

Índices agronómicos para determinar tolerancia a sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Alfredo Morales Rodríguez ¹, Alfredo Morales Tejón² & Dania Rodríguez del Sol ³

Fecha de recibido: 29 de junio de 2015

Fecha de aceptado: 13 de septiembre de 2015

RESUMEN

Durante estas últimas temporadas, la sequía ha causado pérdidas del 50 % de la producción de papa en varios países de Centro América. El conocimiento y la utilización de variedades de papa tolerantes a la sequía son elementos clave para incrementar la producción y el rendimiento bajo las condiciones de estrés. Los experimentos fueron desarrollados en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), durante los meses de diciembre de 2014 a marzo de 2015. Se plantaron 10 parcelas por variedad, a la mitad de ellas (5) se les retiró el riego, a partir de los 50 días después de la plantación por espacio de 20 días (período de estrés por sequía) reiniciándose el riego a partir de los 70 días. En el momento de la cosecha se determinó: el Índice de Susceptibilidad a Sequía (SSI), Índice de Tolerancia a Sequía (STI), Índice de Tolerancia (TOL), Media de Productividad (MP) e Índice de estabilidad del Rendimiento (YSI). Las variedades Atlas y Maranca poseen los menores valores de SSI, con 0,67 y 0,61 respectivamente, y los mayores valores de STI, con 0,79 y 0,81 respectivamente. La MP más alta registrada, fue en la variedad Atlas, con 19,92 t/ha. Los valores de YSI más altos pertenecen a las variedades Maranca y Atlas, con 81,07 y 79,29 % respectivamente.

PALABRAS CLAVE/ *Solanum tuberosum*, tolerancia a la sequía, papa

Agronomic index to determine tolerance to drought in varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.)

ABSTRACT

During recent seasons, drought has caused losses of 50 % of potato production in several countries in Central America. Knowledge and use of varieties tolerant to drought is a key to increase potato production and yield under stress conditions. The experiments were done in the Research Institute of Tropical Roots and Tubers Crop (INIVIT) during the months of December 2014 to March

¹Ing. Agrónomo, Aspirante a Investigador, Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales: fisiologia@inivit.cu

² Doctor en Ciencias Agrícolas , Investigador Titular, Director de Genética, Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales :genetica@inivit.cu

³ Ing. Agrónomo, Especialista, Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales: geneticafer@inivit.cu

2015. Ten plots per variety were planted; half of them (five) was withdrawn irrigation to after 50 days after planting for 20 days (period of drought stress) irrigation restarting after 70 days. At the harvest time it was determined: the Stress Susceptibility Index (SSI), Stress Tolerance Index (STI), Tolerance Index (TOL), Mean Productivity (MP) and Yield Stability Index (YSI). Atlas and Maranca varieties have the lowest values of SSI, with 0,67 and 0,61 respectively, and the highest values of STI, with 0,79 and 0,81 respectively. MP recorded the highest was in the Atlas variety, with 19.92 t/ha. Higher values of YSI belong to Atlas and Maranca varieties, with 81,07 and 79,29 % respectively.

KEYWORDS/ *Solanum tuberosum*, drought tolerance, potato

INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los factores más importantes que limitan el crecimiento y producción de los cultivos en todo el mundo, más que cualquier otro factor biótico o abiótico (Almeselmani *et al.*, 2011, Prabha y Kumar, 2014). Es un problema en continuo aumento que incrementa las pérdidas agrícolas mundiales, principalmente en los países en vías de desarrollo. La respuesta de las plantas frente al estrés por sequía es muy complicada y depende de varios factores tales como la etapa de desarrollo, la severidad, la duración de estrés y el genotipo (Beltrano y Ronco, 2008).

Durante estas últimas temporadas, la sequía ha causado pérdidas del 50 % de la producción de papa en varios países de Centro América (Pino *et al.*, 2012). La sequía afecta el crecimiento vegetativo, inhibe la tuberización, tamaño y calidad del tubérculo de papa. Los periodos críticos de necesidades hídricas en el cultivo de la papa son: inmediatamente después de la emergencia y durante la tuberización (Balasimha y Virk, 1978).

Frente a este escenario, varios países (Chile, Uruguay, Perú y Colombia) trabajan en la identificación y caracterización de variedades de papa con características para soportar condiciones de alto déficit hídrico (Pino *et al.*, 2012). Esto contribuirá a asegurar la alimentación con un aporte importante para la población global.

En Cuba en el año 2015 la sequía ha afectado al 63 % de todo el territorio nacional (Centro del Clima del Instituto de Meteorología, 2015). A pesar de que la papa en Cuba es un cultivo tecnificado, con sistemas de riego permanente, la sequía también ha afectado sus producciones en varias provincias. En la campaña de papa 2014-2015 se perdió el 100 % de las producciones en más de 50 ha de papa que sufrieron estrés hídrico, debido a roturas en los sistemas de riego de pivote central.

