anterior, se determina que sí existen diferencias significativas entre las concentraciones (100 y 200 ppm), respecto al tratamiento testigo (0 ppm o agua), lo siguiente se demuestra en la anexo c y la tabla de promedios de Tukey, tabla 4.

MS Total	DDS						
	(ppm)	30	60	90	120	151	179
	0	0,840b	24,967a	281,12a	1461,0a	2342,8a	2583,9b
	100	2,123a	19,273ab	154,46a	1458,2a	2508,4a	3122,7a
	200	1,000ab	15,650b	314,15a	1419,6a	1427,0b	1864,6c

Tabla 4. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para masa seca total, desde los 30 hasta los 179 DDS. Promedios con letra similar no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($p=0,05$)

DISTRUBICIÓN DE MASA SECA

La respuesta de los tratamientos estas variables permitió constatar lo descrito por Mejía de Tafur, (2002); que durante los tres primeros meses se tiene lugar a la formación de hojas y tallos. En cuanto a la producción de biomasa en el cultivo de yuca, Aguilar, B.; et al. (2017); indican que a partir del tercer o el cuarto mes después de la siembra inicia la etapa de engrosamiento o acumulación de biomasa en las raíces.

ACUMULACIÓN DE MASA SECA RAÍCES

En la figura 9, se compara el comportamiento de la acumulación de biomasa en las raíces, expresada en gramos de materia seca de las raíces tuberosas por el tratamiento por días después de siembra. De acuerdo, con la respuesta del cultivo en cuanto a acumulación de materia seca en la raíces, se presenta una tendencia típica a una variedad de yuca dulce (*Manihot esculenta* Crantz), la cual según Mejía de Tafur (2002); que 2 o 3 meses después de la siembra las raíces fibrosas comienza a acumular almidón. La diferenciación radical se da a partir de los 90 DDS, cuando se da un incremento en la acumulación de biomasa radicular en los tres tratamientos.

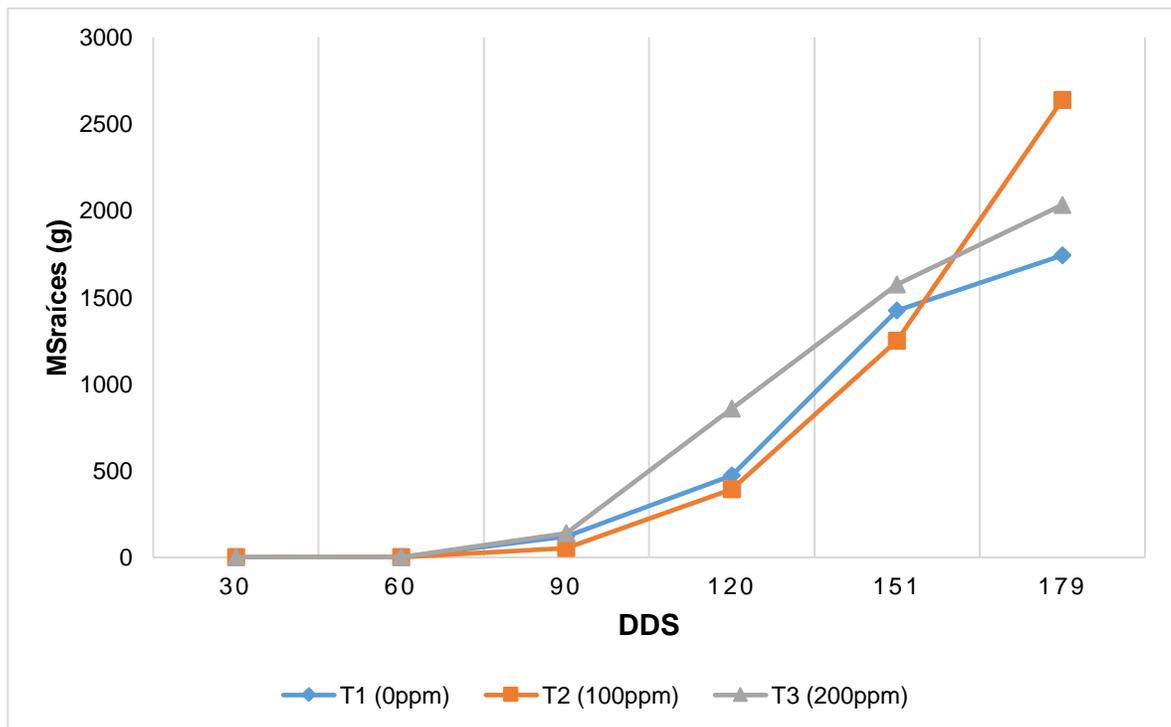


Figura 9. Acumulación de masa seca del sistema de raíces tuberosas del cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8, durante los siguientes 6 meses después de la siembra.

En la figura 9, se aprecia que los tres tratamientos tienen un comportamiento similar, a incrementar su materia seca, entre los 30 y 90 DDS. Después de los 90 DDS el tratamiento T3 se expresó siempre por encima de los T1 (testigo) y T2 (100 ppm), pero a partir los 151 DDS, las raíces del T2 (100ppm) logran acumular más biomasa seca.

De acuerdo a este comportamiento se puede señalar que estimular las estacas en yuca en presiembra, con 100ppm de bioestimulante auxínico induce a una mayor acumulación de masa seca en las raíces.

A partir de los 90 DDS el comportamiento se hace más dinámico para los tratamientos T1 y T3, indicando que la acumulación de masa seca en las plantas de este tratamiento es más rápida. Aun así la acumulación de biomasa en las raíces de las plantas para el tratamiento T2 fue más activa a los 179 DDS, logrando una mayor acumulación de materia seca, valor máximo de 2639,27 gr (figura 10).

