

CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) EN ETAPA DE VIVERO A DIFERENTES NIVELES DE Mg^{2+}

Jairo Andrés Rozo Lagos¹, Darwin Moreno Echeverry¹, Gabriel Roveda¹, Carlos Arturo Guerrero Fonseca², Liz Patricia Moreno Fonseca^{1*}

¹Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia

²Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia

*Corresponding author. E-mail: lpmorenof@unal.edu.co

Introducción

Dentro de las frutas andinas, *Physalis peruviana* L. ha sido la especie de mayor proyección en los mercados internacionales en las últimas décadas. En Colombia, el volumen de las exportaciones de *P. peruviana* se ha incrementado considerablemente en tan solo algunos años, destacándose como principales destinos Holanda, Alemania y Bélgica-Luxemburgo (DANE, 2008). Uno de los estreses abióticos que más afectan el crecimiento de ésta planta, y por tanto su producción, es el nutricional, en especial el causado por macronutrientes. El Mg^{2+} ha sido reportado como deficiente en cultivos de *P. peruviana* en Colombia debido a la presencia de suelos con pH ácido y textura arenosa o a una fertilización excesiva con otros cationes como Ca^{2+} y K^+ , condiciones que generan baja disponibilidad de Mg^{2+} (Hermans *et al.*, 2004). La deficiencia de Mg^{2+} produce diferentes alteraciones en la fisiología y el ciclo de vida de las plantas (2003; Skinner, 2005). El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la respuesta fisiológica de plantas de *P. peruviana* L. en la etapa de vivero a diferentes niveles de Mg^{2+} . Se analizarán variables de crecimiento, el contenido de clorofilas, el intercambio gaseoso, la fluorescencia de la clorofila a, la pérdida de electrolitos, la respuesta antioxidante, el estado nutricional y la apariencia de la planta.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en invernadero en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá a una altura de 2640 msnm, 20°C y 70% HR. Las plantulas de *P. peruviana* L. ecotipo Colombia se sembraron en bandejas de 50 alveolos con una mezcla de arena blanca, arena de pozo y granito en relación 1:1:1 V/V/V y fueron regadas con solución nutritiva de Hoagland 0.8. Los tratamientos fueron 5 niveles de magnesio 0, 5, 10, 15 y 20 $mg.kg^{-1}$ de Mg^{2+} (Mg0, Mg5, Mg10, Mg15 y Mg20). Se utilizó un diseño de bloques BCA.

Se determinó el área foliar (AF), el número de hojas (NH) y la masa seca (MS). Se calculó la relación raíz/parte aérea (R/PA) y el área foliar específica (AFE). La tasa de asimilación de CO_2 (A), la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomatal (Gs) fueron tomadas con un LCpro-SD Portable (Photosynthesis System-BioScientific). La fluorescencia de la clorofila a se determinó con un fluorómetro de pulso modulado MiniPAM (Walz, Effeltrich, Germany). El contenido Relativo de clorofilas (CRC) se determinó, con un clorofilometro (Chlorophyll Content Meter, modelo CC-200 plus). La pérdida de electrolitos se midió a partir de discos de 2.5 mm de diámetro tomados de la cuarta hoja. La conductividad eléctrica (CE) se determinó a las 6 horas.

La actividad enzimática de la Catalasa (CAT) se determinó con el método de permanganato/peróxido descrito por Ulrich (1974) y la actividad enzimática de la Peroxidasa (POD) por el método de o-dianisidina/peróxido (Kireyko *et al.* 2006). El contenido de proteína se determinó por el método de Bradford (1976) y la prolina por el de Bates *et al.* (1973). A los 90 días se determinó el contenido nutricional foliar en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia.

Se realizó un análisis de varianza y una prueba Duncan de comparación de medias para cada variable con el software estadístico Statistical Analysis System (SAS®).

