

Efecto fisiológico de elicitores en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro

Physiological effect of elicitors on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Diacol Capiro

Yamith Ernesto Burgos-Avila¹; Javier Giovanni Álvarez-Herrera²; Yomaira Liney Pinto-Acero³

¹Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: yamith.burgos@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8786-6311>

²Ing. Agrícola, M.Sc., Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: javier.alvarez@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1737-6325>

³Ing. Agrónoma, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: yomaira.pinto@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-5748-9853>

Cómo citar: Burgos-Avila, Y.E.; Álvarez-Herrera, J.G.; Pinto-Acero, Y.L. 2021. Efecto fisiológico de elicitores en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1337. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.2.2021.1337>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: febrero 28 de 2020

Aceptado: julio 7 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La utilización de elicitores es frecuente en la inducción de diferentes respuestas relacionadas con la resistencia sistémica de las plantas; no obstante, no se ha caracterizado el gasto metabólico que generan en el cultivo de papa variedad Diacol Capiro, que es la más utilizada para el procesamiento industrial en Colombia, debido a su calidad y alta producción. En esta investigación, se evaluó el efecto de cuatro elicitores en el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa, en la vereda El Toval, del municipio de Tutazá, Boyacá. El diseño experimental fue en parcelas divididas, en donde la parcela principal fue la etapa fenológica, en la que se hizo la aplicación (E1; formación de tallos secundarios), época dos (E2; floración) y época tres (E3; aplicación tanto en formación de tallos secundarios como en floración) y la subparcela, con los elicitores aplicados

(glucosamina, ácido γ -amino butírico, fosfito de potasio y ácido salicílico) y el testigo sin aplicación. Los datos fueron tomados a los 60, 80 y 100 días después de la siembra, teniendo como variables: altura de la planta, número de folíolos, clorofilas totales, eficiencia fotosintética, biomasa seca y producción. La glucosamina fue el tratamiento que obtuvo menores resultados en la mayoría de variables evaluadas con respecto al testigo; asimismo, los elicitores tienen efectos diferentes, dependiendo del estado fenológico del cultivo, especialmente, en la época de formación de tallos secundarios. El ácido salicílico (AS) presentó un comportamiento estadísticamente similar al del testigo, mientras que los demás elicitores aplicados, disminuyeron la producción de papa.

Palabras clave: Glucosamina; Inductores; Ácido salicílico; SPAD; Fosfito de potasio.

ABSTRACT

Elicitors are frequently employed for the induction of different responses related to the systemic resistance of plants, however, it has not been fully characterized in the metabolic expenditure generated in the cultivation of the potato variety Diacol Capiro, the most planted for industrial processing in Colombia due to its quality and production. In this research, the effect of four elicitors on the growth and development of the potato crop was evaluated, in the municipality of Tutazá, Boyacá. The experimental design was divided plots, being the main plot the phenological stage in which the application was made (E1; formation of secondary stems), season two (E2; flowering) and season three (E3; application both in formation of secondary stems as in flowering) and the subplot, the applied elicitors (glucosamine, γ -amino butyric acid, potassium phosphite and salicylic acid) and the control without application. Data were taken 60, 80 and 100 days after sowing, having as variables: plant height, number of leaflets, total chlorophylls, photosynthetic efficiency, dry biomass and production. With the use of glucosamine the lowest results were obtained in most of the variables evaluated with respect to the control, likewise, elicitors had different effects depending on the phenological state of the crop, especially at the moment of secondary stem formation. Salicylic acid (AS) presented a statistically similar behavior to that of the control while the other applied elicitors decreased potato production.

Keywords: Glucosamine; Elicitors; Salicylic acid; SPAD; Potassium phosphite.

INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la población ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria, por lo que se hace necesario el incremento de la productividad de los cultivos (Lattre-Gasquet *et al.* 2018). La papa es uno de los cultivos más importantes en Colombia, su producción se ha incrementado en un 8 % durante los últimos 18 años y su productividad ha aumentado de 17,96 t ha⁻¹, en 2006, a 21,4 t ha⁻¹, en 2017; sin embargo, aún no se cumple con la producción necesaria para satisfacer la demanda nacional (Fedepapa, 2019).

Una de las estrategias para aumentar la productividad de los cultivos es reducir las pérdidas causadas por la presencia de plagas y de enfermedades, estimadas entre un 25 a 40 %, de la producción total (Sobhy *et al.* 2015). El cultivo de papa es el producto de origen agrícola que, en Colombia, demanda la mayor cantidad de fungicidas e insecticidas (Gobernación de Antioquia, 2019).

Una alternativa ambiental y de bajo impacto utilizada en el control de plagas y de patógenos son los elicitores, los cuales, son compuestos que pueden ser aplicados a los cultivos, con el fin de fortalecer las plantas y aumentar su vigor, resistencia y rendimiento (Sobhy *et al.* 2015). La resistencia sistémica inducida es una forma no específica de resistencia a las enfermedades en las plantas, que actúa contra una amplia gama de patógenos y es activada por una amplia gama de elicitores no específicos (Bruce, 2014). Estas moléculas pueden ser,

tanto de naturaleza microbiana de patrones moleculares asociados a patógenos como de las automoléculas o patrones moleculares asociados a daños (Aubel *et al.* 2016). La mayoría de los estudios, se han centrado en las vías de señalización subyacentes y la posible influencia en interacción planta-patógeno, mientras que poco conocimiento se tiene sobre el efecto de la aplicación de elicitores en condiciones de campo, en las variables de crecimiento y de producción del cultivo y en los costos de asignación que puede generar la resistencia sistémica adquirida (RSA) (Agrawal, 1999; Heil, 1999). Dentro de los llamados elicitores, se encuentran, principalmente, el ácido salicílico (AS) y el ácido jasmónico (AJ), que permiten una respuesta coordinada de toda la planta, contra posibles invasores (Pieterse *et al.* 2012). Al respecto, Navarre *et al.* (2003) encontraron que al aplicar AS no hubo un efecto claro en las plantas de papa, por lo que sugieren aclarar si los altos niveles basales de AS constituyen una defensa efectiva o, por el contrario, disminuyen la capacidad de respuesta al AS.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de un grupo de sustancias elicitoras sobre el crecimiento, el desarrollo y la producción del cultivo de papa variedad Diacol Capiro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se llevó a cabo en la vereda el Toval, del municipio de Tutazá, departamento de Boyacá, Colombia, situada a 6°04'43,73" N y a 72°53'04,67" O, con una altitud de 3.243 m s.n.m. y una temperatura promedio de 14 °C. El cultivo seleccionado corresponde a la variedad Diacol capiro.

Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas con tres niveles, en donde cada uno de estos correspondió a la época de aplicación del elicitor, de acuerdo con el estado fenológico del cultivo, según escala fenológica BBCH, así: época uno (E1; formación de tallos secundarios), época dos (E2; floración) y época tres (E3; aplicación tanto en formación de tallos secundarios como en floración); lo anterior, acorde con Valbuena *et al.* (2009). Las subparcelas tuvieron cinco niveles, que fueron el elicitor empleado: glucosamina 1 g L⁻¹, Ácido γ -amino butírico (GABA) 1 g L⁻¹, Fosfito de Potasio 1,5 ml L⁻¹ y ácido salicílico (AS) 1 g L⁻¹ y el testigo sin aplicación.