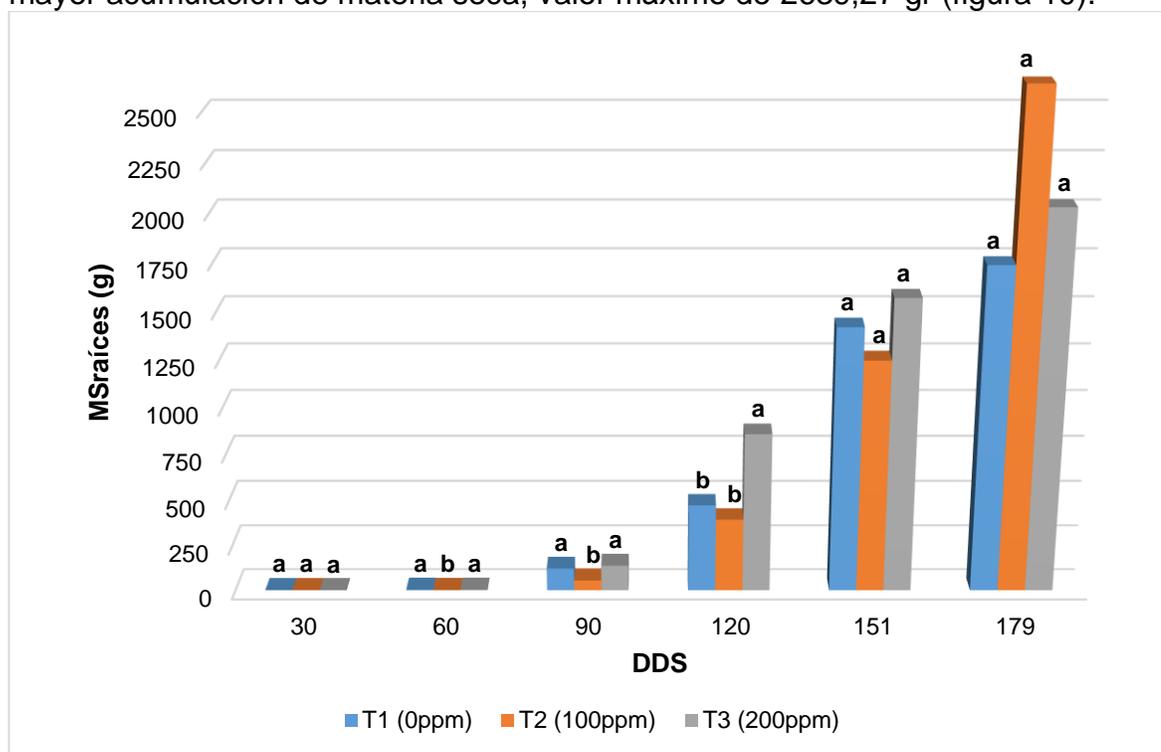


Figura 10. Materia seca de raíces cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8 durante seis meses, sometida a varias concentraciones de bioestimulante auxínico. Las letras expresa la separación de medias de los tratamientos.

Durante los 60 DDS y los 120 DDS (1%), se presentaron diferencias significativas; para estas dos fechas la acumulación de materia seca de raíces favoreció al tratamiento T3 (200 ppm), este comportamiento se puede apreciar en la figura 9 y 10. A pesar de las fluctuaciones que se presentaron en la acumulación de materia seca en las raíces, no fue suficiente para presentarse diferencias significativas entre los tratamientos (anexo d y e, figura 10).

ACUMULACIÓN DE MASA SECA HOJAS

La figura 11, compara la acumulación de materia seca en las hojas durante los seis meses de estudio. La tendencia de la gráfica indica un incremento de acumulación de masa seca en el follaje del cultivo.

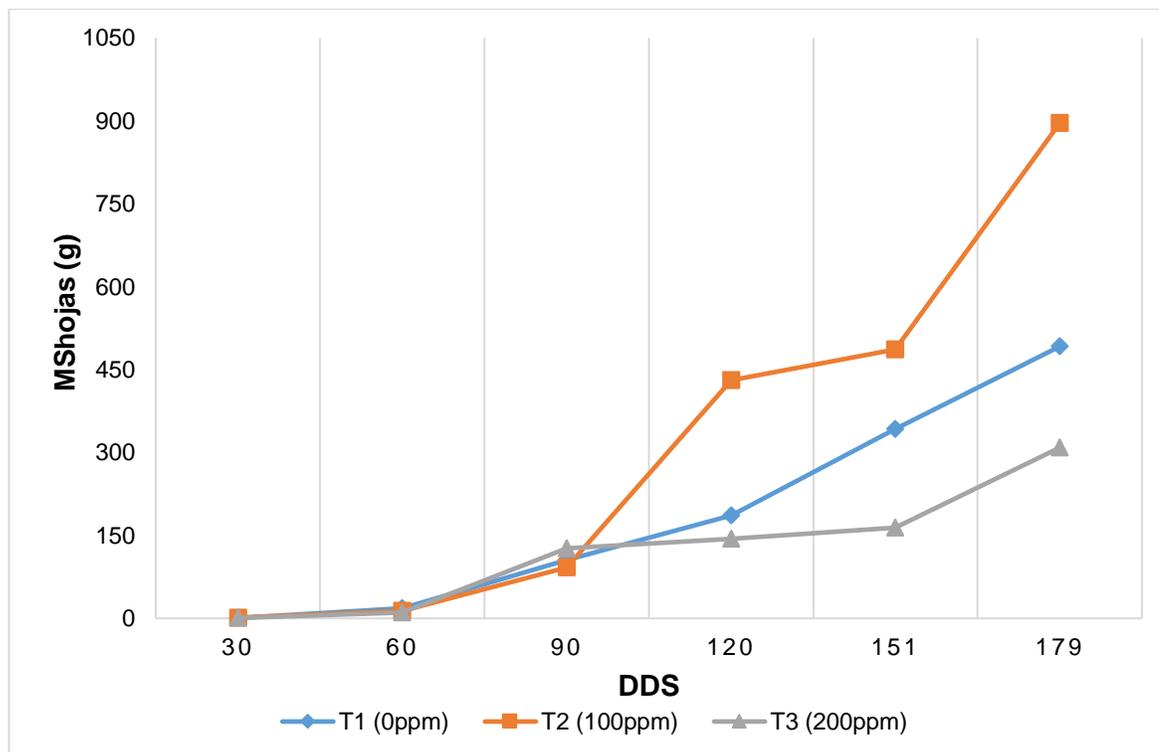


Figura 11. Acumulación de masa seca del follaje del cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8, durante los siguientes 6 meses después de la siembra.

En la figura 11, se evidencia el crecimiento continuo en la acumulación de biomasa expresada en gramos de masa seca en las hojas desde el inicio del cultivo. En el transcurso de los 60 a los 90 DDS se incrementa la acumulación de masa seca en las hojas para los tres tratamientos de manera simultánea; a partir del lapso comprendido entre los 90 hasta los 179 DDS se observa un incremento mucho más activo y una diferenciación en el comportamiento de acumulación de masa seca en los tratamientos.

