

EFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO

**SOBRE EL CRECIMIENTO DE
EXPLANTES DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.)**

¹Ph.D. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa Ingeniería Agronómica Grupo Investigaciones Agrícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
Email: ppcalma@gmail.com.

²Ingeniero Agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
Email: jorgearmando.montana@uptc.edu.co

³Grupo Investigaciones Agrícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
E:mail: checho_1301@hotmail.com

Recibido: 04 de Agosto de 2015

Aceptado para publicación: 30 de septiembre 2015

Tipo: Investigación



**THE EFFECT OF GIBBERELIC
ACID EXPLANTS OF THE
(*Solanum tuberosum* L.) POTATO
GROWTH**

POR: ALMANZA MERCHÁN, Pedro José¹ / MONTAÑA, Jorge Armando² / GONZÁLEZ ALMANZA, Sergio Danilo³

RESUMEN

Con el fin de conocer la cantidad adecuada de ácido giberélico (GA_3) en papa, en propagación *in-vitro*, se seleccionaron plántulas jóvenes sanas de las variedades Diacol capiro y Parda pastusa. Se extrajeron yemas vegetativas de una longitud de 7 mm aproximadamente, cada una se sembró en un tubo de ensayo de 60 cm³ que contenía 6 ml del medio de cultivo y Vitaminas, GA_3 , Sacarosa y agar, con un pH de 5,8. Los tubos se llevaron al cuarto de crecimiento bajo condiciones constantes de 1000 lux por 24 h y a temperatura de 20±2°C. Se usó un diseño de bloques completamente al azar con 9 dosis de GA_3 (0, 10, 20, 40, 80, 150, 300, 600, 1200 mg L⁻¹) y dos variedades de papa, cada unidad correspondió a una yema, para un total de 72 unidades experimentales. Se determinó que con la aplicación de 20 mg L⁻¹ de GA_3 en el medio de cultivo, se presentaron los mayores valores de longitud de raíz (1.19 cm, para Parda pastusa y 0.63 cm, para Diacol capiro), área foliar (0.402 cm², para Parda pastusa y 0.028 cm², para Diacol capiro), y segunda altura final de planta. En contraste con, estos resultados, las concentraciones más altas de 300, 600 y 1,200 mg L⁻¹ de GA_3 presentaron un efecto inhibitorio en crecimiento. Por tanto, se encuentra que las variedades Parda pastusa y Diacol capiro se comportan de manera distinta ante las variables evaluadas aun cuando la dosis de GA_3 es la misma.

PALABRAS CLAVE: *In-vitro*, regulador de crecimiento, yemas vegetativas.

ABSTRACT

The aim is to know the adequate quantity of Gibberelic Acid (GA_3) *in-vitro* dissemination at the potato. We selected young healthy seedling Diacol Capiro and Parda Pastusa plant varieties. We extracted the vegetative buds of 7 mm long approximately. We sowed each vegetative bud in a 60 cm³-test tube that contained 6 ml. of culture medium, Vitamins, GA_3 , Sucrose, and Agar; with a pH 5.8. The tubes were placed in the growth-room under constant conditions of 1000 lux per 24-h, and at a temperature 20±2°C. We used a completely randomized block-design with 9 doses of GA_3 (0, 10, 20, 40, 80, 150, 300, 600, 1200 mg L⁻¹), and two varieties of potato. Each unit corresponded to a vegetative bud, and a total of 72 experimental units. We determined that by adding 20 mg L⁻¹ of GA_3 to the culture medium, we obtained the highest root-length values (1.19 cm. for Parda Pastusa, and 0.028 cm. for Diacol Capiro), the leaf- area (0.402 cm² for Parda Pastusa, and 0.028 cm² for Diacol Capiro), and the second plant final height. By contrast to these results, the highest concentrations 300, 600, and 1,200 mg L⁻¹ of GA_3 displayed an inhibitory effect over the growth. Thus, we found that the Papa Pastusa and Diacol Capiro varieties have a different behavior at the evaluated variables, even when the GA_3 dose remains the same.

KEYWORDS: *in-vitro*, growth regulator, vegetative buds.