Cada parcela tuvo un tamaño de 3 m x 80 m y cada subparcela 3 m x 4 m, lo que generó un total de 60 unidades experimentales, producto de multiplicar las tres épocas de aplicación por los cinco elicitores aplicados y cuatro repeticiones.

La toma de datos, se realizó a los 60, 80 y 100 días después de siembra (dds) a las variables: altura de la planta (cm), desde la parte basal hasta el foliolo más alto; número de foliolos por planta, contando la totalidad de foliolos expresado en unidades; clorofilas totales, por medio de un cloroflómetro SPAD-502 (Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japón), para lo cual, se realizaron 4 mediciones por planta, en la tercera hoja bajando del tercio alto de la planta, de esta forma, al final de cada medición, se generó un

promedio de clorofilas totales por unidad experimental, expresado en unidades SPAD. La masa seca, se determinó con una balanza VIBRA AJ220E (Shinko Denshi Co, Tokyo, Japon), después de cosechar los tubérculos y secarlos en mufla, a 75 °C, hasta obtener peso constante. La producción total, se determinó pesando todos los tubérculos por unidad experimental y los resultados se llevaron a unidades de $t\ ha^{-1}$. El número de tubérculos de calidad de primera, se estableció de acuerdo con los estándares establecidos por el mercado, ríche (<4 cm de diámetro), primera (entre 4 y 9 cm de diámetro), cero (>12 cm de diámetro).

La eficiencia fotosintética, se midió en campo, con el fluorómetro Junior-Pam (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemania), en 4 plantas por unidad experimental, para lo cual, se cubrió la tercera hoja bajando del tercio alto, con 2 bolsas de aluminio y una bolsa de papel, durante 60 min, con el fin de generar la reducción de la actividad del PSII a valores cercanos a 0. Pasada una hora, se procedió a realizar las mediciones con el sensor del equipo, conservando la condición de oscuridad de la hoja.

Con los datos obtenidos, se realizaron pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianzas; posteriormente, se llevó a cabo el análisis de varianzas (Anova), para determinar diferencias estadísticas, con un grado de confiabilidad del 95 % y se determinaron pruebas de comparación de promedios Tukey ($P \leq 0,05$). Los análisis, se realizaron con el software R versión 3.1.2.2 (R Team Core, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta. Al comparar las épocas de aplicación y los tratamientos no se presentaron diferencias significativas, ni tampoco en la interacción a los 60 dds; no obstante, se presentaron diferencias a los 80 y 100 dds, para la interacción época por tratamiento, con valores promedio de 42 y 68 cm, respectivamente. Es posible que esto ocurra, porque las plantas respondieron a las variaciones en la disponibilidad de fotoasimilados, a partir de la asignación y repartición de éstos entre los distintos órganos, ya que optimizan la captura de los mismos y maximizan, consecuentemente, la tasa de crecimiento (White *et al.* 2015).

En la interacción tratamiento por época, a los 80 dds, se presentan diferencias significativas (Figura 1a), en donde la aplicación de fosfito de potasio en la E1 presentó los mayores valores promedio de altura (47 cm). Al respecto, Rossall *et al.* (2016) afirman que los fosfitos promueven el crecimiento de las plantas, incluso, en ausencia de patógenos vegetales, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo; posiblemente, esto ocurre, porque el fosfito aplicado vía foliar es absorbido más rápidamente que los fosfatos, lo que hace que algunas funciones, como la síntesis de fitoalexinas y aminoácidos, sean más rápidas (Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2015). Además, el fosfito de potasio es capaz de producir un rápido estímulo de importantes procesos metabólicos en las plantas, implicados en la superación del estrés ambiental, patológico y nutricional (Cohen, 2002), debido a que el compuesto, al entrar en la planta, separa el anión del catión, dejando que el potasio contribuya con la mayor translocación de fotoasimilados a

los órganos vertederos (hojas y tallos nuevos). Lo anterior coincide con los resultados hallados por Ortiz & Zapata (2011), quienes encontraron plantas de plátano más altas, al aplicar fosfito de potasio y afirman que este producto activa el sistema de defensa de las plantas y, al mismo tiempo, metaboliza el fosfito a fosfato, para utilizarlo como nutriente, desempeñando un papel importante en el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

Las plantas tratadas con glucosamina presentaron los valores más bajos de altura en la E1 y E3, posiblemente, al efecto que esta tiene en la elongación celular, ya que una de las características de este polímero es que influye en las propiedades funcionales de los sistemas en donde se adicione, pues interviene, de manera significativa, en el crecimiento de las plantas (Falcón *et al.* 2008).

A los 100 dds, se presentaron diferencias significativas para la interacción época por tratamiento (Figura 1b), siendo el tratamiento de GABA el que mostró las plantas con mayor altura, con un promedio de 76,5 cm, en la E1 y las más bajas, en los tratamientos AS y glucosamina en la E3, mientras que para GABA, en la E2, las alturas no superaron los 62 cm. Para la E2, al aplicar GABA a las plantas, el proceso involucrado en el crecimiento fue menor, ya que la competencia metabólica podría resultar en la variación de los costos de asignación. Caso contrario a lo reportado por Rose *et al.* (2003), quienes afirman que con la adición de 4 % de quitina al medio, el crecimiento de las plantas mejoró de forma significativa y no solo actuó como inductor de respuestas de defensa de las plantas.

Número de foliolos. El número de foliolos no presentó diferencias significativas a los 60 dds y tuvo un promedio de 26, mientras que a los 80 y 100 dds sí se presentaron diferencias entre tratamientos (Figura 2a y 2b), épocas (Figura 2c) y la interacción época por tratamiento (Figura 2d), con promedios de 75 y 183, respectivamente. La E1 mostró los valores más altos, con 187 foliolos en promedio; no obstante, la aplicación en E3 tuvo el menor valor, con un promedio de 180 foliolos. Al respecto, la eficiencia en la producción de follaje puede estar afectada por factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas, durante el ciclo de cultivo (White *et al.* 2015). Posiblemente, el gasto energético de las plantas fue menor en la producción de foliolos por la doble aplicación de elicitores, durante esta época, debido a que los elicitores inducen derivados del ácido salicílico (AS), los cuales, se acumulan en las plantas y pueden activar la expresión de genes específicos de patogénesis relacionada (PR), que no son inducidos por AS (Chen *et al.* 2009).

Després *et al.* (2007) determinaron que los esfuerzos metabólicos en las plantas dependen de la etapa de crecimiento y la disponibilidad de recursos, que pueden causar costos de asignación, lo que se ratifica en este estudio, en donde la E3 tiene el menor número de foliolos, ya que la aplicación es tardía y se da en una etapa de mayor requerimiento de fotoasimilados. Para el caso de interacción entre tratamientos y épocas, a los 80 dds, se presentaron diferencias significativas; asimismo, el tratamiento de Glucosamina presentó una disminución notable del número de foliolos para la época 1 y 3.