El comportamiento del T2 (100 ppm) se hace más dinámico y con fluctuaciones a partir de los 90 DDS, demostrando que hay una mayor eficiencia en este tratamiento para la acumulación de materia seca en las hojas, después de los 120 este tratamiento muestra un comportamiento más pasivo. Mientras que la acumulación de materia seca del T1 y T3 es más sutil.

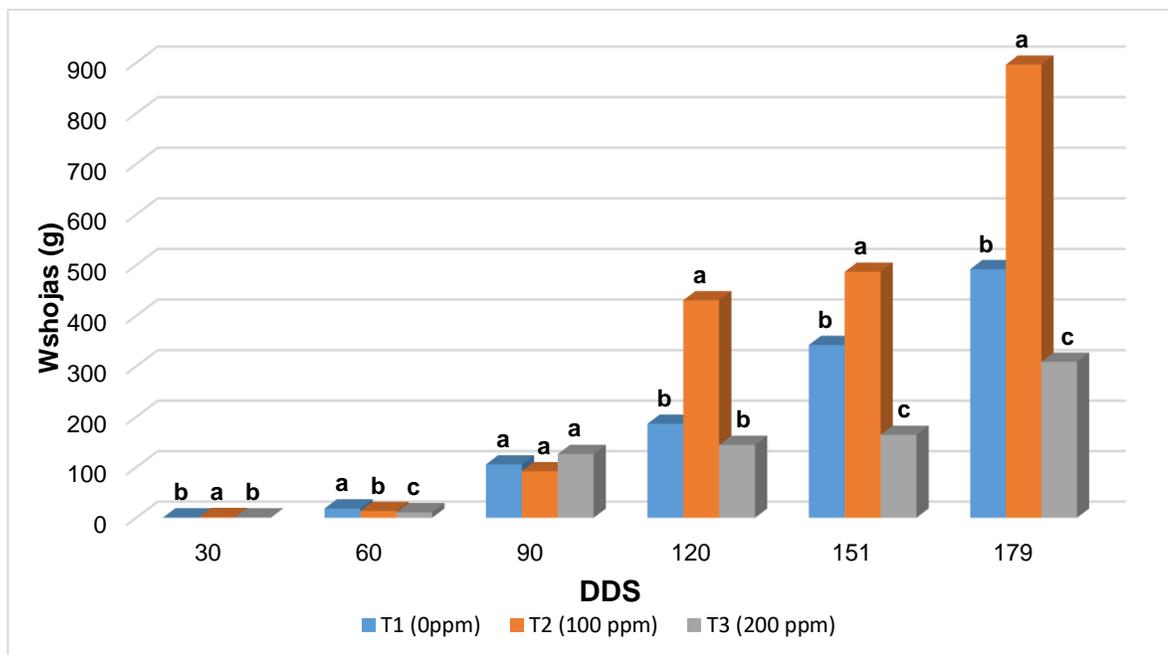


Figura 12. Materia seca de hojas cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8 durante seis meses, sometida a varias concentraciones de bioestimulante auxínico. Las letras expresa la separación de medias de los tratamientos.

Para el lapso comprendido ente los 151 y 179 DDS, nuevamente el tratamiento T2 incrementa la acumulación de biomasa seca, alcanzando un valor máximo de 896,20 g de masa seca de las hojas. Finalmente, se puede suponer que el T2 es el mejor tratamiento en cuanto a acumulación de biomasa seca en hojas refiere.

El incremento de materia seca en las hojas, se presentan variaciones entre los tratamientos de auxinas y el tratamiento testigo en razón del tiempo de estudio (figura 15), confirma el análisis estadístico (anova) y la prueba de promedios de Tukey; en el cual se indica que se presentan diferencias significativas ($Pr < 0,01$; 1%) entre los tratamientos (anexo d y e, figura 12). Se exceptúa la fecha 90 DDS, donde no se presentaron diferencias significativas, pero no presenta relevancia.

ACUMULACIÓN DE MASA SECA TALLOS

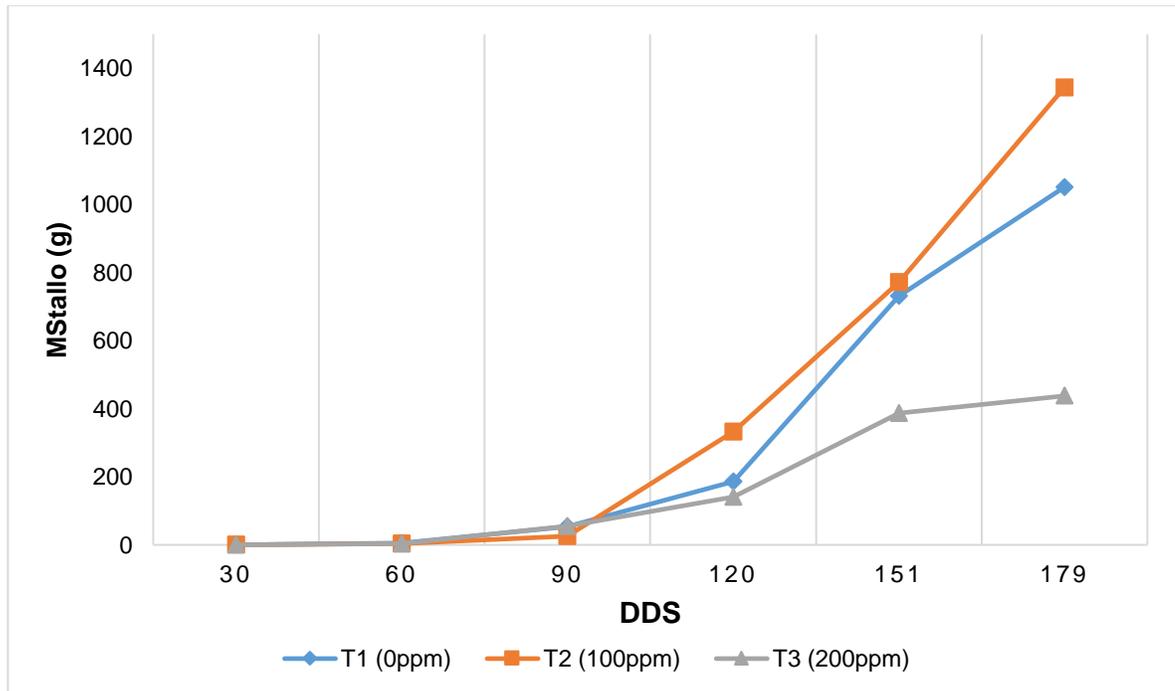


Figura 13. Acumulación de masa seca de los tallos del cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8, durante los siguientes 6 meses después de la siembra.