Resultados y Discusión

Crecimiento. En la MS solo se observaron diferencias entre, el tratamiento Mg0 y los demás tratamientos, a lo largo de todo el experimento, a nivel del tallo y en la parte aérea a los 80 ddt (Fig. 1). No se presentaron diferencias en la relación R/PA. En NH se observaron diferencias significativas a los 80 ddt entre los tratamientos Mg0 y Mg20, presentándose menor número en Mg0, mientras en el AF se presentó una disminución significativa en el tratamiento Mg0 con respecto a Mg20 a lo largo del ensayo. En el AFE, se presentó una disminución significativa a los 65 ddt en el tratamiento Mg0, esta diferencia se debe a la disminución del área foliar. En deficiencia de Mg^{2+} se ha reportado para *Beta vulgaris* L. (Hermans *et al.*, 2004) una disminución en la MS de la parte aérea, mientras que para otras se ha encontrado una disminución en la MS de la raíz. En el AF en algunas plantas se presenta una disminución y en otras no se reportan cambios en esta variable. La reducción del crecimiento observada aquí en el tratamiento Mg0, a través de las variables de MS, NH y AF probablemente se debe a la disminución que se presentó en el CRC y en A (Fig. 2). Los resultados sugieren que la planta de uchuva tiene un requerimiento de Mg^{2+} bajos en los estados tempranos de desarrollo y hace un uso eficiente de este nutriente.

Variables relacionadas con la fotosíntesis. En todos los muestreos A para tratamiento Mg0 fue significativamente menor (Fig. 2). E y Gs tuvieron un comportamiento semejante a A a los 50 y 65 ddt (Fig. 2). La disminución de A está relacionada con la disminución en GS y en el CRC. Las diferencias pueden deberse además al efecto causado por la deficiencia de Mg^{2+} en la fotosíntesis debido a su papel como cofactor enzimático y al daño en el aparato fotosintético causado por las ROS (especies reactivas de oxígeno). El rendimiento cuántico máximo del PSII (F_v/F_m) en todos los tratamientos, excepto Mg0, fue superior a 80% (Fig. 2c), lo que indica que la deficiencia de Mg^{2+} tuvo solo un bajo efecto en los centros de reacción del PSII a los 80 ddt. En CRC se observó una disminución significativa en el tratamiento Mg0 en todos los puntos evaluados, sin embargo el valor no es tan bajo teniendo en cuenta que el Mg^{2+} es componente de esta molécula y podría indicar que en *P. peruviana* en deficiencia de Mg^{2+} , un alto porcentaje del Mg^{2+} hace parte de las clorofilas y en el Mn podría tomar el papel de cofactor. Esta disminución también se puede relacionar con el aumento de ROS como ha sido encontrado en otras plantas (Li *et al.*, 2000). Estos datos sugieren, que dosis entre 5 y 20 $mg.kg^{-1}$ de Mg^{2+} no disminuyen A en estados tempranos de crecimiento. La PE, un indicador de la estabilidad de las membranas y relacionada con el funcionamiento del aparato fotosintético, fue significativamente mayor en el tratamiento 0 $mg.kg^{-1}$ a los 50 ddt indicando que a los 50 ddt la estabilidad de la membrana se vio alterada probablemente por la peroxidación de lípidos. A los 65 y 80 ddt el daño en la membrana disminuyó debido al aumento de la respuesta antioxidante observada.

Variables bioquímicas. La actividad de POD fue significativamente diferente en todos los tratamientos. Los tratamientos que presentaron mayor actividad fueron Mg0, Mg5 y Mg10, mientras que los tratamientos Mg15 y Mg20 presentaron valores menores, siendo los de Mg20 basales. Para CAT la actividad fue mayor en Mg0 respecto a los demás tratamientos. En esta enzima no hubo diferencias entre los tratamientos Mg5, Mg10 y Mg15 pero sí entre estos tratamientos y el Mg20, que presentó el menor valor. Se observa que la inducción de POD fue mayor, entre los tratamientos Mg0, Mg5 y Mg10, lo que indica que aparentemente las plantas con estos tratamientos sensaron una deficiencia de Mg^{2+} y activaron su sistema antioxidante. Los datos encontrados en variables como la tasa de fotosíntesis, que solo se vio disminuida en Mg0, indicarían que en Mg5 y Mg10 los altos niveles de actividad antioxidante evitaron el efecto de las ROS en el aparato fotosintético evitando una disminución en las tasas de fotosíntesis y

en el crecimiento. La inducción de enzimas antioxidantes en respuesta a el estrés por deficiencia de Mg^{2+} encontrada en *P. peruviana* coincide con lo encontrado en plántulas de *Oryza sativa* L, donde hubo un aumento de la actividad de la CAT y otras enzimas bajo deficiencia de Mg^{2+} (Chou *et al.* 2011). En el contenido de prolina los valores son bajos, con respecto a los observados en otros estreses lo que indica que este osmolito compatible no se induce en altos niveles en respuesta a deficiencia de Mg^{2+} en plantas de *P. peruviana* en etapas tempranas de desarrollo. En el contenido de proteínas se observó un aumento significativo en Mg0, el cual puede deberse al aumento de POD y probablemente de otras enzimas antioxidantes en respuesta al estrés causado por la deficiencia. Aunque el Mg^{2+} está involucrado en la síntesis de proteínas, en este caso la deficiencia no afectó su contenido.

