

ACCION DE LAS POLIAMINAS EN LA PROTECCION DE PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja* cv. "Yema de Huevo") CONTRA LAS HELADAS

Polyamine activity in protecting 'creole' potato (*Solanum phureja* cv. "Yema de Huevo") against frost damage

Hernán Mauricio Romero Angulo¹, Jesús Antonio Norato Rodríguez²

RESUMEN

En 1992, se realizó un ensayo para determinar el efecto de las poliaminas (PA), putrescina (Put), espermidina (Spd) y espermina (Spm) en la reversión del daño causado por una helada (-1°C por 3 hr) en un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk. cv. "Yema de Huevo"). Los tratamientos con las PA revirtieron efectivamente el daño en las plantas de papa criolla, lográndose, en todos los casos, una mayor producción en biomasa de tubérculos, en comparación con el testigo. El mejor tratamiento fue el de Spm 50 µM con el cual se logró mantener la producción normal con 9,85 ton / ha, contra apenas 5,42 ton / ha del testigo. Al parecer, el efecto de esta hormona se presentó por la inducción de la rebrotación de las yemas y en la protección del follaje.

Palabras claves: *Solanum phureja*, heladas, poliaminas

SUMMARY

In 1992, an experiment was carried out to establish the action of the polyamines (PA) putrescine (Put), spermidine (Spd) and spermine (Spm) in the reversion of frost damage

(3 hr at -1°C) in *Solanum phureja* Juz. et Buk. ("papa criolla" cv. Yema de Huevo). PA treatments reverted damage and potato plants reached a higher yield of tuber biomass, compared with controls. The best treatment was Spm 50 µM, with a yield of 9,85 ton / ha, similar to that obtained under non-frost conditions, while control potato plants produced just 5,42 ton / ha. It seems that Spm effect was obtained through bud resprouting and foliage protection.

Key words: *Solanum phureja*, frost, polyamines

INTRODUCCION

La papa es uno de los cultivos más importantes como suministro de alimento básico para el hombre, ya que es más productiva que cualquiera de las gramíneas cultivadas. De hecho, la papa produce por hectárea más del doble de la cantidad de proteína producida por el maíz, el trigo o el arroz; aporta la mayoría de los aminoácidos en abundante cantidad y es una de las fuentes de almidón más baratas, además de que contiene vitaminas y minerales (Merino y Mesa, 1982).

En Colombia se siembran aproximadamente 150.000 ha de papa, con una producción total cercana a los dos millones de toneladas (Fedepapa, 1995). Boyacá, Cundinamarca, Nariño y Antioquia son los principales productores con más del 70% de la cosecha anual.

Una de las principales limitaciones de este cultivo es su gran sensibilidad a las temperaturas bajas ocasionadas por las heladas,

¹ Biólogo, aspirante a M.Sc. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. A. A. 31598. Santafé de Bogotá, D. C. Colombia.

² Profesor. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 46527 Santafé de Bogotá, D.C. Colombia.

las cuales causan grandes estragos, principalmente en la cosecha del segundo semestre, produciendo pérdidas de miles de millones de pesos. En efecto, según estimativos de Fedepapa, las heladas fuertes que azotan las planicies de Nariño y Antioquia, al igual que en el altiplano Cundi-boyacense a finales de 1995, causaron la destrucción de cerca del 70% de la cosecha, lo cual representó, tan sólo para el Departamento de Nariño, una pérdida de aproximadamente 56.000 millones de pesos (Fedepapa, 1995).

El problema de las heladas, para las plantas cultivadas es tan viejo como la agricultura misma. Este fenómeno, definido como la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C a dos metros del suelo, es decir, al nivel reglamentario al cual se instalan las casetas de medición meteorológica, ocurre generalmente entre la segunda quincena de diciembre y la primera quincena de marzo en los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, coincidiendo con el período seco; también, se puede presentar, aún cuando con menor frecuencia, durante la segunda época del año (julio - agosto). Sin embargo, en algunas regiones del Departamento de Nariño, suele ocurrir en cualquier época del año. (Artunduaga, 1980).

Las heladas no sólo afectan los cultivos de papa, sino también a otras especies de importancia como arveja, frijol, cebada, trigo y maíz, entre otras, en las cuales causan, igualmente, pérdidas económicas considerables (Artunduaga, 1977).