La respuesta de los tallos a la acumulación de masa seca se evidencia en la figura 13; donde se observa un desarrollo pasivo de los tres tratamientos desde los 30 DDS hasta los 90 DDS, a partir de esta fecha se podría decir que inicia la acumulación de masa seca en los tallos. A partir de esta fecha los tres tratamientos incrementan la acumulación de materia seca de forma más dinámica.

A pesar del incremento de biomasa dinámico de los tres tratamientos, el T1 y T2 se mantuvieron por encima del T3, indicando una mayor acumulación de masa en tallos en este tratamiento. Finalmente, el T2 (100 ppm), es el tratamiento que logró una mayor acumulación de materia seca en el tallo, con una acumulación de 1344,37 g; evidenciando la efectividad de este tratamiento para inducir la acumulación de materia seca en tallos.

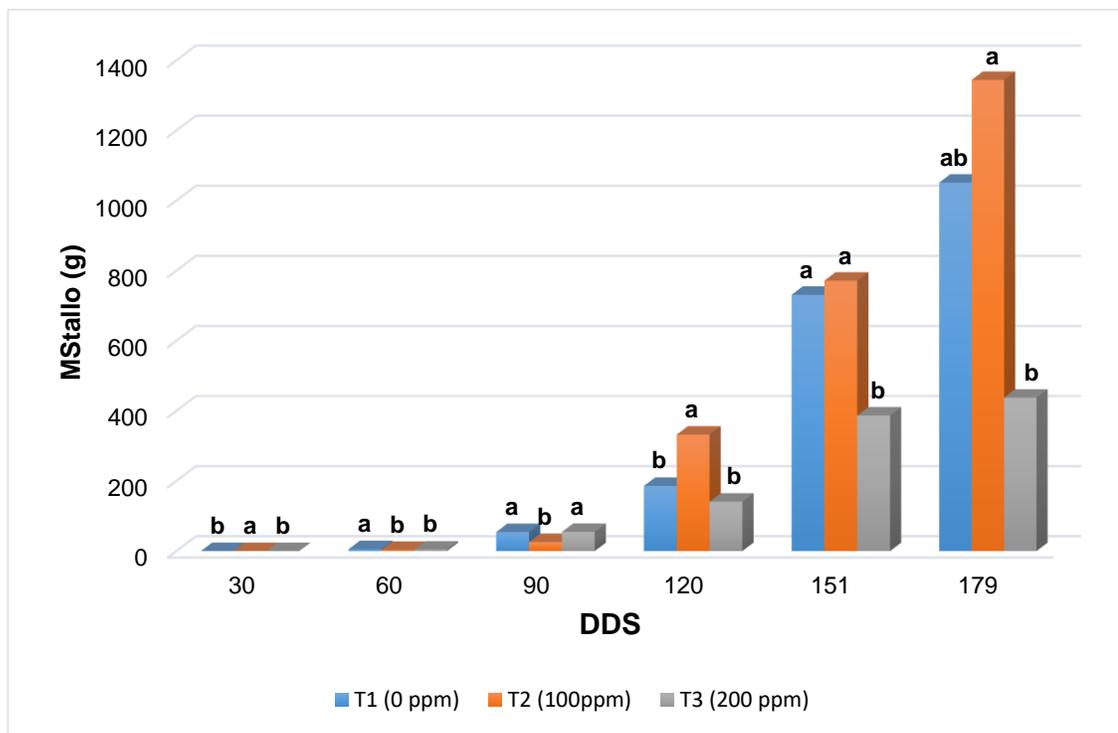


Figura 14. Materia seca de tallos cultivo de yuca (*Manihot* sp.) MTai-8 durante seis meses, sometida a varias concentraciones de bioestimulante auxínico. Las letras expresa la separación de medias de los tratamientos.

Las diferencias entre la acumulación de materia seca de los tallos de las plantas tratadas con ANA y las testigos llegan a tener diferencias estadísticamente significativas ($Pr < 0,01$; 1%) durante todo el tiempo de evaluación, en lo que respecta a la acumulación de materia seca de los tallos (anexo d y e, figura 14).

8 CONCLUSIONES

Los resultados arrojados durante la investigación, permitieron demostrar que la inmersión de los propágulos por 15 minutos en una solución con concentración de 100ppm (T2) de ácido 1-naftalenacético son los parámetros óptimos, para que el cultivo de yuca variedad Mtai-8 presente una mejor respuesta para la biomasa, expresada como porcentaje de materia seca, en las raíces y hojas principales órganos de interés. Pero, aun así El T1 (testigo) demostró que sumergir los propágulos de yuca en agua, durante 15 minutos, es suficiente para conseguir resultados eficientes mostrando una respuesta favorable del cultivo en cuanto a los índices determinados y acumulación de materia seca en los órganos, durante los seis primeros meses.

La aplicación de auxinas exógenas en cantidades elevadas, 200 ppm (T3) en este caso, puede significar problemas, ya que esta puede llegar a comportarse de manera incompatible, afectando claramente el desarrollo de las plantas. Y, aunque demostró una respuesta rápida, sus resultados no fueron los esperados.

Durante la investigación se encontraron resultados muy variados, donde en la mayor parte de los casos se vio favorecido el tratamiento que contenía una concentración de 100 ppm del bioestimulante (T2), indicando que el estímulo con esta concentración de auxinas exógenas representa el tratamiento de mejores y más eficientes resultados, ya que es el tratamiento que presentó los mejores resultados, en cuanto a AF, IAF, RAF, TCR y TCC. Por su parte el tratamiento T3 (200 ppm), se comportó como el tratamiento que alcanzó con mayores valores de TAN y, de igual manera, mostró resultados rápidos y variables señalando diferencias significativas entre los demás tratamientos, pero en definitiva su comportamiento y resultados no son los esperados, mostrando que no es un tratamiento completamente recomendable. En definitiva, esto permitió demostrar que las concentraciones de auxinas bajo las condiciones en las que se realizó este experimento tienen respuestas variables sobre la variedad Mtai-8 y, que la velocidad de la respuesta varía según la concentración de bioestimulante.

En conclusión, el estímulo de agua durante 15 min, es suficiente para lograr un crecimiento eficiente y lograr un óptimo desarrollo hasta los primeros seis meses de cultivo. Asimismo, una cantidad adecuada de auxinas exógenas (100 ppm), es una alternativa recomendable, ya que la investigación determinó que este es el tratamiento que mejora la eficiencia del cultivo y demuestra sobresalientes resultados.