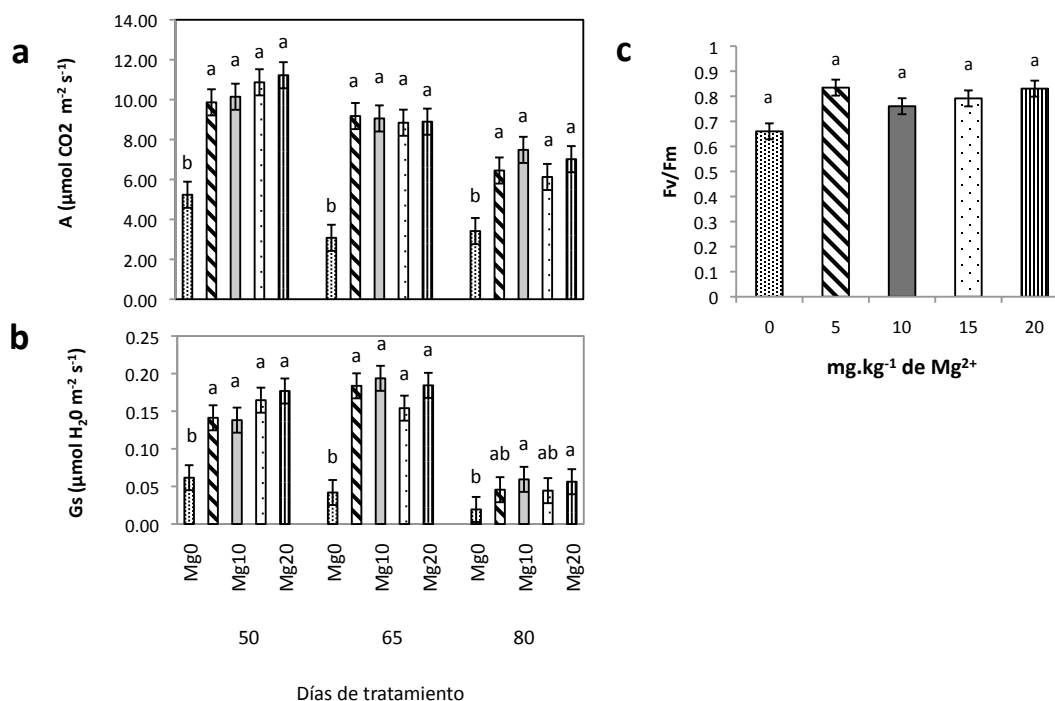


Figura 2. Variables relacionadas con la fotosíntesis. a. Tasa fotosintética (A). b. Tasa de transpiración (E). c. Conductancia estomática (Gs). d. Rendimiento cuántico máximo del PSII (F_v/F_m). e. Pérdida de electrolitos en plántulas de *P. peruviana* crecidas en diferente niveles de Mg^{2+} . Las variables A, E, Gs y PE fueron evaluadas a los 50, 65 y 80 ddt y F_v/F_m a los 80 ddt. Se realizó un ANAVA seguido de una prueba de Duncan de comparación de medias. Los valores que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas a $P < 0.05$.

Contenido foliar de nutrientes. El contenido foliar de Mg^{2+} dependió del suministro de este elemento, así los tratamientos con menor dosis presentaron menor contenido de Mg^{2+} y el tratamiento Mg0 tuvo siete veces menos contenido de Mg^{2+} que el tratamiento Mg20. En los macronutrientes no se observaron diferencias marcadas entre los tratamientos. En los micronutrientes, se observó que el hierro, el manganeso y el boro presentaron el mayor contenido en el tratamiento de deficiencia. El alto contenido de Mn puede estar relacionado con que éste puede remplazar al Mg en su función como cofactor, de tal manera que Mg^{2+} disponible sea utilizado en la síntesis de clorofila, esto explicaría la poca disminución de las clorofilas observada aquí.