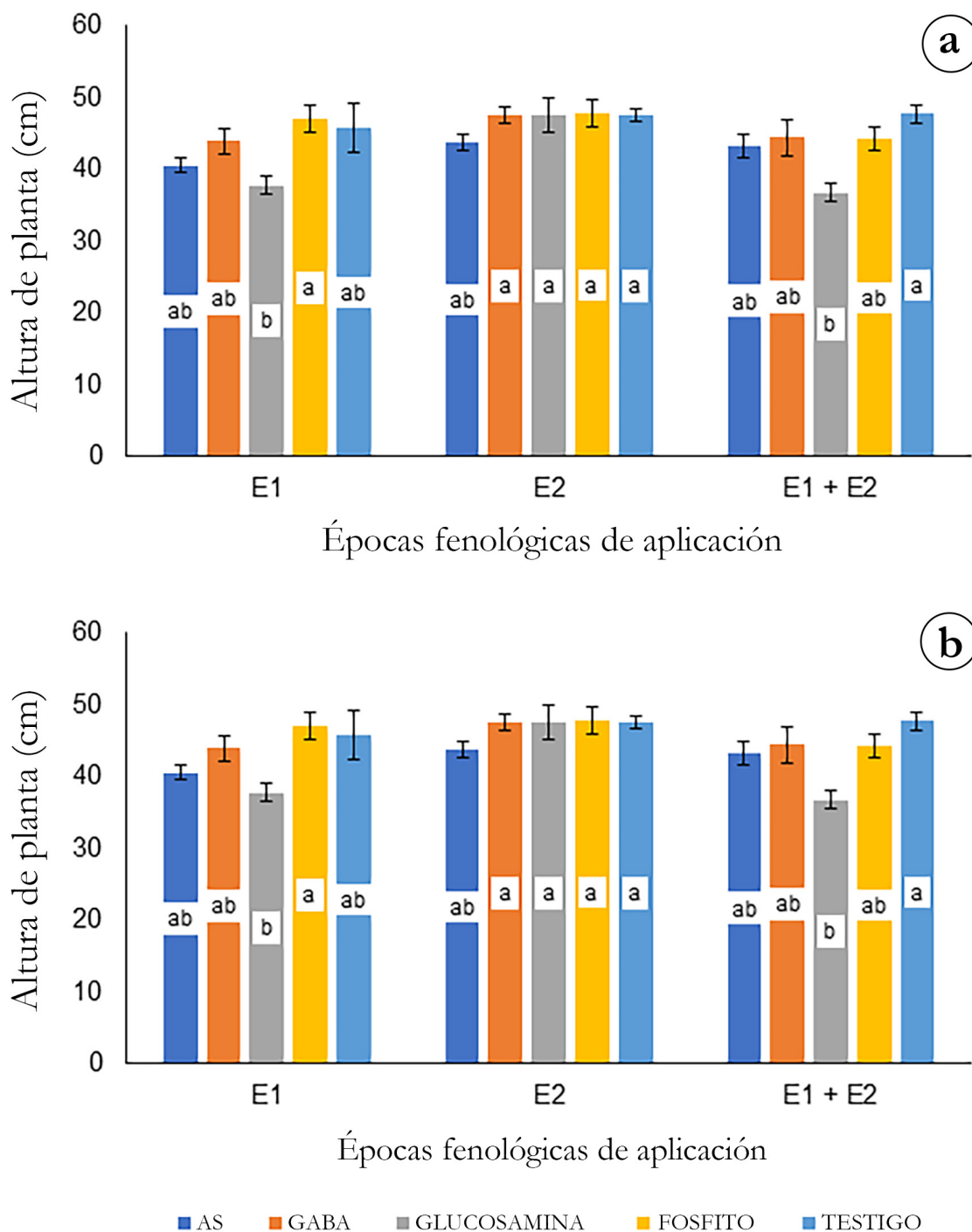


Figura 1. Altura de la planta de papa. a. 80 dds; b. 100 dds. AS: Ácido salicílico; GABA: Ácido γ -aminobutírico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

A los 100 dds, se presentaron diferencias significativas en la interacción entre tratamientos y épocas, en donde las plantas con mayor número de folíolos fueron las del tratamiento testigo en las tres épocas, con un promedio de 193 y las plantas con menor número de folíolos fueron las que recibieron la aplicación de glucosamina, con 175 y 170 folíolos, en la E2 y E3, respectivamente. Es posible que la glucosamina en las plantas cree barreras físicas para la protección de la planta (Riveros, 2010), debido a que la glucosamina proviene

de la ruta del ácido shikímico, que es el precursor de la fenilalanina y los fenil propanoides, los cuales, sintetizan la lignificación de tejidos, flavonoides y estilbenos, tanino suberinas y cutinas, además de la producción de fitoalexinas (Barber *et al.* 1999); Albersheim & Valent (1978) demostraron que oligómeros de glucanos de las paredes celulares son inductores activos de fitoalexinas, por ende, disminuye la producción de folíolos, ya que el gasto energético va dirigido a estos procesos metabólicos.