9 RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación constituyen las primeras aproximaciones en el uso de bioestimulantes auxínicos a nivel de campo en plantas de yuca, de la variedad MTai-8 en el Sinú Medio y para el Caribe colombiano. En adelante se recomienda continuar con la investigación hasta llegar a producción y conocer los resultados de esta.

Ante lo anterior también se recomienda variar las concentraciones del producto bioestimulante ANA, de igual forma es recomendable variar los tiempos de inmersión.

Complementario a esto, estudiar la respuesta de la yuca a la relación del bioestimulante auxínico y fertilización potásica.

REFERENCIAS

- Ackerman, R. y H. Hamemik. (1996). Use of growth regulators in production. Combined Proceedings International Propagators' Society 46: 574-575 p.
- Acosta, E. M., Sánchez B. J., & Bañón A. M. (2000). Auxinas. En J. Azcón-Bieto, & M. Talón (Coords.), Fundamentos de fisiología vegetal (pp. 305-323). Madrid, España: Ediciones McGraw Hill Interamericana.
- Aguilar Brenes, E., Segreda Rodríguez, A., Saborío Argüello, D., Morales González, J., Chacón Lizano, M., Rodríguez Rojas, L., & Gómez Bonilla, Y.. (2017). Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) / – San José, C.R.: Instituto Nacional de Innovación Tecnológica y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), 10-12 p.
- Aguilera Díaz, M. (2012). La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial. Banco de Republica, 6-13 p.
- Albarrán J.; F. y Fuchs, M. (2003) Propagación clonal rápida de variedades comerciales de yuca mediante técnicas biotecnológicas. Seminarios CENIAP. Maracay, Aragua, Venezuela. Disponible en: www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/albaran.htm
- Alcántara, C. J., Acero, G. J., Alcántara, C. J., & Sánchez, M. R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA, 109-129 p.
- Allem, A. C. (1995). The evolutionary relationships of Brazilian *Manihot* (Euphorbiaceae). En: Lecture delivered at the «*Manihot* taxonomy and conservation workshop». Memories. CIAT, Cali, Colombia, 7-11 November, 15 p.
- Alves, A. (2002). Cassava botany and physiology. In: R Hillocks, J. Tresh and J. Bellotti (EDS). Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, New York.5: 67-89 p.
- Alzate, A. M., Cabrera, F. A. V., Lascano, H. C., Pérez, J. C., & Fregene, M. (2010). Variabilidad genética de la yuca cultivada por pequeños agricultores de la región Caribe de Colombia. Acta agronómica, 59(4), 385-393 p.
- Aristizabal, J., & Sánchez, T. (2007). Repositorio Universidad de Las Tunas. Obtenido de <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/2257/1/Libro%20de%20cultivo%20de%20la%20Yuca.pdf>
- Balagopalan, C. (2002) Cassava Utilization in Food, Feed and Industry. En: Cassava: Biology, Production and Utilization, pp: 301-318. R. J. Hillocks, J.M. Thresh, y A.C. Bellotti (eds.).

Burgos, A. M., Cenóz, P. J., & Prause, J. (2009). Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). UDO, Agrícola 9, 539-546 p.

Cardona, A. O. (2019). AGRONEGOCIOS. Obtenido de [www://www.agronegocios.co/agricultura/aumenta-el-consumo-de-la-yuca-industrial-en-colombia-con-mejoras-en-variedades-2820472](http://www.agronegocios.co/agricultura/aumenta-el-consumo-de-la-yuca-industrial-en-colombia-con-mejoras-en-variedades-2820472)

Castro Álvarez, R., Morejón Rivera, R., Díaz Solís, S. H., & Álvarez, G. E. (2013). Efecto de borde y la validez de los muestreos en el cultivo del arroz. Cultivos Tropicales, 34(2), 70-75 p.

Ceballos, H. (2002). Yuca en Colombia y en el Mundo: Nuevas Perspectivas para un Cultivo Milenario. En B. Ospina, & H. Ceballos, LA YUCA EN EL TERCER MILENIO: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización (págs. 1-13). CALI: CIAT.

Ceballos, H. y De la Cruz, A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, p. 28. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

Chaverra Mendoza, D. L., Gueto Escobar, J. J., & Pereira Castelar, T. E. (2007). Repositorio UniCartagena. Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/699/1/157-%20TTG%20-%20PLAN%20DE%20NEGOCIOS%20EXPORTADOR%20DE%20DERIVADO%20S%20DE%20LA%20YUCA.pdf>

Corpoica. (2004). Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la Región Caribe Colombiana. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, 12. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4121/2/107.pdf>

DANE. (2004). Censo de Producción de Yuca para uso Industrial. Bogotá: DANE. European Committee for Standardization. (s.f.). EN 13432. Europe: EN. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/censo_yuca_industrial.pdf

DANE. (2015). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Obtenido de <http://www.dane.gov.co>.

DANE. (2016). El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Boletín Mensual, INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, 10 p.

El-Sharkawy, M. (2003). Cassava Biology and Physiology Plant Mol. Biol. 53: 621-645 p.

Evans, G. C. (1972). *The quantitative analysis of plant growth* (Vol. 1). Univ of California Press.

Facella P., L. Daddiego, G. Giuliano and G. Perrotta. (2012). Gibberellin and Auxin influence the diurnal transcription pattern of photoreceptor genes via CRY1a in tomato. PLoS ONE. 7(1): e30121. doi:10.1371/journal.pone.0030121

Fichet, L. T. (2017). Biosíntesis de las fitohormonas y modo de acción de los reguladores de crecimiento. Artículos Técnicos de INTAGRI, Vol. 92(No. 6).

Finagro (Fondo Nacional de Financiamiento Agrario). (2012). La yuca. Sistema de información sectorial. Disponible en: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info_sect/image/yuca_0.docx

FAO. 2007. Los datos de FAOSTAT. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s06.pdf>

FAO. (2013). Obtenido de Datos de FAOSTAT: Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/176821/icode/>

Garay-Arroyo, A., de la Paz Sánchez, M., García-Ponce, B., Álvarez-Buylla, E. R., & Gutiérrez, C. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. Revista de educación bioquímica, 33(1), 13-22 p.

Gil, J. L. (2006). Uso de la yuca en alimentación animal. CIAT. Cali, Colombia. 4-5 p.