Muchos métodos han sido usados para identificar tolerancia a la sequía, pero la pérdida de rendimiento bajo condiciones de déficit hídrico es la principal preocupación de los productores, y la variación relativa en el potencial de rendimiento en condiciones normales de humedad y condiciones de déficit

hídrico puede ser usada para identificar cultivares tolerantes a sequía (Agili *et al.*, 2012). Entre los índices más usados que tienen en cuenta el rendimiento se encuentran: el Índice de Susceptibilidad a la Sequía (SSI) (Fischer y Maurer, 1978), el Índice de Tolerancia a la Sequía (STI) (Fernandez, 1992), el Índice de Tolerancia (TOL), el Índice de Media de Productividad (MP) (Rosielle y Hamblin, 1981) y el Índice de estabilidad del Rendimiento (YSI) (Bousslama y Schapaugh, 1984).

Hasta el presente, en Cuba no se han identificado variedades de papa tolerantes a la sequía por dicho métodos. Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar variedades de papa que posean características agronómicas de tolerancia a la sequía, con el objetivo de que puedan ser utilizarlas en los programas de mejoramiento genético para la obtención de variedades tolerantes al déficit hídrico o directamente en la producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron desarrollados en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), localizado en las coordenadas 22,5868 de latitud norte y 80,2269 de longitud oeste, durante los meses de diciembre de 2014 a marzo de 2015, en un suelo Pardo Mullido Medianamente Lavado (Hernández *et al.*, 1999). Se empleó un diseño de bloque al azar, donde se evaluaron cuatro variedades de papa (Atlas, Armada, Maranca y Everest). La unidad experimental estuvo formada por cuatro surcos de 5 metros de largo empleándose una distancia de plantación de 0,90 x 0, 25 m por lo que cada parcela tuvo 80 plantas (20 por surco), de ellas 36 evaluables.

Se plantaron 10 parcelas por variedad, a la mitad de ellas (cinco) se les retiró el riego, a partir de los 50 días después de la plantación por espacio de 20 días (período de estrés por sequía) reiniciándose el riego a partir de los 70 días. Al resto de las parcelas se les mantuvo la humedad del suelo entre 70-80 % de la capacidad de campo, con un intervalo de riego de 3 días y una norma parcial neta de 250 m³/ha.

En el momento de la cosecha se determinaron los siguientes índices para determinar tolerancia a sequía:

Índice de Susceptibilidad a Sequía (SSI) (Fischer y Maurer, 1978)

$$SSI = [1 - (D/C)] / [1 - (Dm/Cm)]$$

Índice de Tolerancia a Sequía (STI) (Fernandez, 1992)

$$STI = (Yp * Ys) / Yp^2$$

Índice de Tolerancia (TOL) (Rosielle y Hamblin, 1981)

$$TOL = Yp - Ys$$

Media de Productividad (MP) (Rosielle y Hamblin, 1981)

$$MP = (Ys + Yp) / 2$$

Índice de estabilidad del Rendimiento (YSI) (Bousslama y Schapaugh, 1984)

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} * 100$$

Donde:

D: rendimiento del genotipo en condiciones de sequía

C: rendimiento del genotipo en condiciones normales de humedad

Dm: media del rendimiento de todos los genotipos bajo condiciones de sequía

Cm: media del rendimiento de todos los genotipos en condiciones normales de humedad

Ys: media del rendimiento en condiciones de sequía

Yp: media del rendimiento en condiciones normales de humedad

Los datos meteorológicos durante el experimento fueron tomados de la estación meteorológica georeferenciada según el sistema de coordenadas planas rectangulares, ubicada entre los 579532N-306594E en el sistema Cuba Norte.

Tabla 1. Variables meteorológicas durante el experimento.

Meses	Precipitaciones (mm)	Temperaturas (°C)	Humedad relativa (%)
diciembre (2014)	1,8	20,5	81,0
enero (2015)	29,6	21,1	80,0
febrero (2015)	14,3	20,4	74,0
marzo (2015)	18,0	23,9	69,0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es evidente que el clima de nuestro planeta está cambiando, y precisamente este Cambio Climático es considerado el desafío más grande de la humanidad en el siglo XXI. En Cuba el clima pudiera ser mucho más severo que al que estamos sometidos en la actualidad, por tanto, la adaptación está obligando a la toma de decisiones basada en el mejor conocimiento científico disponible y el uso de las tecnologías idóneas, para ello el aumento de la capacidad de adaptación es crucial. De cara a esta realidad, la agricultura cubana necesariamente también tiene que cambiar, y una de las vías que debe seguir Cuba para garantizar la seguridad alimentaria, radica en el conocimiento y la utilización de variedades de papa tolerantes a la sequía, ya que son elementos clave para incrementar la producción y el rendimiento bajo las condiciones de estrés.