Son muchas las investigaciones realizadas a nivel mundial tendientes a disminuir el efecto nocivo de las temperaturas bajas sobre las diferentes especies. En papa, los trabajos se han centrado en la búsqueda de genotipos tolerantes, mediante procesos de mejoramiento genético (Alvarado, 1972; Mendoza y Estrada, 1979; Estrada, 1982; Smillie *et al.*, 1983) y en la utilización de técnicas de aclimatación de las plantas a temperaturas ligeramente superiores a los 0°C, con el ánimo de inducir una tolerancia post-tratamiento que permita resistir las heladas (Steponkus, 1979; Chen y Li, 1980a, 1980b; Chen y Li, 1982; Steponkus, 1990; Alberdi y

Corcuera, 1991). Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento, no reducen las grandes inversiones de tiempo y capital que se han realizado.

Por esta razón, se ha planteado la posibilidad de abordar el problema de las heladas desde un punto de vista fisiológico, tratando de establecer los mecanismos bioquímicos por medio de los cuales algunas variedades de diferentes cultivos, como la papa, son capaces de resistir las temperaturas bajas.

Desde esta perspectiva, las poliaminas (PA), que son el grupo de fitohormonas descubiertas más recientemente, se han relacionado ampliamente con la respuesta de las plantas a diferentes condiciones ambientales extremas, como deficiencias en potasio (Murty *et al.*, 1971), choques osmóticos (Flores y Galston, 1982; Flores *et al.*, 1985), deficiencias de agua (Salamanca *et al.*, 1994), deficiencias nutricionales y salinidad (Flores, 1991) y otros tipos de estrés, entre los cuales se destacan las bajas temperaturas (Norato y Romero, 1995 b).

En cultivos de maíz se ha visto que la tolerancia a heladas podría estar relacionada con la acumulación de poliaminas en los tejidos de las plantas (Norato *et al.*, 1990a, 1990b) y se ha comprobado que las aplicaciones exógenas de Put, Cad (cadaverina), Spd y Spm inducen, no sólo, la tolerancia de las plantas a las temperaturas bajas (Norato *et al.*, 1990b; 1991a), sino que son capaces de revertir el efecto nocivo causado por la helada (Norato *et al.*, 1991b; Norato y Romero, 1995 a).

En esta investigación se pretende determinar si la aplicación foliar de poliaminas revierte el daño causado por heladas en papa criolla cv. "Yema de Huevo" y mantiene la producción del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

En febrero de 1992, en una finca ubicada en la vereda "Salitre alto" del municipio de "La Calera", a una altura de 2950 m.s.n.m., se aplicaron foliarmente soluciones de las poliaminas putrescina (Put), espermidina (Spd) y espermina (Spm) a plantas de papa

criolla (*S. phureja* cv. "yema de huevo") que habían sufrido los rigores de una helada (-1°C/3 hr), seis horas antes.

Este ensayo se efectuó en bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental constaba de seis surcos de 16 plantas, separados 90 cm entre sí, para un total de 18 surcos por bloque y 72 surcos para todo el ensayo, bajo una densidad de siembra de 18.713 plantas / ha.

Los tratamientos aplicados fueron Put 1000 µM, Spd 100 µM y Spm 50 µM. Estas dosis habían sido determinadas previamente como las más efectivas en la reversión del daño por heladas en plantas de maíz (Norato *et al.*, 1990b).

La respuesta de las plantas a las aplicaciones de PA se midió en la producción total en peso fresco de los tubérculos cosechados de los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Para determinar si habían diferencias estadísticas entre la respuesta de las plantas a los tratamientos, se hizo Análisis de Varianza (ANAVA) y sus medias se compararon por la prueba múltiple para promedios de Duncan (Little y Hills, 1976).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los daños ocasionados en las plantas por las bajas temperaturas están estrechamente relacionados con la pérdida de las características semipermeables de la membrana celular, la cual ocasiona flacidez, decoloración y el marchitamiento de las hojas (Steponkus, 1984). Estos daños dan como resultado la muerte de gran número de plantas y la disminución en formación y/o llenado de los tubérculos en las que sobreviven, por lo cual se disminuye sensiblemente la producción total del cultivo.