Giraldo, A. (2006). Estudio de la obtención de harinas de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo humano. Tesis de pregrado. Universidad del Cauca. p. 5 - 6.

Giraldo, L. A., Ríos, H. F., & Polanco, M. F. (2009). Efecto de dos enraizadores en tres especies forestales promisorias para la recuperación de suelos. Revista de investigación Agraria y Ambiental, 1, 41-47 p.

González, E. A. J. (1998). Cultivo de ápices y meristemas. In: La yuca en el Tercer Milenio. Cali, Colombia. 3:35-44 p.

Hopkins W.G. and Huner. N.P.A. (2004). Introduction to Plant Physiology. 3rd ed, John Wiley and Sons Inc., USA.

Howeler, RH y Cadavid, LF (1983). Acumulación y distribución de materia seca y nutrientes durante un ciclo de crecimiento de 12 meses de yuca. Investigación de cultivos de campo, 7, 123-139 p.

Intiagri. (2018). Ácido Naftalenacético (ANA) y su Uso en la Agricultura. Intiagri, No. 3.

Jankiewicz, S. L. (2003). Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Propiedades y Acción. Ed. Mundi Prensa. México. 487 p.

- Jarma, A., Degiovanni Beltramo, V. M., & Montoya, R. A. (2010). Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): 63-68 p.
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Squeo, F, A., & Cardemil, L.(eds.). Fisiología Vegetal*, 1-28 p.
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2020). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), e1319.
- Kami C., M. Hersch, M. Trevisan, T. Genoud, A. Hiltbrunner, S. Bergmann and C. Fankhauser. (2012). Nuclear phytochrome a signaling promotes phototropism in Arabidopsis. *Plant Cell*. 24(2): 566–576 p.
- Leihner D. (2002). Agronomía y sistemas de cultivo. Yuca: biología, producción y utilización, pp. 91- 113. R. J. Hillocks, J.M. Thresh, y A.C. Belloti (eds.).
- Leyser O. (2001). Auxiliary signage: the beginning, the middle and the end. *Curr Opin Plant Biol* 4: 382-386 p. DOI: 10.1016 / S1369-5266 (00) 00189-8
- Lluna Duval, R. (2006). Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de las plantas. *Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola. Frutas, Hortalizas, Flores, Plantas, Árboles Ornamentales y Viveros*.
- Maldonado, H. J. E. (2017). Caracterización molecular de genes que modulan la transcripción y el transporte de auxinas y su papel en la rizogénesis en vitroplantas de *Carica papaya* L. cv. Maradol (Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán).
- Mantilla, J. E. (1996). Producción de material de propagación de yuca. Montaldo, Alvaro (comp.). *La yuca frente al hambre del mundo tropical*.
- Marin, A.; D. Perdomo, J. G. Albarrán; F. Fuenmayor y C. Zambrano. (2008). Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones élites de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia* 33 (5): 365-371 p.
- Marín A, Albarrán J, Fuenmayor F, Perdomo D. (2009). Evaluación del efecto de los reguladores de crecimiento en la regeneración in vitro de cinco cultivares élites de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *UDO Agrícola* 9 (3):556-562 p.
- Márquez Suárez, E., & Olarte Lasso, M. A. (2017). Análisis de la cadena productiva y la implementación de tecnología en el cultivo de la yuca en Colombia (Doctoral dissertation, Universidad del Rosario).
- Medina, R. D.; M. M. Faloci, V. Solís Neffa y L. A Mroginsky. (2003). Embriogénesis somática y regeneración de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de cultivares de interés para Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32 (3): 143-160 p.

Mejía De Tafur, M. S. (2002). Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cultivo de la yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, 34-45 p.

MinAgricultura. (2015). sioc minagricultura. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/Cifras%20Sectoriales%20-%202015%20Diciembre.pdf>

Minagricultura. (2019). Subsector Productivo de la Yuca. MinAgricultura, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, 5-20 p.

Mok, DW y Mok, MC (2001). Metabolismo de citoquinina y acción. Revisión anual de biología vegetal, 52 (1), 89-118 p.

Montoya, S., & Ramírez, J. S. (2007). Industrialización de la yuca: Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones. Manejo de sólidos y fluidos. Universidad del Valle, Cali-Colombia.

Mosquera Torres, L. F. (2016). Implementación de un proyecto productivo de yuca (*Manihot esculenta crantz*) como estrategia de fortalecimiento del sector agropecuario en el corregimiento de Playa de Oro-Tadó-Chocó.

Muday G.K., Rahman A. and Binder. B.M. (2012). Auxin and ethylene: collaborators or competitors? Trends Plant Sci. 17(4): 181–195 p.

Niklas, KJ y Kutschera, U. (2012). Plant development, auxin, and the subsystem incompleteness theorem. Frontiers in plant science, 3 , 37 p.

Olarte, J. L. (2019). Subsector Productivo de la Yuca. Minagricultura.

Ospina, B. (2002). La yuca en el tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización (Vol. 327). CIAT. Cali, Colombia.

Páez, J. (1989b). Obtención de rosetas y el desarrollo de brotes foliares para la propagación múltiple in vitro de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Rev. Fac. Agron. Alcance. U.C.V. Maracay. 38: 139-146 p.