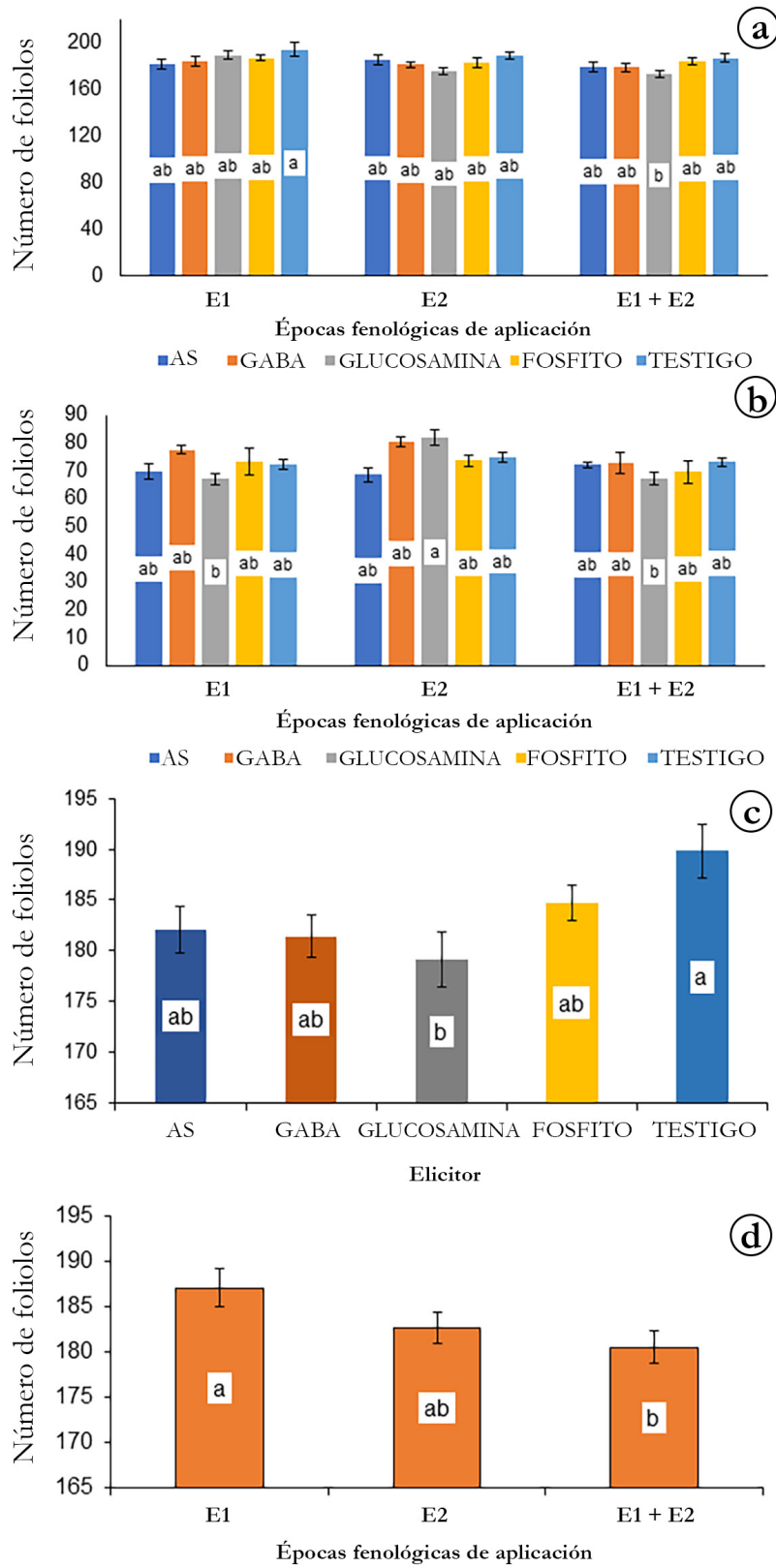


Figura 2. Número de foliolos por planta de papa. a. 80 dds; b. 100 dds; c. Clasificados por elicitores; d. Clasificados por épocas fenológicas de aplicación; BBCH E1: Formación de tallos secundarios, BBCH E2: Floración y BBCH E1 + BBCH E2: en formación de tallos secundarios y en floración. AS: Ácido salicílico; GABA: Ácido γ -aminobutírico. Letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

En un estudio de la interacción en tomate y la pudrición de corona de la raíz por patógeno *F. oxysporum* f. sp., Benhamou & Theriault (1992) demostraron que la aplicación de glucosamina foliar, para tratamiento de una infección de las raíces, aumentó, en gran medida, la formación de barreras físicas en los tejidos de la raíz; de hecho, el quitosano se ha utilizado para proteger una gama de huéspedes contra patógenos importantes, incluidos, los tubérculos de papa contra *Erwinia carotovora* y *Rhizoctonia solani* (Linden *et al.* 2000). La baja en el número de folíolos también se puede atribuir a que la aplicación de glucosamina genera un aumento de calcio citosólico libre y formación de H₂O₂, seguida de la expresión de genes, que codifican enzimas clave de la ruta de los fenilpropanoides y de PR (Aziz *et al.* 2007).

Clorofilas totales. No se presentaron diferencias significativas para las épocas de aplicación en ninguna de las evaluaciones, ya que los valores oscilaron entre 53 y 58 unidades SPAD, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Africano & Pinzón (2014), quienes mencionan que es probable que no se afecten los fotosistemas, en especial, porque la relación fuente vertedero se ha mantenido y no ha comenzado a traslocar fotoasimilados.

Para la interacción tratamiento por época a los 60 y 80 dds, no se presentaron diferencias significativas, con valores promedio de 53 y 52 unidades SPAD, respectivamente, lo que indica que, posiblemente, no se han provocado daños en membranas de cloroplastos o degradación de las clorofilas, por la etapa fenológica en la que se encuentran o que no ha comenzado la traslocación a los tubérculos y la clorofila, aún se está distribuyendo equitativamente entre las nuevas hojas, acorde con lo encontrado por Argente *et al.* (2009), quienes mencionan que el contenido de clorofilas totales disminuyó a medida que la planta entra en fase reproductiva.

A los 100 dds (Figura 3) hubo diferencias significativas, en donde el menor número de clorofilas totales se presentó en las plantas que recibieron la aplicación de fosfito de potasio en la E2, con un promedio de 47 unidades SPAD, lo que, posiblemente, puede indicar que, debido a la competencia ejercida entre fosfitos y fosfatos por canales de entrada intracelulares, se produce una deficiencia de fosfato, con poco adenosin trifosfato (ATP), para desarrollar síntesis de clorofilas a partir del ácido glutámico, similar a lo reportado por Wu *et al.* (2011), quienes mencionan que, probablemente, la liberación de ATP fue bloqueada por los canales de aniones de la membrana, pero no por un canal específico de cloro.

Eficiencia fotosintética (EF). No se presentaron diferencias significativas a los 60 dds, mientras que a los 80 dds, sí se observaron entre épocas. A los 100 dds hubo diferencias entre tratamientos y en la interacción tratamiento por época en la eficiencia fotosintética de las plantas de papa; sin embargo, la EF mostró una tendencia a disminuir hacia los 100 dds, con valores que oscilaron entre 0,78 y 0,75. En la época 2, la EF, a los 80 dds, tuvo un valor promedio para todas las aplicaciones, de 0,81, superior a los 0,77, registrados en la E3 (Figura 4a). Cabe mencionar que la fotosíntesis consta de dos fases principales, la fase fotoquímica y el ciclo de Calvin, por lo

que cualquier factor que altere el normal funcionamiento de alguna de estas fases es causal del descenso de la EF; adicionalmente, los elicitores son reconocidos como reguladores endógenos en las plantas, al estar involucrados en muchos procesos fisiológicos de las plantas (Mishra *et al.* 2012).

El tratamiento con aplicación de ácido salicílico mostró una tendencia ascendente en la EF de las plantas de papa en las dos primeras mediciones y presentó a los 100 dds valores ligeramente menores, a los exhibidos por las plantas del tratamiento testigo (Figura 4b). De igual forma, se aprecia que la aplicación de fosfito y glucosamina en las dos etapas, influye de forma negativa en la EF, ya que disminuye en un 7 y 5 %, respectivamente, en relación con la aplicación de estos elicitores en una sola etapa.

Las plantas que recibieron AS, tanto en la E1 como en la E2, presentaron valores similares al testigo; sin embargo, cuando se aplicó AS en las dos etapas, la EF se redujo en 2,6 %, debido a la doble aplicación de AS, la cual, probablemente, pudo haber generado estrés en las plantas de papa; lo anterior es similar a lo encontrado en semillas de arroz, por Le Thanh *et al.* (2017), quienes al evaluar la aplicación de AS obtuvieron un 28 % más de producción de especies reactivas de oxígeno, frente al testigo, lo que es un indicativo de la situación de estrés en las plantas que origina el AS.

Biomasa seca. La medición de la masa seca mostró diferencias significativas en la interacción entre épocas y tratamientos. La masa seca del tratamiento testigo fue superior en un 20,8, 16,2, 24,1 y 11,7 % a los tratamientos, cuyas plantas recibieron las aplicaciones de AS, GABA, glucosamina y fosfito, respectivamente, en donde la presencia de órganos de la planta, con una demanda neta por asimilados, es probable que altere, de gran manera, los patrones de producción y de distribución de la biomasa seca en los diferentes órganos de la planta (Dietrich *et al.* 2005).

El tratamiento con glucosamina presentó los valores más bajos para la producción de masa seca (Figura 5a). Al respecto, es probable que las plantas que fueron inducidas con glucosamina, posiblemente, gastaron mayor energía en la defensa que en la producción de biomasa seca, ya que este polímero ha sido extensamente evaluado, para determinar la capacidad de inducir respuestas de defensa natural en la planta, presentando cambios fisiológicos y bioquímicos que ocurren dentro de la planta, debido a la inducción por quitosano (Rodríguez-Pedroso *et al.* 2009).