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Boyacá es el segundo productor del tubérculo a nivel nacional, es así como la encuesta nacional agropecuaria del DANE (2013) muestra que para el semestre B de 2013 se sembraron 17,526 ha, con una producción de 339,652 t, para un rendimiento de 19.4 t ha⁻¹. La papa se considera como el producto de origen agrícola de mayor consumo per cápita en el país, durante el año 2012, fue de 62 Kg/Habitante y se espera aumentar a 71.9 en el año 2020 (Villareal, 2012). Esto traduce un papel significativo en la definición del índice general de precios de la economía y en una gran incidencia en el presupuesto de las familias colombianas.

La micropropagación en papa se utiliza principalmente para la producción de semilla, para la colección y la distribución de germoplasma y para el hallazgo de clones de interés en la agricultura (Montoya *et al.*, 2008). Con este propósito, se utiliza como material libre de virus. Los métodos de propagación usados se rigen a la producción de una gran cantidad de plantas, en corto tiempo (Dodds, 1999). En tanto, se ha corroborado que una transformación genética puede ser exitosa cuando se realiza la estandarización previa de medios de cultivo, lo que permite una eficiente regeneración de los explantes (Rodríguez *et al.*, 2000). La propagación clonal por cultivo *in vitro* consiste en tomar un fragmento de una planta madre y obtener una descendencia uniforme, con plantas genéticamente idénticas, denominadas clones (Segretin, 2008).

El medio de cultivo se compone de una mezcla de sales minerales, vitaminas, reguladores de crecimiento, azúcar, agua y agar. La composición del medio depende de la especie vegetal y de la etapa del proceso de micropropagación (Castillo, 2004). Los constituyentes básicos son todos los minerales esenciales para el desarrollo de la planta; un azúcar, usualmente sacarosa o glucosa, vitaminas del grupo B: Tiamina, ácido nicotínico, y piridixina; inositol y agua destilada. El desarrollo del cultivo lo determina el suplemento de hormonas (auxinas y citoquininas). El agente gelificante más usado para la preparación de medios sólidos es el agar. En el laboratorio se produce, por fermentación, una sustancia llamada *Gelrita* que es más consistente y efectiva, y que se utiliza en menor concentración que el agar, lo que la hace más económica (Castillo, 2004).

El factor más influyente en el crecimiento *in-vitro* parece ser el efecto de los fitoreguladores de crecimiento, cuya relación debe ser específica para cada variedad con el fin de que su efecto sea óptimo (Rodri-





guez *et al.*, 2000). Adicionalmente, se asegura que las fitohormonas son moléculas que actúan sobre el sistema génico, reprimiendo o activando genes que, a su vez, sintetizan moléculas que aceleran o inhiben aspectos del desarrollo de las plantas (Rojas y Ramírez, 1987). La principal función de las giberelinas es la elongación de los tallos, debido al alargamiento celular, más que a la división celular (Soberrón *et al.*, 2006).

Uno de los mecanismos más estudiados involucra la activación de la enzima Xiloglucano-endo transglisilasa (XET), responsable de la hidrólisis interna de los xiloglucanos aceptores. Esto también

facilita la penetración expansiva en la pared celular. Se han reportado resultados favorables de las aplicaciones de Ácido giberélico, sobre la producción de distintos tipos de propagación de plantas. Al aplicar diferentes dosis de AG en semillas de tomate (Balaguera *et al.*, 2010), se obtuvieron diferencias significativas en área foliar, masa fresca de las hojas, tallo y raíces. En la evaluación de semillas de tomate la concentración de 400 ppm de GA₃, encontró mayor incidencia en velocidad y tiempo de germinación (Fraile, 2008). De otra parte, se confirmó que inducir con ácido giberélico la brotación de semilla de papa, variedad salentina, es un excelen-

te tratamiento, ya que permitió disminuir el tiempo de reposo a un mes, teniendo en cuenta que normalmente es de 2-3 meses (Marulanda y Martínez, 2001).

En el departamento de Boyacá, existen laboratorios especializados en biotecnología. Sin embargo, a pesar del reporte de varias investigaciones, sigue siendo incierta la dosis de ácido giberélico, necesaria para el crecimiento de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L.), que serán destinadas a la producción de microtubérculos-semilla libre de virus, de tipo 1 y 2. Por ello, se evaluaron ocho dosis de GA₃ + 1 testigo en las variedades de papa del grupo andígena (Diacol Capiro y



Parda Pastusa) por las variedades de mayor siembra y consumo en el país, lo que generaría cultivos resistentes al ataque de patógenos.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Localización

La investigación se realizó en el laboratorio de biotecnología vegetal del SENA Regional Boyacá (Centro de Desarrollo Agropecuario y Agroindustrial, CEDEAGRO), ubicado en la ciudad de Duitama – Boyacá, en una altitud de 2530 msnm, con temperatura promedio de 15°C y precipitación media de 1128 mm; humedad relativa media de 81.4 % (2014).