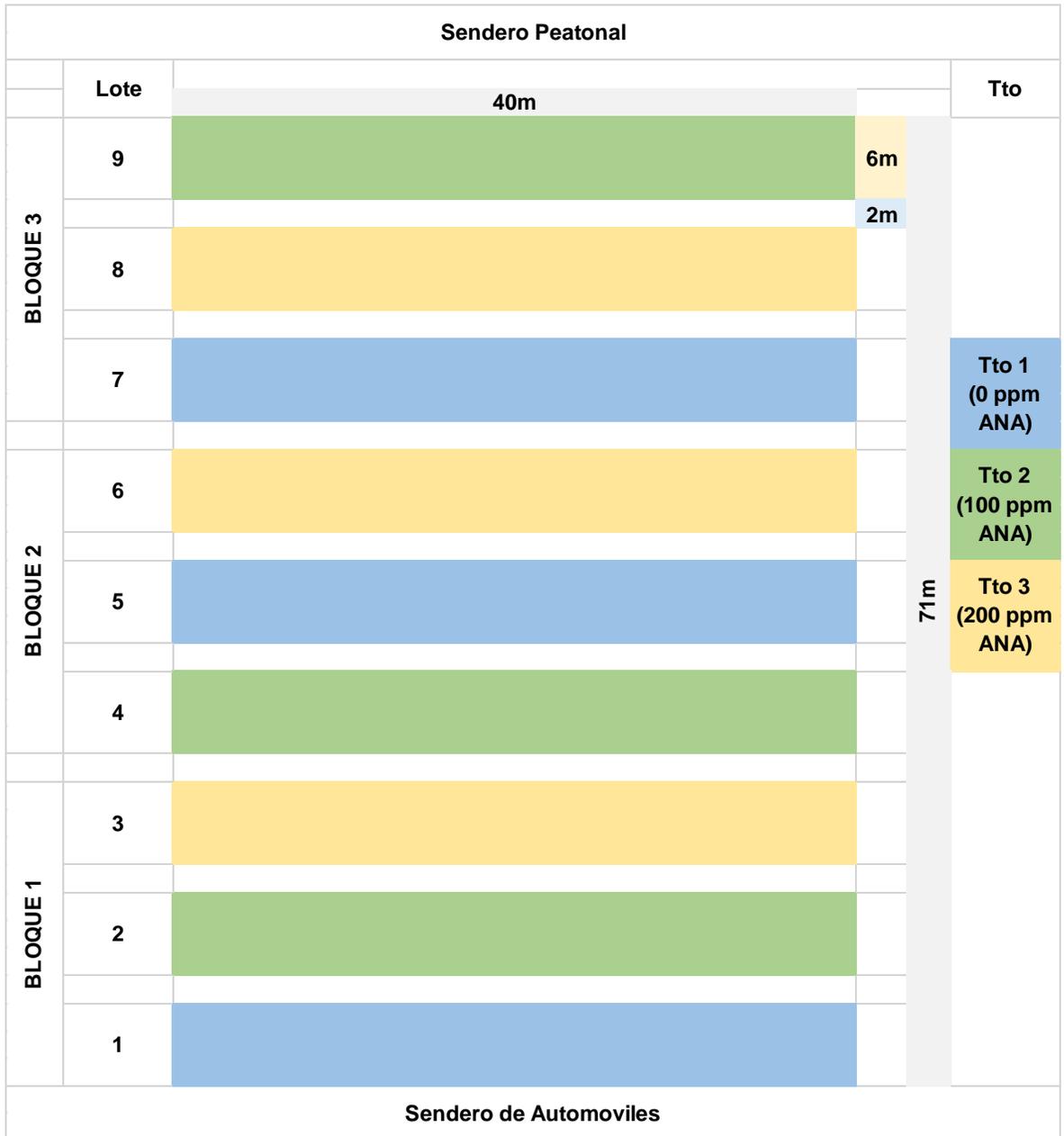
Palencia-Severiche, G., MERCADO-F, T., & Combath-Caballero, E. (2006). Estudio agroclimático de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

Pinto-Acero, Y. L., Alvarado-Gaona, Á. E., & Álvarez-Herrera, J. G. (2012). Application of alpha-naphthalene acetic acid in arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) suckers. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 6(2), 213-224 p.

Rastogi, A., Siddiqui, A., Mishra, BK, Srivastava, M., Pandey, R., Misra, P., y Shukla, S. (2013). Efecto de la auxina y el ácido giberélico sobre los componentes de crecimiento y rendimiento de la linaza (*Linum usitatissimum* L.). Mejoramiento de cultivos y biotecnología aplicada, 13 (2), 136-143 p.

- Rivera, M. A. R. (2012). Estudio de las características fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sus efectos en la calidad de hojuelas fritas para su procesamiento en la Empresa Pronal SA (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Química).
- Rojas, S. E. (2010). Efecto de la Aplicación de Extractos de Siete Especies Vegetales del Semidesierto Mexicano como Reguladores del Crecimiento. uaaan- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 5-6 p.
- Salcedo Mendoza, J. G., Montes Montes, E. J., & Pajaro Salas, J. L. (2009). Producción de jarabes de fructosa por medio de la hidrólisis enzimática del almidón de yuca de las variedades corpoica m tai-8 y corpoica orense. Dyna.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. (1994). Plant Physiology. Wadsworth Publishing. 759 p.
- Simmonds, N. E. (1976). Evolution of cropplants. 3a. ed. Londres, Reino Unido y Nueva York Ed. Longman. 339 p.
- Smith, RS (2008). El papel del transporte de auxina en los mecanismos de diseño de plantas. PLoS Biol , 6 (12), e323.
- Suárez, L. y Mederos, V. (2012). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. Cultivos Tropicales, vol. 32, no. 3, p. 27-35. ISSN 0258-5936
- Taiz, L. y Zeiger. E. (2006). Fisiología vegetal. Publicaciones de la Universitat Jaume I, Castelló de la Plana, España.
- Uribe, M. V. Y Mora, S. (2007). "Colombia prehispánica", La Gran Enciclopedia de Colombia. Historia 1. Desde la prehistoria hasta el alzamiento del común, Bogotá, Círculo de Lectores S.A- El Tiempo.
- Weaver, J.R. (1996). Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura 8ª Reimpresión. Editorial Trillas. México. P.p. 113-155.
- Weaver, R. J. (1999). Reguladores del crecimiento de plantas en la agricultura. Ed. Trillas. 622 p.

ANEXOS



Anexo a: Mapa de campo; distribución espacial de las UM.

		DDS						
		GL	30	60	90	120	151	179
MS Total	Blo	2	0,1905	16,3972	159,7477	245977,5139	6657,683	68637,399
	Tto	2	1,4672**	66,1714*	21317,3163ns	1603,5255ns	1017825,310**	1195116,553**
	Error	4	0,1633	5,8805	3531,963	138166,241	35887,306	23097,562
	CV (%)	---	30,5861	12,1472	23,7807	25,7013	9,0523	6,022
		DDS						
		GL	30	60	90	120	151	179
AF	Blo	2	677,0862	23730,609	7542013,94	65102235	77113583	63606074
	Tto	2	26460,9967**	2334256,012**	46623729,08ns	2297860329**	4109098460**	12813329771**
	Error	4	581,5188	7984,791	10835102,6	18030976	48144844	110116990
	CV (%)	---	11,0633	2,7650	13,2968	7,9795	9,1485	7,8133

Si $Pr > F: > 0,05$ = no hubo diferencias entre los tratamientos

Si $Pr > F: = 0,01 - 0,05$ = diferencias significativas entre los tratamientos al 5% (*)

Si $Pr > F: < 0,01$ = diferencias significativas entre los tratamientos al 1% (**)

Anexo c. Análisis de varianza para masa seca total y área foliar (AF) de los tratamientos. Donde CV (%), indica el coeficiente de variación.