Del mismo modo, el AS también afectó, de forma significativa, la acumulación de masa seca de las plantas. Al respecto, es probable que la aplicación de AS actúe como un regulador sobre el balance óxido/reducción de las células vegetales; además, induce respuestas adaptativas, fisiológicas y morfológicas en las plantas, que incluyen el incremento en la producción de lípidos (Le Thanh *et al.* 2017), el aumento de la actividad enzimática de la peroxidasa y la polifenol oxidasa, así como el aumento en la producción de fitoalexinas, orizalexinas y de la actividad antioxidante (Li *et al.* 2012), lo cual, implica un desgaste de la planta y explica la menor generación de biomasa seca.

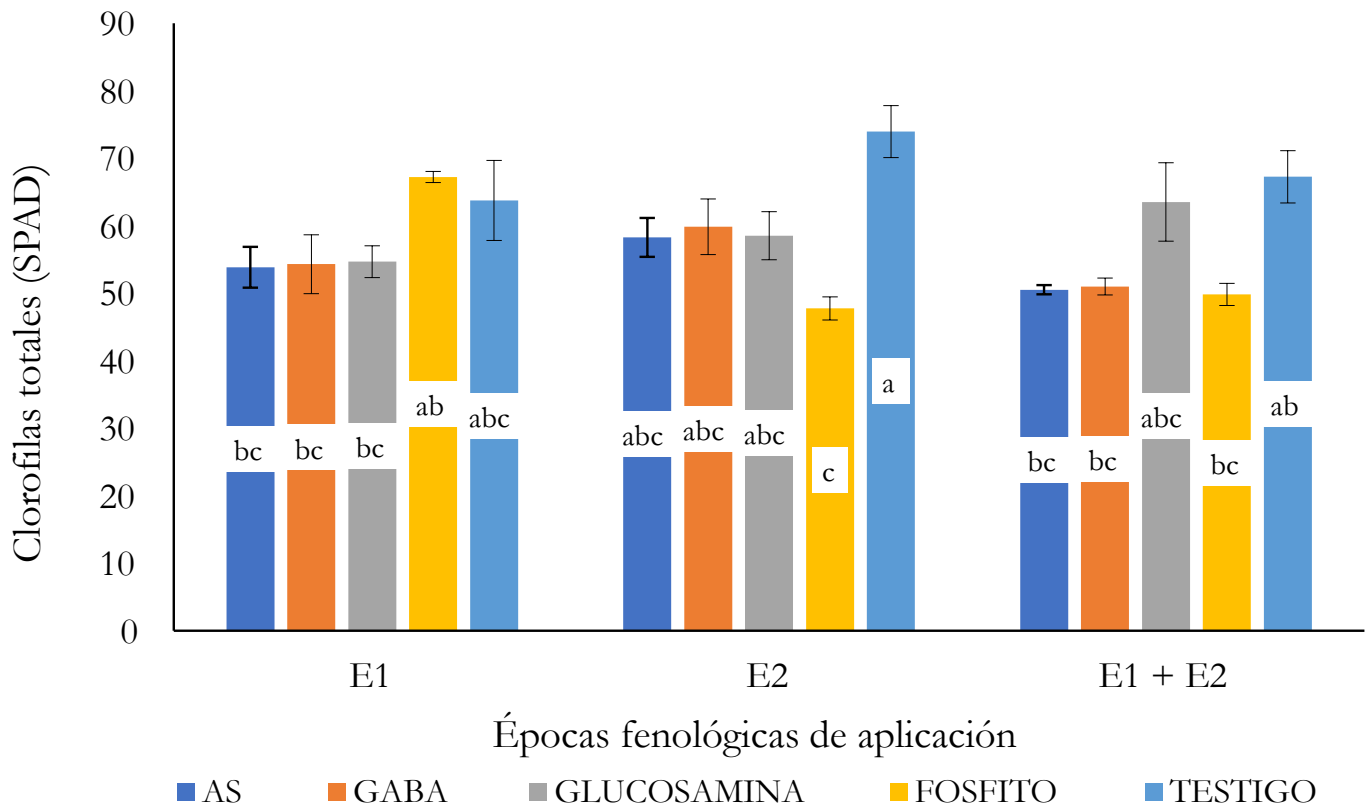


Figura 3. Clorofilas totales en plantas de papa a los 100 dds. BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

Producción total. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El testigo mostró la producción total más alta (Figura 5b), lo que implica que la aplicación de elicitors afecta la producción del cultivo. Las plantas de papa que recibieron la aplicación de AS y glucosamina fueron las de más baja producción (28,6 y 15,8 % menos que el testigo, respectivamente), lo cual, puede ser atribuido a que estos dos elicitors promueven una mayor asignación de recursos a la defensa de la planta que a la generación de apios de arracacha.

De forma similar, Walters *et al.* (2005) afirman que los elicitors pueden facilitar la desviación de metabolitos y de energía del crecimiento y otros procesos hacia la defensa de la planta; también se menciona, que sistemas, como el de la producción de semillas, se puede ver afectado, debido a la variación en los costos de asignación, que provocan los elicitors (Thakur & Sohal, 2013; Dietrich *et al.* 2005). Otros efectos negativos que pueden causar los elicitors son el efecto autotóxico, ya que algunos de estos rasgos de resistencia son tóxicos para la planta y su expresión constitutiva puede imponer una carga metabólica adicional (Ghimire *et al.* 2019).

Las épocas de aplicación de los elicitors no revelaron diferencias significativas en la producción total de tubérculos de papa; no obstante, cuando se aplicaron los elicitors en la E1 ($63,8 \text{ t ha}^{-1}$),

los valores fueron 9,17 y 11,7 %, mayores que la producción de las plantas tratadas en la E2 ($57,9 \text{ t ha}^{-1}$) y en la E3 ($56,33 \text{ t ha}^{-1}$), respectivamente.

Número de tubérculos de calidad primera (entre 4 y 9 cm de diámetro).

Los tubérculos de calidad primera mostraron diferencias en la interacción entre tratamientos y épocas (Figura 6), en donde la aplicación de fosfito de potasio generó la mayor producción en las tres épocas de aplicación, seguida por el tratamiento que recibió la aplicación de glucosamidas, que fue un 11,3, 3,48 y 4,22 % inferior, para la E1, E2 y E3, respectivamente, lo que permite afirmar que la producción de la calidad primera se ve beneficiada por la aplicación del ión potasio, similar a Lobato *et al.* (2008), quienes mencionan que las plantas presentan un mayor verdor en la madurez del cultivo y, finalmente, la obtención de un mayor rendimiento de tubérculos (mayor tamaño y número de tubérculos).