Material vegetal

Se seleccionaron plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) jóvenes y libres de patógenos, de las variedades Parda pastusa y Diacol capiro, cultivadas in vitro, correspondientes al grupo base del laboratorio de biotecnología vegetal.

Metodología

Preparación del medio de cultivo

Se preparó un litro del medio de cultivo semisólido (Murashine y Skoog, 1962) mezclando los reactivos, vitaminas, y el GA_3 ; se ajustó el pH a 5.8 con NaOH 1.0 N o HCl 1.0 N, de acuerdo con la necesidad. Una vez homogenizada la solución, se calentó durante 10 min., y se aplicaron 30g L^{-1} de azúcar y 7 g L^{-1} de agar. Posteriormente, se llenó con 6 ml del medio de cultivo. Los tubos de ensayo (60 cm^3) se cubrieron con papel aluminio y se esterilizaron en autoclave Tuttnauer 3870, a una temperatura de 121 °C, durante 20 min.

Siembra de explantes.

Se seleccionaron plántulas de papa Parda pastusa y Diacol capiro y se llevaron a la cámara de flujo lami-

nar donde se extrajeron las yemas vegetativas. Posteriormente, se flamearon los tubos de ensayo y se introdujo cada yema en el medio de cultivo, se flamearon nuevamente los tubos y se taparon con papel aluminio. Finalmente, se llevaron al cuarto de crecimiento con condiciones constantes de 1,000 lux por 24 h y a 20 ± 2 °C.

Variables evaluadas

La evaluación de las variables, se realizó en el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. La Velocidad media de brotación (VMB) se calculó a través de la ecuación (1). El Tiempo medio de brotación (TMB), mediante la ecuación (2). La altura final y la longitud de la raíz principal, mediante medición directa con un flexómetro. El área foliar, se determinó a través de un analizador Li-Cor 3000 (USA).

$$VMB = \sum n_i / t_i \text{ yemas/día} \quad (1)$$

$$TMB = N(A_1 + A_2 + A_x) / A_1 * T_1 + A_2 * T_2 + A_x * T_x \text{ días} \quad (2)$$

n_i = Número de yemas brotadas en el i-ésimo día

t_i = Tiempo en días para la brotación en el i-ésimo día

N = Número de yemas brotadas

A_1, A_2, \dots, A_x = Número de yemas brotadas en el día 1, en el día 2, y en el día x

T_1, T_2, \dots, T_x = Número de días entre la aplicación de los tratamientos y el primer día 1 de brotación y entre el día x

Diseño estadístico.

Se realizó un diseño experimental de bloques, completamente al azar, BCA con arreglo bifactorial de $8 + 1 \times 2$. El primer factor correspondió a las dosis de AG (10, 20, 40, 80, 150, 300, 600, 1,200 mg L⁻¹) y un testigo (sin AG) y el segundo, a las variedades (Parda pastusa y Diacol capiro), para un total de 18 tratamientos. Cada uno estuvo conformado por 4 repeticiones, para un total de 72 Unidades experimentales (UE), cada una de ellas compuesta por un explante. Los resultados se sometieron a análisis de varianza bifactorial y se llevó a cabo la prueba de comparación múltiple de Tukey sobre interacciones y los efectos medios significativos ($P < 0.05$). Para el análisis de los datos se utilizó el programa de computador SAS® v. 9.2 (Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Al evaluar el efecto del ácido giberélico sobre el crecimiento de explantes de papa, se observó que las varie-

dades Parda pastusa y Diacol capiro se comportan de manera distinta ante las variables evaluadas, aun cuando la dosis de GA₃ fue la misma. En diversas investigaciones (Martínez, 2008; Pedraza, 2008), sobre el crecimiento y desarrollo de los estados fenológicos en la variedad Diacol Capiro y Parda pastusa, reportaron que su comportamiento es diferente entre las variables evaluadas en campo.