MS Raíces	GL	30	60	90	120	151	179	
	Blo	2	0,0104	0,0321	251,0706	10236,8757	25349,4853	80121,652
	Tto	2	0,0224ns	2,3665**	6859,73551ns	186488,7931**	79076,0435ns	628026,591ns
	Error	4	0,0077	0,1261	1518,9335	5497,5725	84643,5482	124403,86
	CV (%)	---	73,2259	21,0565	37,2984	12,8929	20,54672	16,49396
DDS								
MS Hojas	GL	30	60	90	120	151	179	
	Blo	2	0,0124	0,3782	143,7403	454,6254	1471,877	8668,2191
	Tto	2	0,5044**	44,0137**	888,8190**	71699,6114**	78326,6298**	270832,6221**
	Error	4	0,0114	0,2502	206,5507	1513,5095	919,1069	1335,0968
	CV (%)	---	11,2144	3,5281	13,2973	15,3352	9,1558	6,4585
DDS								
MS Tallo	GL	30	60	90	120	151	179	
	Blo	2	0,0008	0,0593	7,3587	662,7409	7106,6491	101750,107
	Tto	2	0,0067**	2,7640**	808,8677**	30030,4256**	134235,5086**	642096,878*
	Error	4	0,0002	0,1469	39,0145	100285,1608	5849,6261	71627,043
	CV (%)	---	14,8118	8,9229	13,9164	16,3251	12,1410	28,3357
Si $Pr > F: > 0,05$ = no hubo diferencias entre los tratamientos								
Si $Pr > F: = 0,01 - 0,05$ = diferencias significativas entre los tratamientos al 5% (*)								
Si $Pr > F: < 0,01$ = diferencias significativas entre los tratamientos al 1% (**)								

Anexo d. Análisis de varianza para masa seca de raíces, hojas y tallos, de los tratamientos. Donde CV (%), indica el coeficiente de variación.

AF	DDS						
	(ppm)	30	60	90	120	151	179
	0	161,47b	4198,31a	24198a	42652b	78385b	121051b
	100	326,38a	3026,80b	21121a	84617a	111519a	205269a
	200	166,05b	2470,22c	28946a	32376c	37631c	76592c
MS Raíces	DDS						
	(ppm)	30	60	90	120	151	179
	0	0,1467a	2,0200a	121,32a	472,49b	1423,9a	1742,4a
	100	0,1900a	0,6800b	54,35a	393,43b	1249,8a	2639,9a
	200	0,0233a	2,3600a	137,80a	859,34a	1574,2a	2033,6a
MS Hojas	DDS						
	(ppm)	30	60	90	120	151	179
	0	0,703b	18,330a	105,65a	186,22b	342,18b	492,05b
	100	1,423a	13,416b	92,21a	430,25a	486,89a	896,20a
	200	0,723b	10,683c	126,38a	144,30b	64,29c	308,99c
MS Tallos	DDS						
	(ppm)	30	60	90	120	151	179
	0	0,080b	5,353a	54,257a	185,86b	731,38a	1051,4ab
	100	0,160a	3,480b	25,293b	332,15a	771,67a	1344,4a
	200	0,077b	4,053b	54,470a	140,77b	386,81b	437,8b

Anexo e. Prueba de comparación de los promedios de Tukey, para área foliar (AF) y acumulación de materia seca de raíces, tallos y hojas; desde los 30 hasta los 179 DDS. Promedios con letra similar no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($p=0,05$).

TAN							
		DDS					
	GL	30	60	90	120	151	179
Bloque	2	0,000000059	0,000000019	0,000000008	0,000004895	0,000000134	0,000000117
Tto	2	1,0722246E-7ns	4,911021E-10ns	1,943343E-7*	6,7090504E-7ns	6,1849232E-7**	3,0792822E-7ns
Error	4	0,00000009	0,0000000078	0,000000021	0,00000136	0,00000003	0,000000051
CV (%)	---	28,93268	10,60592	13,16862	35,00330	7,890209	16,45439
TRC							
		DDS					
	GL	30	60	90	120	151	179
Bloque	2	0,00014025	0,00001036	0,00000012	0,00025010	0,00000019	0,00000041
Tto	2	0,00080809*	0,00004353*	0,00005276*	0,0003151ns	0,00001285**	0,0000065**
Error	4	0,00006082	0,00000255	0,00000572	0,00040043	0,00000058	0,00000017
CV (%)	---	140,73990	3,227724	3,937618	36,82496	1,510889	0,947777
RAF							
		DDS					
	GL	30	60	90	120	151	179
Bloque	2	103,53123400	367,19985340	320,00107600	108,59330130	51,31266080	106,38623
Tto	2	384,5322166ns	450,4795250ns	845,74166**	168,9907402ns	395,3402678**	592,482682**
Error	4	702,175894	181,255332	45,436339	26,8915244	5,58000486	22,588613
CV (%)	---	15,608090	10,006620	9,744699	15,473430	5,532084	9,407264

TCC							
		DDS					
	GL	30	60	90	120	151	179
Bloque	2	0,0000000024	0,0000000345	0,00003560	0,00004254	0,00000520	0,0000002066
Tto	2	9,9690627E-9*	2,9685327E-6ns	0,00000415ns	0,00012131ns	0,00001654ns	4,6245293E-6**
Error	4	0,00000000071	0,00000047104	0,00227500000	0,00002813000	0,00000812000	0,00000009000
CV (%)	---	12,217970	25,429720	33,967080	72,224420	52,585970	6,022001
IAF							
		DDS					
	GL	30	60	90	120	151	179
Bloque	2	0,00008394	0,00294223	0,93508390	77,85151740	9,56079500	21,76963000
Tto	2	0,00328073**	0,28940706**	5,78056644ns	54,2631057ns	509,459767**	1717,759397**
Error	4	0,00007210	0,00099001	1,34337121	30,74702720	5,96915700	13,00901900
CV (%)	---	11,063140	2,765006	13,296830	35,933050	9,148483	7,738655

Anexo f. Análisis de varianza para los índices fisiotécnicos de crecimiento IAF, RAF, TAN, TCR y TCC de los tratamientos testigo, 100 ppm y 200 ppm de bioestimulante auxínico. Donde CV (%), indica el coeficiente de variación.

Pd. Las tablas y figuras son fuente de elaboración propia.