Cabe resaltar, que, al aplicar los tratamientos en la E2, el porcentaje de tubérculos de papa, en promedio, disminuyó frente a las demás épocas de aplicación, lo que permite inferir, que esta etapa de desarrollo del cultivo es más sensible a los elicitors aplicados. Estos resultados son similares a los encontrados en un estudio diseñado

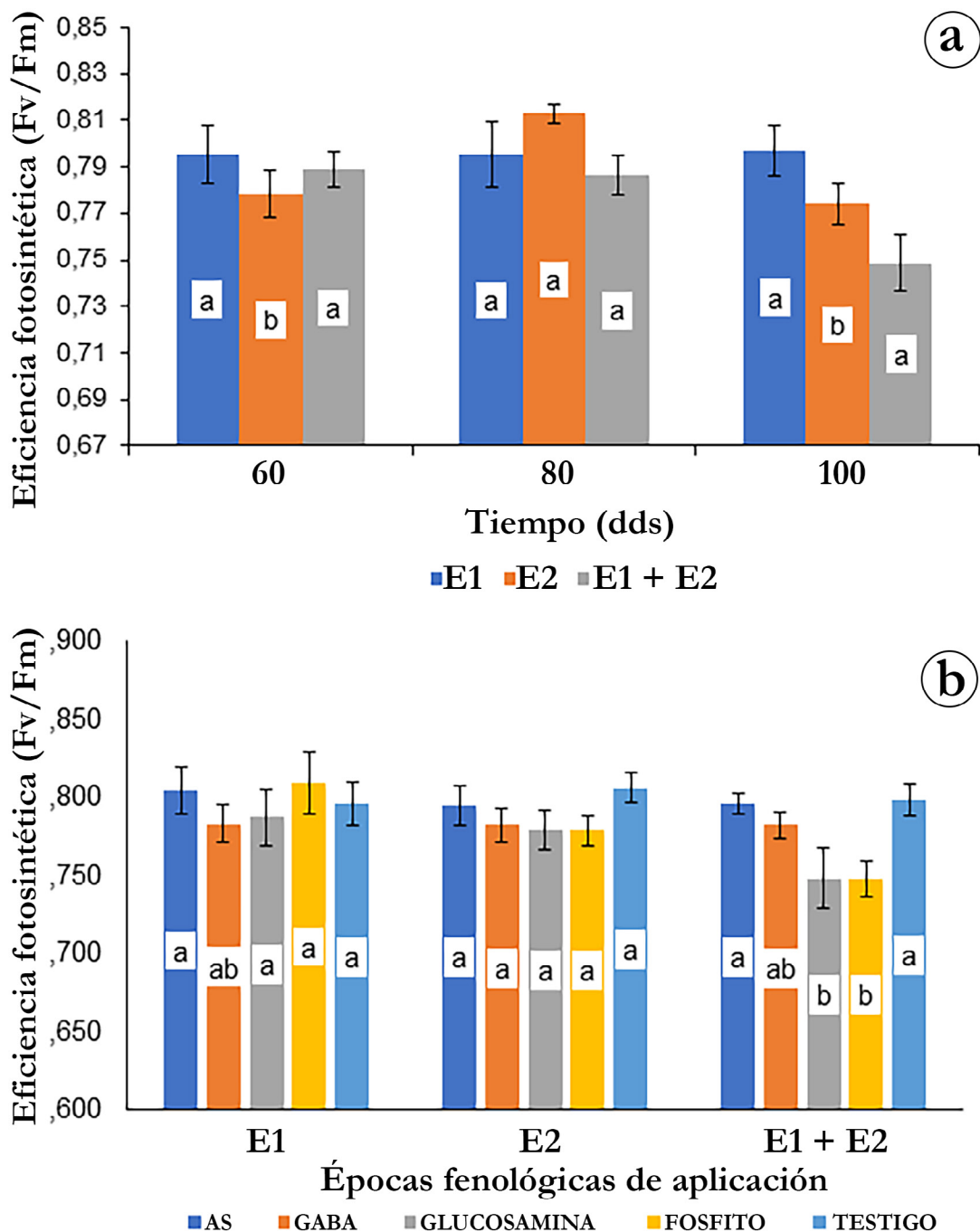


Figura 4. Eficiencia fotosintética de plantas de papa. a. Clasificadas por días de medición; b. Clasificadas por épocas de aplicación de diferentes elicitores; BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre el tiempo de medición, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

específicamente para cuantificar los costos de asignación de SAR, en el cual, plantas de trigo tratadas con BTH, bajo condiciones libres de patógenos, mostraron una reducción significativa en la biomasa y la producción de semilla (Heil *et al.* 2000).

Se puede concluir que los elicitores afectan significativamente el crecimiento y el desarrollo del cultivo de papa variedad Diacol Capiro, en especial, cuando son adicionados a la planta, en dos aplicaciones en la E3, mientras que, si se realiza una sola aplicación

de cualquier elicitore en la época 1, el crecimiento y el desarrollo del cultivo no se ve afectado. En cuanto a los parámetros fisiológicos del cultivo, el elicitore que menor repercusión tiene sobre el crecimiento y el desarrollo es el ácido salicílico, ya que tiene un comportamiento muy parecido al del testigo.

La etapa de floración es la más sensible a los elicitores, debido a que estos redujeron el porcentaje de tubérculos de papa. En general, la aplicación de elicitores disminuyó la producción de papa.