En la tabla 1 se muestran las diferentes variables de brotación y crecimiento en las variedades Parda pastusa y Diacol capiro. No se presentó significancia entre las variedades en altura final, número de hojas, peso fresco de la raíz, tiempo medio de brotación y velocidad media de brotación, mientras que en las variables de longitud de raíz, peso fresco de hojas se notaron diferencias estadísticas al 1%; y al 5% en la variable de área foliar.

Tabla 1. Variables de crecimiento y brotación *in-vitro* de papa.

Variables	Parda Pastusa	Diacol Capiro	Significancia
Altura de explantes (cm)	4.20 a	4.31 a	ns
Longitud de raíz principal (cm)	1.19 a	0.63 b	*
Área foliar (cm ²)	0.17 a	0.04 b	**
Tiempo medio de brotación (días)	60.19 a	57.88 a	ns
Velocidad media de brotación (yemas/día)	0.07 a	0.05 a	ns

** : diferencias al 1%; * : diferencias al 5%, ns: no hay diferencias estadísticas. Los promedios seguidos de la misma letra, en cada variable, no presentan diferencias estadísticas, según la prueba de Tukey (5%).

Altura de explantes

Al no presentarse homogeneidad de varianzas entre variedades, se realizó la prueba ANOVA independiente. En las dos variedades se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) donde la aplicación de 40 mg L⁻¹ de GA₃ tuvo efecto favorable al generar la mayor altura de los explantes (9.6 mm, para Parda pastusa y 8.1 mm, para Diacol capiro). Las giberelinas aumentan tanto la división como la elongación celular, debido a un incremento en el número de células y en la longitud de las mismas, como respuesta a las aplicaciones exógenas. Así, numerosas evidencias corroboran que se provoca un aumento tanto en la extensibilidad como en la tensión de relajación de las paredes de las células vivas. Por ejemplo, los entrenudos de los guisantes altos tienen más células y son más grandes que los guisantes enanos (Taiz y Zeiger, 2006).

Se ha concluido que las giberelinas poseen la capacidad única, entre las hormonas vegetales conocidas, de estimular el crecimiento de plantas (Salisbury y Ross, 1994). El efecto de estimulación de la elongación del tallo se debe a la conjugación de tres eventos. En primer lugar, se estimula la célula del ápice del tallo, luego, las giberelinas promueven(algunas veces) el

crecimiento celular debido a un incremento de hidrólisis en el almidón, fructanos y sacarosa, originando moléculas de fructosa y glucosa, y en tercer lugar, las giberelinas aumentan la plasticidad de la pared celular. Las giberelinas, con frecuencia, se asocian al mejoramiento del tallo, de modo que su aplicación a plantas puede inducir aumento en la altura, demostrándose que los tallos altos contienen más giberelina biológicamente activa que los tallos enanos (Reid y Howell, 1995). Del mismo modo se encontró que las plantas de lechuga presentaron una mayor altura, aumentando en forma lineal y en función de la concentración de GA_3 . Asimismo, se modificó su genotipo, de tal forma que los entrenudos de los tallos estuvieron distantes entre ellos (Aponte, 2008).

En esta investigación se encontró que las dosis superiores a 150 mg L^{-1} de GA_3 redujeron significativamente la altura, por tanto, con 1.200 mg L^{-1} de AG se obtuvo el menor valor (Figura 1). Los resultados indican una respuesta contraria cuando se usan dosis muy altas de la hormona, esto, debido, probablemente, a un efecto inhibitorio del crecimiento, por exceso del contenido exógeno de GA_3 (Balaguera *et al.*, 2009). El análisis entre variedades indicó que no se presentaron diferencias estadísticas (Tabla 1).

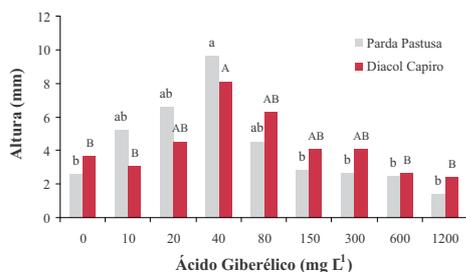


Figura 1. Efecto del ácido giberélico sobre la altura de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L.). Promedios seguidos de letras distintas en la misma serie, presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Longitud de raíz principal.