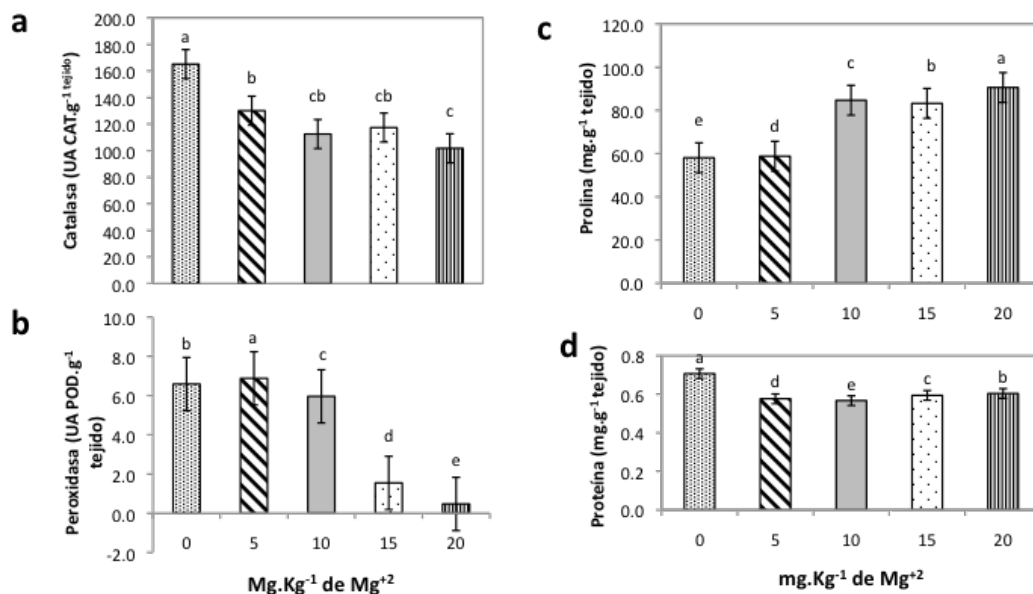


Figura 3. Variable bioquímicas. a. Contenido de catalasa. b. Contenido de peroxidasa. c. Contenido de prolina. d. Contenido de proteína en plántulas de *P. peruviana* crecidas en diferentes niveles de Mg²⁺ a los 80 ddt. Las variables fueron evaluadas a los 80 ddt. Se realizó un ANAVA seguido de una prueba de Duncan de comparación de medias. Los valores que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas a $P < 0.05$.

Apariencia de las plantas. Los síntomas de deficiencia iniciaron a los 42 ddt y solo se presentaron en el tratamiento Mg0. La sintomatología inició en las hojas del tercio medio e inferior de la planta, comenzando en la hoja número cuatro contando desde el ápice hacia la base de la planta. Las hojas del tercio inferior mostraron una sintomatología más marcada y las hojas más viejas presentaron acumulación de antocianinas. La sintomatología de la deficiencia en plántulas de *P. peruviana* fue semejante a la descrita anteriormente por Martínez *et al.*, (2009) en plantas de *P. peruviana*.

Agradecimientos. A William Felipe Melo por su soporte durante la toma de datos.

Bibliografía

- Bates, L., Walderen, R., y Teare, I. Rapid determination of free proline in water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-208, 1973
- Bradford, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of micrograms quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254, 1976.
- Chou, T.S., Y.Y. Chao, W.D. Huang. Chwan.Y. Hong y C.H. Kao. Effect of magnesium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings. *Jornal of Plant Physiology* (168) 1021-1030, 2011.
- Hermans, C., G. Johnson, R. Strasser, N. Verbruggen. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta* 220, 344-355, 2004.
- Kireyko, A., Veselova, I. y Shekhovtsova, T. Mechanisms of peroxidase oxidation of o-dianisidine, 3,3', 5,5'- tetramethylbenzidine and o-phnylenediamine in the presence of sodium dodecyl sulfatate. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 32: 71-77, 2006.
- Li Y., Liu XH, Zhang WM. Advances in magnesium nutritional physiology in plants. *J Fujian Agric Univ* 29(1):74-80 in chin, 2000.
- Martínez, F., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 27 (2), 169-178, 2009.
- Skinner, H. C. The Web of Magnesium. *International Geology Review* 47:11, pp. 1111-1119. 2005,