En el Cuadro 1 se observa cómo en las plantas testigo, a las cuales no se les aplicó tratamiento de PA y fueron afectadas por la helada, la producción total de tubérculos alcanzó apenas las 5,4 ton / ha; esto representa la mitad del límite inferior de producción de papa criolla bajo condiciones normales, el cual se encuentra alrededor de las 9 ton / ha (Ñustes, 1995), mientras que las plantas tra-

tadas con Spm 50 µM produjeron 9,85 ton/ha, es decir, que se mantuvieron dentro de rangos normales de producción. La producción de las plantas tratadas con Spd 100 µM y Put 1000 µM fue de 7,78 y 6,55 ton / ha, respectivamente, y fue superior a la del testigo no tratado, aunque no alcanzó las cantidades mínimas de biomasa de tubérculos bajo condiciones normales. Sin embargo, en este punto, es necesario aclarar que los rangos de producción de papa criolla bajo condiciones normales implican una densidad de siembra de 30.000 plantas / ha, que es casi el doble de la densidad utilizada en este experimento.

Cuadro 1. Efecto de las poliaminas sobre la producción de papa criolla cv. "Yema de Huevo" afectada por heladas

HORMONA (µM)	PRODUCCION (Ton./ha.)
PUT 1000	6,55 BC
SPD 100	7,78 AB
SPM 50	9,85 A
TESTIGO	5,42 C

- Valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticas (P<0,05)

Las características policatiónicas de las poliaminas les permiten unirse a macromoléculas polianiónicas como los fosfolípidos (Slocum *et al.*, 1984) y actuar como estabilizadores de la membrana celular en sistemas sometidos a estrés como en el caso de protoplastos aislados de avena (Altman *et al.*, 1977); también previenen la pérdida de las membranas tilacoidales de los cloroplastos (Popovic *et al.*, 1979). Por lo anterior, el efecto neto de protección contra el daño causado por las bajas temperaturas consistiría en prevenir el deterioro de las membranas, al evitar o disminuir consecuencias tales como la pérdida de turgencia, cambios en el contenido de agua que ocasionan estrés hídrico y osmótico por acumulación de iones, al igual que la salida

irreversible de electrolitos, factores que parecen ser determinantes en la destrucción celular que causan las bajas temperaturas (Steponkus, 1984). Asimismo, la unión de las PA a estas macromoléculas evita la pérdida de fluidez de la membrana causada por los cambios de configuración de los fosfolípidos (Yoshida, 1982; Yoshida, 1984; Roberts et al., 1986), y, de esta manera, podría modular indirectamente la actividad de las enzimas asociadas a la membrana (Slocum et al., 1984).

Las PA podrían también regular el potencial osmótico del citosol, al ejercer, directa o indirectamente, una función como osmolitos (Norato y Romero, 1995b). Igualmente, se sabe que la pérdida de la funcionalidad de la membrana celular trae consigo la salida irreversible de electrolitos, la cual produce cambios en el pH celular y da como resultado, la inactivación de algunas enzimas claves para el metabolismo de la célula; en este caso, las PA podrían actuar como un buffer del pH celular (Slocum et al., 1984; Galston y Kaur-Sawhney, 1987).

En esta investigación, las PA no sólo protejieron las células con lo que se disminuyó el daño al follaje en general (Norato, 1990b), sino que también revirtieron el efecto destructivo de la helada sobre las hojas, que hubiera conducido a la pérdida de la capacidad fotosintética de las plantas y a una baja producción de tubérculos. Teniendo en cuenta la altísima capacidad de rebrotación de la papa criolla (Ñustes, 1995), es plausible proponer que las PA hayan potencializado esta respuesta morfogénica de las plantas, induciendo la rápida activación de nuevas yemas, como se ha observado en *Helianthus tuberosus* L.. (Bagni et al., 1980) y en diferentes variedades de papa (Kaur-Sawhney et al., 1982) con la consiguiente formación de nuevas ramas y hojas, indispensables para la síntesis de fotoasimilados requeridos para la producción y llenado de los tubérculos. Las diferencias en acción fisiológica entre las varias PA, explican que el mejor resultado se haya obtenido con el tratamiento de Spm 50 μ M, ya que esta PA, y también la Spd actúan principalmente en la regulación de procesos

morfogénicos, mientras la Put es más importante en procesos de división y crecimiento celular (Tabor y Tabor, 1984).

Los resultados obtenidos son similares a los reportados en cultivos de maíz afectados por heladas, en los cuales se pudo comprobar la acción de las PA, en la reversión del daño causado por las bajas temperaturas (Norato et al., 1990a; Norato y Romero, 1995a) y en su efecto protector contra esta condición meteorológica extrema (Norato et al., 1990b, 1991a, 1991b).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de poliaminas en plantas de papa criolla revertió el efecto nocivo de las heladas, y las parcelas tratadas con Put, Spd y Spm produjeron mayor biomasa de tubérculos que en las del testigo no tratado.