No se presentaron diferencias relevantes en la prueba de homogeneidad de varianzas, por tanto, se hizo ANOVA conjunto, el cual, presentó diferencias significativas ($P \leq 0,01$), encontrándose que la aplicación de 20 mg L^{-1} , generó la mayor longitud de raíz (2.03 cm). Al respecto, se ha encontrado que las giberelinas junto con las auxinas promueven la expansión celular de raíces, y aumenta la biomasa fresca, y su deficiencia causa un sistema radicular corto (Dolan y Davies, 2004). Por otro lado, a partir de la aplicación de 40 mg L^{-1} , la longitud de raíz en las dos variedades, fue disminuyendo conforme el ácido giberélico aumentó (Figura 2).

Lo que indica que con concentraciones de 40 mg L^{-1} o superiores se inhibió la longitud de la raíz principal. En relación con lo anterior, Balaguera *et al.* (2009) ponen de manifiesto que probablemente las concentraciones de giberelinas evaluadas en semillas de tomate, inhiben en cierto grado el crecimiento radicular, y que la respuesta en crecimiento se debe a bajas concentraciones de giberelinas, junto con un mayor tiempo de imbibición.

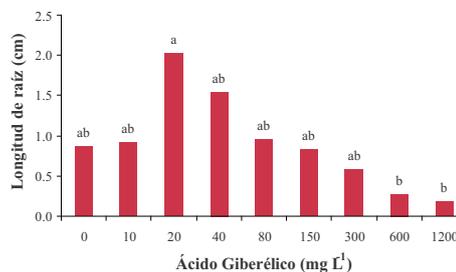


Figura 2. Efecto del ácido giberélico sobre la longitud de raíz principal de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L.), var. Parda Pastusa y Diacol Capiro. Promedios seguidos de la misma letra no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



Estos resultados son similares a investigaciones donde se encontró que la respuesta de la longitud de la raíz en tomate no se vio afectada significativamente ni por la concentración de GA_3 , ni por el sustrato, pudiendo atribuir esto a que el tiempo de germinación fue muy corto y los tratamientos no alcanzaron a provocar un efecto significativo sobre ésta (Fraile, 2008). Adicionalmente, se reporta que las giberelinas exógenas tienen escaso efecto sobre el crecimiento de la raíz, y además inhiben la formación de raíces secundarias (Salisbury y Ross, 1994).

Área foliar

No se presentó homogeneidad de varianzas, por tanto, el análisis de varianza se hizo de manera independiente por variedad. Se encontraron diferencias significativas en la variedad Parda Pastusa ($P \leq 0,05$), la mayor área foliar se obtuvo con 20 mg L^{-1} de GA_3 (0.402 cm^2), pero no se encontró ninguna relación clara entre las dosis de GA_3 y el comportamiento del área foliar, la



menor área foliar (0.02 cm^2) fue generada por la aplicación de 600 mg L^{-1} de GA_3 .

Se cree que las hojas jóvenes son los lugares principales de la síntesis de giberelinas como sucede con las auxinas. Estas hipótesis están de acuerdo con Salisbury y Ross (1994), quienes manifiestan que al cortar las puntas del tallo y las hojas jóvenes, y se trata la punta del corte con giberelina o auxina, la elongación del tallo se estimula más que en cortes, a los que no se les aplica ninguna hormona. Queda demostrado que las GA_3 inducen elongación y división celular (Almanza, 2000), procesos que se traducen en la obtención de mayor área foliar, la cual aumenta la eficiencia de la fotosíntesis, confirmándose que el área foliar es un componente fisiológico importante para el crecimiento y rendimiento de los cultivos, por estar asociado a los procesos de fotosíntesis, acumulación, y la distribución de asimilados entre distintos órganos de la planta (Martínez, 2008).

Los tratamientos de 40 y 80 mg L^{-1} de GA_3 en la variedad Parda pastusa presentan una disminución significativa del área foliar, lo que implica que la aplicación de AG al 10 %, disminuyó el área foliar significativamente respecto al testigo, principalmente en un déficit, de hidratación de las hojas (Silva *et al.*, 2001), teniendo en cuenta que las giberelinas determinan una menor tolerancia a la sequía, debido a que la planta utiliza una buena cantidad de nutrientes en la elongación celular. Lo cual coincide con los resultados en plantas de lechuga, donde el área foliar se vio afectada negativamente por las giberelinas (Almanza, 2000); se formaron hojas muy angostas y erectas muy diferentes a las normales, anchas y curvadas; además, estuvieron muy separadas por la hiperelongación del tallo, debido probablemente a que la época de aplicación no fue la más adecuada y las dosis de GA_3 fueron muy altas.