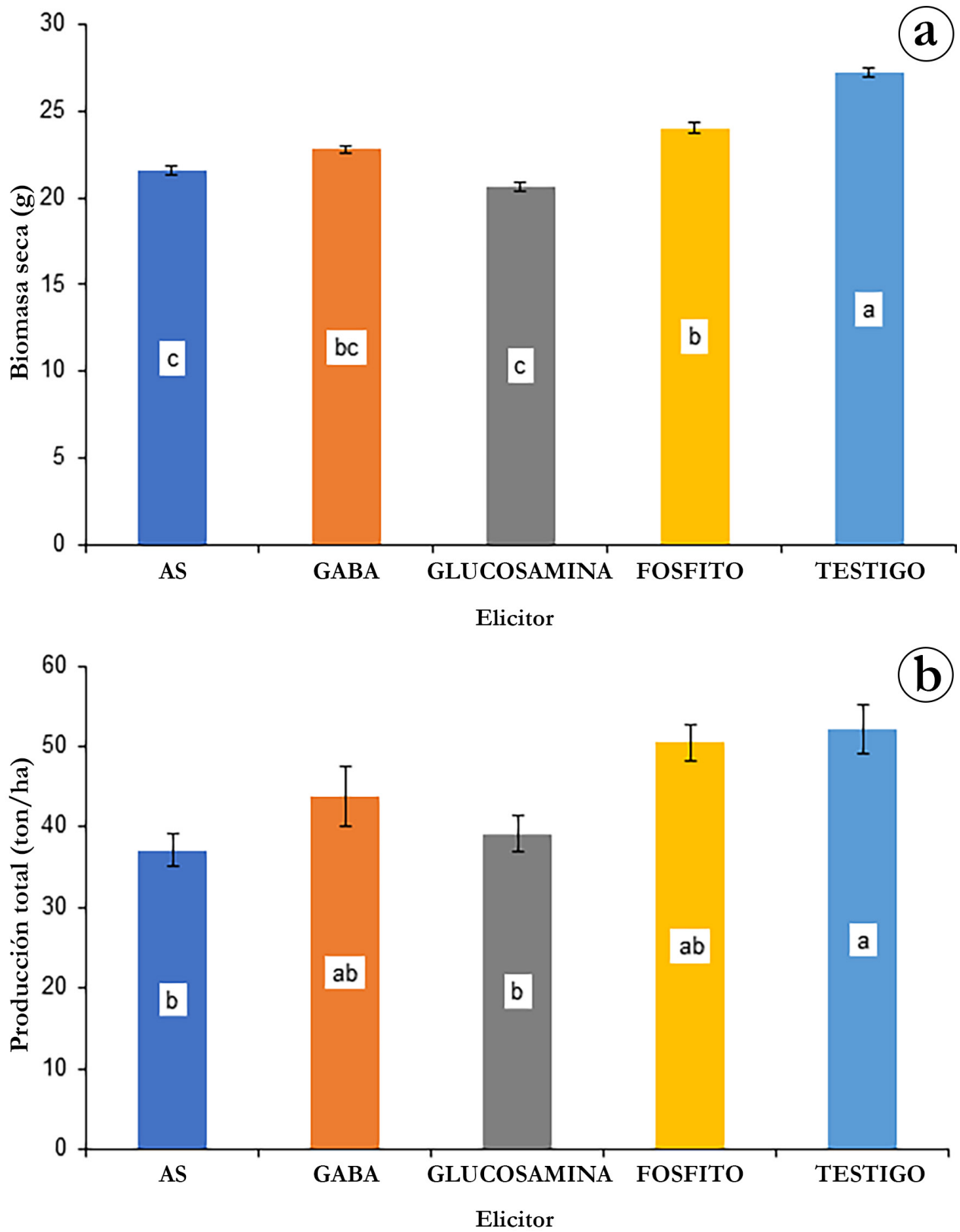


Figura 5. a. Biomasa de plantas de papa; b. Producción total de plantas de papa sometidas a la aplicación de diferentes elicitores. Letras diferentes indican diferencias significativas entre elicitores aplicados, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=12$).

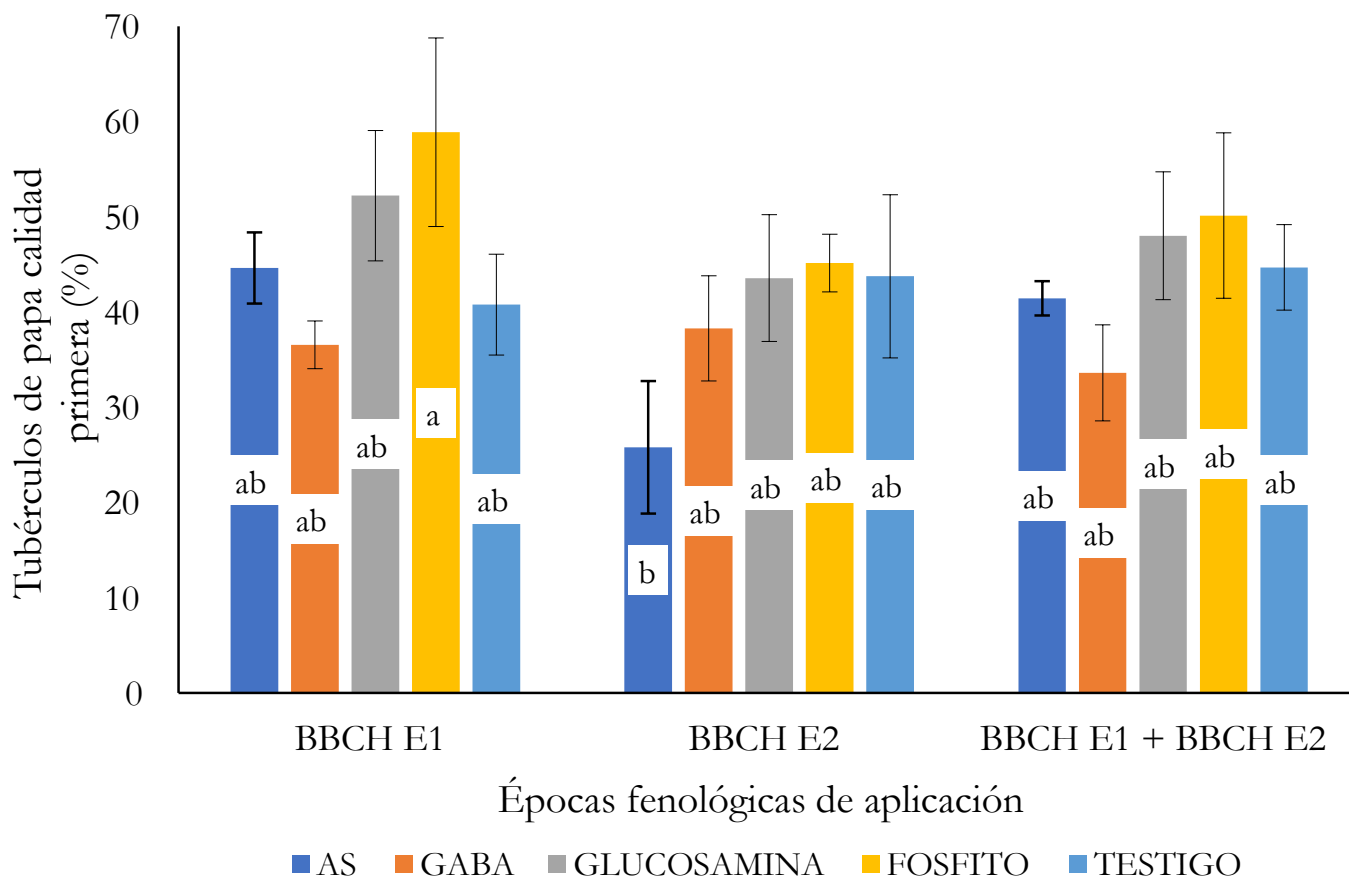


Figura 6. Porcentaje de tubérculos de papa de calidad primera (entre 4 y 9 cm). BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

Agradecimientos. Esta investigación, se realizó gracias al apoyo económico de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través del proyecto SGI 1917, “Estimación de los costos de asignación de carbohidratos en función de la aplicación de elicitores en papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol Capiro en Tutazá-boyacá”.
Conflicto de interés: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AFRICANO, K.; PINZÓN, E. 2014. Comportamiento fisiológico de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.), sometidas a estrés por salinidad. *Conex. Agro.* 3(2):13-24.
2. AGRAWAL, A. 1999. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. *Ecology.* 80(5):1713-1723. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1713:IRTH IW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1713:IRTH IW]2.0.CO;2)
3. ALBERSHEIM, P.; VALENT, B. 1978. Host-pathogen interactions in plants. Plants when exposed to oligosaccharides of fungal origin defend themselves by accumulating antibiotics. *J. Cell Biol.* 78(3):627-643. <https://doi.org/10.1083/jcb.78.3.627>
4. ARGENTEL, L.; LÓPEZ, D.; GONZÁLEZ, L.; LÓPEZ, R.; GÓMEZ, C.; GIRÓN, R. 2009. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero cuba-c-204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales.* 30(4):32-37.
5. AUBEL VAN, G.; CAMBIER, P.; DIEU, M.; CUTSEM, P. 2016. Plant immunity induced by COS-OGA elicitor is a cumulative process that involves salicylic acid. *Plant Sci.* 247:60-70. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.03.005>
6. AZIZ, A.; GAUTHIER, A.; BÉZIER, A.; POINSSOT, B.; JOUBERT, J.; PUGIN, A. 2007. Elicitor and resistance-inducing activities of β -1,4 celloextrins in grapevine, comparison with β -1,3 glucans and α -1,4 oligogalacturonides. *J. Exp. Bot.* 58(6):1463-1472. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm008>