Al parecer, las poliaminas evitaron o disminuyeron los daños que causan las bajas temperaturas en la semipermeabilidad y fluidez de la membrana, y los cambios en el pH celular por estrés hídrico y osmótico, e indujeron la brotación de yemas que produjeron nuevas hojas y ramas.

Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento de Spm 50 μ M, quizás por su actividad en la regulación del potencial morfogénico de las plantas.

La reversión del daño causado por heladas mediante la aplicación de poliaminas, constituye una alternativa viable para la disminución de las pérdidas en papa criolla, cuya eficacia merece evaluarse en otras especies de papa y en otros cultivos que están expuestos a esta condición meteorológica extrema.

Agradecimientos

Al Profesor Jaime Ramírez por facilitar el trabajo en campo. A Margarita Rojas por su gran ayuda. A Merck Colombia por la financiación parcial.

- ALBERDI, M. ; L. J. CORCUERA. 1991.** Cold acclimation in plants. *Phytochemistry* 30: 3177-3184.
- ALTMAN, A., KAUR-SAWHNEY, R., y GALSTON, A. W. 1977.** Stabilization of oat leaf protoplasts through polyamine-mediated inhibition of senescence. *Plant Physiol.* 60: 570.
- ALVARADO, L. F. 1972.** Selección de papas resistentes a heladas en el estado de plántula. Universidad Nacional de Colombia. Tesis M.Sc. Santafé de Bogotá.
- ARTUNDUAGA, R. 1977.** Evaluación Física y Económica de las Pérdidas Agropecuarias por Efecto de las Heladas de Diciembre de 1976 y Enero de 1977 en los Altiplanos de Cundinamarca y Boyacá. ICA. Tibaitatá.
- ARTUNDUAGA, R. 1980.** Principios Básicos de Ocurrencia de las Heladas y su Control. Asoc. Exalum. Fac. Agron. Mimeografiado. Santafé de Bogotá.
- BAGNI, N., MALUCELLI, B., y TORRIGIANI, P. 1980.** Polyamines, storage substances and abscisic acid-like inhibitors during dormancy and very early activation of *Helianthus tuberosus* tuber tissues. *Physiol. Plant.* 49: 341-345.
- CHEN, H. H. y LI, P. H. 1980a.** Biochemical changes in tuber-bearing *Solanum* species in relation to frost hardiness during cold acclimation. *Plant Physiol.* 66: 414-421.
- CHEN, H. H. y LI, P. H. 1980b.** Characteristics of cold acclimation and deacclimation in tuber bearing *Solanum* species. *Plant Physiol.* 66: 1146-1148
- CHEN, H. H. y LI, P. H. 1982.** Potato cold acclimation. *IN:* P.H. LI y A. SAKAI (edit). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Mechanisms and Crop Implications VOLUME 2.* Academic Press. New York.
- ESTRADA-RAMOS, N. 1982.** Breeding wild primitive potato species to obtain frost-resistant cultivated varieties. *IN:* P. H. Li y A. Sakai (edit). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Mechanisms and Crop Implications VOLUME 2.* Academic Press. New York.
- FEDEPAPA. 1995.** Informe Anual Fedepapa. Santafé de Bogotá.
- FLORES, H. E. 1991.** Changes in polyamine metabolism in response to abiotic stress. *IN:* R. D. Slocum y H E. Flores (edit.). *Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants.* CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida.
- FLORES, H. E. y GALSTON, A .W. 1982.** Polyamines and plant stress. Activation of putrescine biosynthesis by osmotic shock. *Science* 217: 1259-1260.
- FLORES, H. E., YOUNG, D. y GALSTON, A .W. 1985.** Polyamines metabolism and plant stress. *IN:* Key, J. y Kosuge, (Edit). *Cellular and Molecular Biology of Plant Stress.* Alan Liss Inc. New York.
- GALSTON, A. W. y KAUR-SAWHNEY, R. 1987.** Polyamines as endogenous growth regulators. *IN:* P.J. Davies (ed.). *Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development.* Martinus /Nijhoff Publishers. Dordrechts.
- KAUR-SAWHNEY, R., SHIL, L. M. y GALSTON, A.W. 1982.** Relation of polyamine biosynthesis to the initiation of sprouting in potato tubers. *Plant Physiol.* 69: 411-415
- LITTLE, T. M. y HILLS, F. J. 1976.** Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Edit. Trillas. México D.F.
- MENDOZA, H. A.y ESTRADA, R. N. 1979.** Breeding potatoes for tolerance to stress: heat and frost. *IN:* H. Mussel y R. Staples (edit). *Stress Phjysiology in Crop Plants.* John Wiley & Sons. New York.
- MERINO, S. H. y MESA, C. J. 1982.** Influencia de épocas y distancias de siembra de la arveja en el rendimiento del arreglo de papa criolla *Solanum phureja*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis Ing. Agrónomo. Santafé de Bogotá.