La variedad Parda Pastusa presentó una mayor área foliar, con respecto a la variedad Diacol Capiro que significativamente fue menor (Tabla 1), además no presentó diferencias estadísticas (Figura 3). Esta apreciación conduce a concluir que hay un componente genético involucrado en los resultados, por ello respondieron de manera diferente al GA_3 . Se confirma que la variedad Parda pastusa es una de las que presenta mayor área foliar durante el estado de floración (Martínez, 2008), encontrando valores de desarrollo máximo de $15,000 \text{ cm}^2$, en la variedad Diacol capiro $11,000 \text{ cm}^2$ y en variedades muy precoces como la criolla se han hallado valores hasta de $10,000 \text{ cm}^2$ por planta. Esto, debido probablemente a que estas variedades presentan diferencias en cuanto a su crecimiento y fenología,



diferencias críticas del cultivo y manejo agronómico (Valbuena *et al.*, 2009).

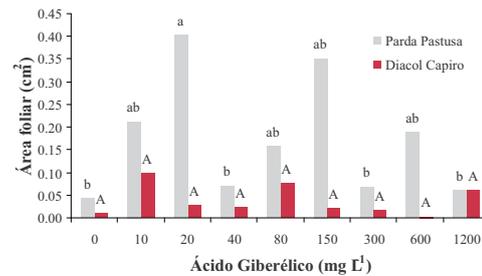


Figura 3. Efecto del ácido giberélico sobre el área foliar de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L). Promedios seguidos de letras diferentes en la misma serie presentan diferencias estadísticas, según la prueba de Tukey (5%).

Tiempo medio de brotación

No se presentó homogeneidad de varianzas. El menor TMB (47.5 días) para la variedad Parda Pastusa se obtuvo con la aplicación de 80 mg L⁻¹ de AG ($P < 0.05$) y en la variedad Diacol Capiro con 60 mg L⁻¹ de AG ($P \leq 0.05$; 37.5 días), los mayores TMB se encontraron con la aplicación de 600 mg L⁻¹ de GA₃ y 10 mg L⁻¹ de GA₃ de forma respectiva para Parda Pastusa y Diacol Capiro (Figura 4), pero entre variedades no se presentaron diferencias estadísticas (Tabla 1).

Los brotes del tubérculo están en estado de latencia, no hay crecimiento, ya que los tubérculos -semilla tienen una alta concentración de inhibidores de crecimiento que impiden que las yemas broten, la dormancia promedio tiene una duración de 5 a 8 semanas aproximadamente, situación que depende de la variedad y de las condiciones en las cuales se desarrolle el cultivo (Martínez, 2008).

El GA₃ rompe la latencia de acuerdo con el frío o la luz, es decir, esta hormona sustituye factores naturales ambientales que rompen este tipo de latencia. El ácido giberélico influye en la respuesta geotrópica y a nivel celular promueve el alargamiento, lo mismo que estimula la actividad del cambium en muchas plantas. (Malaver, 1975).

Para inducir la brotación temprana, la utilización de ácido giberélico resulta ser excelente ya que permite disminuir el período de reposo (Marulanda y Martínez, 2001). Es así como en la variedad salentina, que normalmente tiene un reposo de 2-3 meses se redujo a 1, con brotación del 100%. La formación de brotes laterales inicia desde el momento de la emergencia, proyectándose hasta los 29 días (Martínez, 2008). Los nudos de los brotes se alargan y emergen las raíces y estolones, seguida de la elongación de los brotes laterales,





crecimiento y desarrollo de estolones por debajo de la superficie del suelo hasta el inicio del desarrollo de los tubérculos.