7. BARBER, M.; BERTRAM, R.; RIDE, J. 1999. Chitin oligosaccharides elicit lignification in wounded leaves. *Physiol. Mol. Plant P.* 34(1):3-12.
[https://doi.org/10.1016/0885-5765\(89\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0885-5765(89)90012-X)
8. BENHAMOU, N.; THERIAULT, G. 1992. Treatment with chitosan enhances resistance of tomato plants to the crown and root rot pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Physiol. Mol. Plant P.* 41(1):33-52.
[https://doi.org/10.1016/0885-5765\(92\)90047-Y](https://doi.org/10.1016/0885-5765(92)90047-Y)
9. BRUCE, T. 2014. Variation in plant responsiveness to defense elicitors caused by genotype and environment. *Front Plant Sci.* 5(349):1-4.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00349>
10. CHEN, Z.; ZHENG, Z.; HUANG, J.; LAI, Z.; FAN, B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signal. Behav.* 4(6):493-496.
<https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>
11. COHEN, Y. 2002. β -Aminobutyric acid-induced resistance against pathogens. *Plant Dis.* 86(5):448-457.
<https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.5.448>
12. DESPRÉS, L.; DAVID, J.P.; GALLET, C. 2007. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends Ecol. Evol.* 22(6):298-307.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.02.010>
13. DIETRICH, R.; PLOSS, K.; HEIL, M. 2005. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant Cell Environ.* 28(2):211-222.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01265.x>
14. FALCÓN, A.; CABRERA, J.; COSTALES, D.; RAMÍREZ, M.; CABRERA, G.; TOLEDO, V. 2008. The effect of size and acetylation degree of chitosan derivatives on tobacco plant protection against *Phytophthora parasitica nicotianae*. *World J. Microb. Biot.* 24:103-112.
<https://doi.org/10.1007/s11274-007-9445-0>
15. FEDEPAPA. 2019. Revista papa No. 47 abril. Fedepapa, Fondo Nacional de fomento de la papa. 62p.
16. GHIMIRE, B.K.; GHIMIRE, B.; YU, C.Y.; CHUNG, I. 2019. Allelopathic and autotoxic effects of *Medicago sativa*-derived allelochemicals. *Plants.* 8(7):233.
<https://doi.org/10.3390/plants8070233>
17. GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. 2019. Manual técnico del cultivo de papa bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible desde Internet en:
https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20PAPA_0.pdf (con acceso 07/09/2019).
18. GÓMEZ-MERINO, F.; TREJO-TÉLLEZ, L. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Sci. Hortic.* 196:82-90.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035>
19. HEIL, M. 1999. Systemic acquired resistance: available information and open ecological questions. *J. Ecol.* 87(2):341-346.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00359.x>
20. HEIL, M.; HILPERT, A.; KAISER, W.; LINSENMAIR, K.E. 2000. Reduced growth and seed set following chemical induction of pathogen defence: does systemic acquired resistance (SAR) incur allocation costs? *J. Ecol.* 88(4):645-654.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00479.x>
21. LATTRE-GASQUET, M.; Le MOUËL, C.; MORA, O. 2018. The 'land use and food security' system. En: Le Mouël, C.; Lattre-Gasquet, M.; Mora, O. (eds.) *Land use and food security in 2050: a narrow road*. Ed. Quæ (Versailles Cedex, France). p.11-19.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2880-5>
22. LE THANH, T.; THUMANU, K.; WONGKAEW, S.; BOONKERD, N.; TEAUMROONG, N.; PHANSAK, P.; BUENSANTEAI, N. 2017. Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice. *J. Plant Interact.* 12(1):108-120.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1291859>
23. LI, Y.; ZHANG, Z.; NIE, Y.; ZHANG, L.; WANG, Z. 2012. Proteomic analysis of salicylic acid-induced resistance to *Magnaporthe oryzae* in susceptible and resistant rice. *Proteomics* 12(14):2340-2354.
<https://doi.org/10.1002/pmic.201200054>
24. LINDEN, J.; STONER, R.; KNUTSON, K.; GARDNER-HUGHES, C. 2000. Organic disease control elicitors. *Agro Food Industry Hi-Tech.* 11(5):32-34.
25. LOBATO, M.C.; OLIVIERI, F.P.; GONZÁLEZ-ALTAMIRANDA, E.A.; WOLSKI, E.A.; DALEO, G.R.; CALDIZ, D.O.; ANDREU, A.B. 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *Eur. J. Plant Pathol.* 122:349-358.
<https://doi.org/10.1007/s10658-008-9299-9>
26. MISHRA, A.K.; SHARMA, K.; MISRA, K. 2012. Elicitor recognition, signal, transduction and induced resistance in plants. *J. Plant Interact.* 7(2):95-120.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2011.597517>

27. NAVARRE, D.J.; THOMAS, P.; BROWN, C. 2003. Systemic Acquired resistance in potato. *Acta Hort.* 619:177-181. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2003.619.19>
28. ORTIZ, A.; ZAPATA, J. 2011. Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico hartón (*Musa balbisiana* AAB) contra *Mycosphaerella* spp. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 35(137):463-471.
29. PIETERSE, C.; VAN DER DOES, D.; ZAMIOUDIS, C.; LEÓN-REYES, A.; VAN WEES, S. 2012. Hormonal modulation of plant immunity. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 28:489-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
30. RIVEROS, A. 2010. Inducción de resistencia en plantas, Interacción: planta-patógeno. San José, C.R; IICA. AGRIS. p.185-188.
31. RODRÍGUEZ-PEDROSO, A.T.; RAMÍREZ-ARREBATO, M.A.; RIVERO-GONZÁLEZ, D.; BOSQUEZ-MOLINA, E.; BARRERA-NECHA, L.L.; BAUTISTA-BAÑOS, S. 2009. Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(3):307-317.
32. ROSE, S.; PARKER, M.; PUNJA, Z. 2003. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Dis.* 87(12):1462-1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462>
33. ROSSALL, S.; QING, C.; PANERI, M.; SWARUP, R. 2016. A 'growing' role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Hort.* 1148:61-67. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1148.7>
34. SOBHY, I.S.; ERB, M.; TURLINGS, T.C.J. 2015. Plant strengtheners enhance parasitoid attraction to herbivore-damaged cotton via qualitative and quantitative changes in induced volatiles. *Pest Manag Sci.* 71:686-693. <https://doi.org/10.1002/ps.3821>
35. THAKUR, M.; SOHAL, B.S. 2013. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: A review. *ISRN Biochem.* 2013:1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/762412>
36. VALBUENA, R.; ROVEDA, G.; BOLAÑOS, A.; ZAPATA, J.; MEDINA, C.; ALMANZA, P.; PORRAS, P. 2009. Escalas fenológicas de las variedades de papa parda pastusa, diacol capiro y criolla "yema de huevo" en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. Fedepapa. Mosquera, Colombia. 34p.
37. WALTERS, D.; WALSH, D.; NEWTON, A.; LYON, G. 2005. Induced resistance for plant disease control: maximizing the efficacy of resistance elicitors. *Phytopathology.* 95(12):1368-1373. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1368>
38. WHITE, C.; ROGERS, A.; REES, M.; OSBORNE, C. 2015. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. *J. Exp. Bot.* 67:31-45. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv447>
39. WU, S.; SIU, K.; WU, J. 2011. Involvement of anion channels in mediating elicitor-induced ATP efflux in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. *J. Plant Physiol.* 169:128-132. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.015>