- MURTY, K. S., SMITH, T. A. y BOULD, C. 1971.** The relation between putrescine content and potassium status of black currant leaves. *Ann. Bot.* 356: 687.
- NORATO, J., TORREGROZA, M. y VICENTE, C. 1990a.** Efectos de la putrescina en diferentes ciclos de selección masal divergente del Maíz **Harinoso Mosquera** I Sin. 2. afectada por las heladas. *Acta Biológica Colombiana* 2:47-54.
- NORATO, J., VICENTE, C., LEGAZ, E. y TORREGROZA, M. 1990b.** Efectos de algunas poliaminas en la protección contra heladas y el grado de prolificidad en maíz. *Acta Biológica Colombiana* 2:55-62
- NORATO, J., VICENTE, C. y TORREGROZA, M. 1991a.** Efectos de las poliaminas putrescina, cadaverina, espermidina y espermina en el crecimiento y desarrollo del maíz y su protección contra heladas. *Revista COMALFI* 18:1-6.
- NORATO, J., VICENTE, C., TORREGROZA, M. y LEGAZ, E. 1991b.** Putrescina: protector del maíz ante las heladas. *Revista COMALFI* 18:7-11.
- NORATO, R. J. y ROMERO, H. M. 1995b.** En las plantas que sufren los efectos de las heladas las poliaminas conforman algún mecanismo fisiológico que les permita sobrevivir ?. *Revista COMALFI* 22: 19-23.
- POPOVIC, R. B., KYLE, D. J., COHEN, A.S. y ZALIK, S. 1979.** Stabilization of thylakoid membranes by spermine during stress-induced senescence of barley leaf discs. *Plant Physiol.* 64: 721.
- ROBERTS, D. R., DUMBROFF, E. B. y THOMPSON, J. E 1986.** Exogenous polyamines alter membrane fluidity in bean leaves- a basis for misinterpretation of their true physiological role. *Planta* 167: 395-401.
- SALAMANCA, L. A., NORATO, R. J. y VELANDIA, F. 1994.** Determinación y aplicación de la putrescina en las estructuras reproductivas del algodónero. *Revista COMALFI* 21: 1-7.
- SLOCUM, R. D., KAUR-SAWHNEY, R. y GALSTON, A.W. 1984.** The physiology and biochemistry of polyamines in plants. *Arch. Biochem. and Biophysics.* 235: 283-303.
- SMILLIE, R. M., HETHERINGTON, S.E., OCHOA, C. y MALAGAMBA, P. 1983.** Tolerances of wild potato species from different altitudes to cold and heat. *Planta* 159: 112-118.
- STEPONKUS, P. L. 1979.** Effects of freezing and cold acclimation on membrane structure and function. *IN:* H. Mussel y R. Staples (edit). *Stress Physiology in Crop Plants.* John Wiley & Sons. New York.
- STEPONKUS, P. L. 1984.** Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 543-584.
- STEPONKUS, P. L. 1990.** Cold acclimation and freezing injury from a perspective of the plasma membrane. *IN:* Katterman, F. (edit). *Environmental Injury to Plants.* Academic Press Inc. New York.
- TABOR, C. W. y TABOR, H. 1984.** Polyamines. *Annu. Rev. Biochem.* 53: 749-790.
- YOSHIDA, S. 1982.** Fluorescence polarization studies on plasma membrane isolated from mulberry bark tissues. *IN:* P. H. Li y A. Sakai (edit). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Mechanisms and Crop Implications VOLUME 2.* Academic Press. New York.
- YOSHIDA, S. 1984.** Studies on freezing injury of plant cells. I. Relation between thermotropic properties of isolated plasma membrane vesicles and freezing injury. *Plant Physiol.* 69: 634-637.