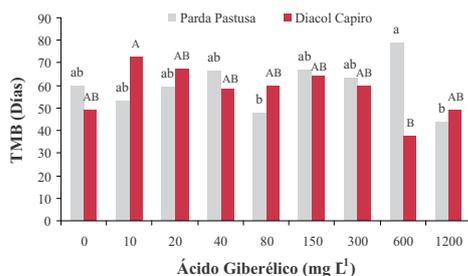


Figura 4. Efecto del ácido giberélico sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L). Promedios seguidos de letras diferentes, en la misma serie, presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Velocidad media de brotación

No se encontraron diferencias estadísticas en la prueba de homogeneidad de varianzas, ni tampoco en el ANOVA conjunto, por tanto, la VMB de los explantes no se vio afectada por las aplicaciones de AG (Figura 5). Tampoco se presentaron diferencias estadísticas entre variedades (Tabla 1).

Las posibles causas por las cuales las yemas respondieron de manera homogénea en todos los tratamientos pueden ser atribuidas a las condiciones de temperatura y luminosidad controladas en las que se manejó la investigación, ya es conocido que las giberelinas juegan un papel importante en la medición de los efectos de los estímulos ambientales sobre el desarrollo vegetal, factores ambientales como el fotoperíodo y

la temperatura pueden alterar los niveles de giberelinas activas al afectar la transcripción de genes en etapas específicas de la ruta de biosíntesis (Yamaguchi y Kamiya, 2000).

Las plantas *in-vitro* crecieron bajo condiciones constantes de 1.000 lux por 24h y a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ la saturación del aparato fotosintético por el efecto de la luz es baja. La luz influye en la apertura de estomas de las plantas de papa; sin embargo, incrementos en conducta estomatal tienen una relación lineal con los incrementos en irradiancia (Herrera *et al.*, 2000). La temperatura también afecta el proceso fotosintético; las máximas tasas de fotosíntesis se encuentran entre 15 y 25°C ; con temperaturas superiores a este rango, la tasa de asimilación de dióxido de carbono declina substancialmente. Las condiciones de temperatura deben ser favorables para que no se incremente el contenido de azúcares reductores (Herrera *et al.*, 2000).

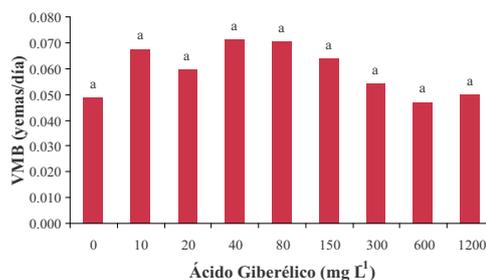


Figura 5. Efecto del ácido giberélico sobre la velocidad media de brotación (VMB) de explantes de papa (*Solanum tuberosum* L) var. Parda Pastusa y Diacol Capiro. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

CONCLUSIONES

El efecto más favorable con la aplicación de GA₃ se presenta con las dosis bajas, al generarse mayor altura de los explantes y longitud de raíz. Mientras que con las concentraciones más altas de 300, 600 y 1,200 mg L⁻¹ de GA₃ se presentó un efecto inhibitorio en crecimiento. Por tanto, estas dosis producen un efecto no recomendado en la propagación in-vitro.

En la variedad Parda pastusa, con la dosis de 80 mg L⁻¹ de ácido giberélico, se presentó la brotación a los 47.5 días, generándose el menor tiempo medio de brotación, en tanto que en la variedad Diacol Capiro se presentó el menor tiempo con 60 mg L⁻¹ (37.5 días). Lo que implica que con dosis bajas la brotación es efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMANZA, P.J. 2000. "Fisiología vegetal". Instituto Universitario Juan de Castellanos, Tunja, Colombia. 177p.
- APONTE, D.A. 2008. "Efecto de las Giberelinas y el calcio en la producción y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)". Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 77 p.
- BALAGUERA, H.E., A. DEQUÍZ & J.G. ÁLVAREZ. 2009. "Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA₃)". *Rev. Agron. Colomb.* Vol. 27, No. 1, 57-64.
- CASTILLO, A. 2004. "Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo". *INIA*, Uruguay. 125 p.
- DANE, 2013. Resultados de la encuesta nacional agropecuaria (ENA- 2013), Área cosechada, producción y rendimiento de papa, semestre B, 2012. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/htm3b/public/ENA/ENA_2011.pdf. Consulta: junio de 2015.
- DODDS, J.H. 1999. "Biotechnological techniques applied to potato and sweet potato improvement for developing countries". En: *Plant Biotechnologies for Developing*, pp.15-30.
- DOLAN, L & J. DAVIES. 2004. "Cell expansion in roots". *Curr. Opin. Plant Biol.* Vol. 7, 33-39.
- FRAILE, A. 2008. "Efecto de giberelinas en la propagación de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo diferentes fertilizantes enriquecidos con fertilizantes", Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo UPTC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería Agronómica. Tunja.
- HERRERA, A., L. FIERRO & J.D. MORENO. 2000. "Manejo integrado del cultivo de papa", manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Tibaitatá. 103p.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Duitama, 2014. Datos meteorológicos de Duitama.
- MALAVIER, L.V. 1975. Hormonas vegetales y reguladores de crecimiento. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 47p.
- MARTÍNEZ, G.E. 2008. "Análisis de los estadios fenológicos, crecimiento y desarrollo en papa (*Solanum tuberosum* L) variedad Parda Pastusa (*subespecie andígena*), en Ventaquemada-Boyacá". Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- MARULANDA, A & G. MARTÍNEZ. 2001. "Obtención de plantas sanas de papa *Solanum tuberosum* L. variedad salentina, a través de las técnicas de termoterapia y cultivo de meristemas in vitro". *Rev. Facultad Nal. Agro.*, Medellín Vol. 54, No. 1 y 2. 1351-1366.
- MURASHIGE, T & F. SKOOG. 1962. "A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures". *Physiol. Plantarum.* Vol. 15, 473-479.
- MONTOYA, N., D. CASTRO, J. DÍAZ & D. RÍOS. 2008. "Tuberización in vitro de papa (*Solanum tuberosum* L), variedad Diacol Capiro, en biorreactores de inmersión temporal y evaluación de su comportamiento en campo". Unidad de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Antioquia.
- PEDRAZA, C. 2008. "Análisis de los estadios fenológicos, crecimiento y desarrollo en papa (*Solanum tuberosum* L) variedad Diacol capiro (*subespecie Andígena*), en Ventaquemada – Boyacá". Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- REID, J.B. & S.H. HOWELL. 1995. "Hormone mutants and plant development". En: *plant Hormones: Physiol., Biochemistry and Molecular Biol.*, Netherlands, 448-485.
- RODRÍGUEZ, E., C. TRUJILLO, S. ORDÚZ, S. JARAMILLO, R. HOYOS & R. ARANGO. 2000. "Estandarización de un medio de cultivo adecuado para la regeneración de tallos a partir de hojas, utilizando dos variedades colombianas de papa", *Rev. Fac. Nal. Agr.* Medellín. Vol. 53, No. 1. p. 887-899.
- ROJAS, S & H. RAMÍREZ. 1987. "Control Hormonal del desarrollo de las plantas". México, D.F. p27-163.
- SALISBURY, FB & C.W. ROSS. 1994. "Fisiología vegetal", Iberoamérica, México D.F. 318p.
- SEGRETIN, M.E. 2008. "Los cultivos celulares y sus aplicaciones". Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/55456659/cultivos-celulares-II-euge>. Consulta: junio 2015
- SILVA, M., H. GÁMEZ, F. ZABALA, B. CUEVAS & M. ROJAS 2001. "Efecto de cuatro Fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del Girasol". *Ciencia UANL* . Vol. 14, No. 1, 69-75.
- SOBERÓN, J.R., E. QUIROGA, A. SAMPIETRO & M. VATTUONE. 2006. "Cátedra de fitoquímica". Instituto de Estudios Vegetales. Facultad de Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de Tucuman. Argentina. 48p.
- TAIZ, L. & E. ZEIGER. 2006. "Plant physiology". 4 ed. Sinauer Associates Publishers. Sunderland, MA. 1338p.
- VALBUENA, R.I., G. POVEDA, J. ZAPATA, C. MEDINA, P. J. ALMANZA & P. PORRAS. 2009. "Escalas fenológicas de las variedades de papa Parda pastusa, Diacol capiro y criolla "yema de huevo" en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyaca, Nariño y Antioquia". Mosquera, Cundinamarca. Produmedios. 65p.
- VILLAREAL, H. 2012. "Competitividad. Estrategias para lograrlas". *Rev. papa* (Fedepapa) vol. 26, pp. 4-11.
- YAMAGUCHI, S Y & KAMIYA. 2000. "Gibberellin biosynthesis: Its regulation by endogenous and environmental signals". *Plant Cell Physiol.* Vol. 41, 251-257.