Las variedades Atlas y Maranca poseen los menores valores de SSI, con 0,67 y 0,61 respectivamente, y los mayores valores de STI, con 0,79 y 0,81 respectivamente, por el contrario destaca la variedad Armada con el de mayor valor de SSI, con 1,55 y la de menor valor de STI, con 0,52. (Tabla 2).

Tabla 2. Índice de Susceptibilidad a Sequía (SSI) e Índice de Tolerancia a Sequía (STI) en cuatro variedades de papa.

Variedades	SSI	STI
Atlas	0,67	0,79
Armada	1,55	0,52
Everest	1,03	0,68
Maranca	0,61	0,81

De acuerdo a la escala sugerida por Fernandez (1992), para el Índice de Susceptibilidad a Sequía (SSI): las variedades con valores más bajos son las más tolerantes a la sequía, con valores cerca de 1 son neutrales y las que posean valores por encima de 1 son susceptibles, por tanto, las variedades Maranca y Atlas son definidas como tolerantes, la variedad Everest como neutral y la variedad Armada como susceptible a la sequía. Hassanpanah (2010) reportó variedades de papa tolerantes a la sequía con valores de SSI de 0,37 hasta 0,72 y variedades susceptibles con valores de hasta 2,23.

Según Rosielle y Hamblin (1981) las variedades con valores en el Índice de Tolerancia a Sequía (STI) más cercanos a uno, son las más tolerantes, por tanto, coinciden las variedades Maranca y Atlas como tolerantes a la sequía, por el contrario Everest y Armada son susceptibles.

Las variedades con menor Índice de Tolerancia (TOL) son Maranca y Atlas, con 3,89 y 4,60 t/ha respectivamente, mientras las variedades Everest y Armada poseen valores de 7,29 y 11,06 t/ha respectivamente. La Media de Productividad (MP) más alta fue registrada en la variedad Atlas, con 19,92 t/ha. (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de Tolerancia (TOL) y Media de productividad (MP) en cuatro variedades de papa.

Variedades	TOL (t/ha)	MP (t/ha)
Atlas	4,60	19,92
Armada	11,06	17,80
Everest	7,29	18,87
Maranca	3,89	18,57

El Índice de Tolerancia (TOL) expresa la cantidad relativa en rendimiento que dejan de producir las variedades en condiciones de estrés comparadas con las condiciones normales de humedad. Las variedades Maranca y Atlas dejan de producir 3,89 y 4,6 t/ha respectivamente, por lo que son las dos variedades que mayor índice de tolerancia mostraron, ya que poseen los menores valores, mientras las variedades Everest y Armada dejan de producir 7,29 y 11,06 t/ha respectivamente, por lo que son denominadas susceptibles. Hassanpanah (2010) registró variedades de papa susceptibles a la sequía ya que cuando se encuentran en condiciones severas de déficit hídrico, disminuyen sus rendimientos en más de 7 t/ha comparadas con los tratamientos en condiciones normales de humedad, mientras que las variedades tolerantes decrecen sus rendimientos entre 2 y 5 t/ha, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

La Media de Productividad (MP) expresa la media del rendimiento producido entre el tratamiento con riego y sin riego, relativo a una misma variedad. Shi *et al.* (2015) reportaron variedades de papa tolerantes al déficit hídrico, con MP de 20 t/ha.

Los valores de estabilidad en el rendimiento (YSI) más altos pertenecen a las variedades Maranca y Atlas, con 81,07 y 79,29 % respectivamente. La variedad Everest posee una YSI de 67,98 % y la variedad con el valor más bajo es la Armada, con solo 53,59 %. (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de estabilidad del Rendimiento (YSI) en cuatro variedades de papa.

Variedades	YSI (%)
Atlas	79,29
Armada	52,59
Everest	67,98
Maranca	81,07

Los altos valores alcanzados por las variedades Maranca y Atlas expresan, que en condiciones de déficit hídrico pueden asegurar el rendimiento en esos porcentajes, o sea, tienen una menor variabilidad en el rendimiento en condiciones de estrés, lo que las hace más tolerantes a la sequía. Las variedades Armada y Everest poseen valores más bajos, lo que las hace más susceptibles a la sequía. Según Shi *et al.* (2015) las variedades de papa tolerantes a la sequía poseen valores de estabilidad en su rendimiento de 80 hasta 85 %, mientras que las susceptibles tienen valores que varían alrededor de 60 %.

Según Spitters y Schapendonk (1990) las variedades de papa tolerantes a la sequía mantienen sus estomas abiertos en condiciones severas de déficit hídrico, por lo que, mantiene la fotosíntesis y el daño en los tejidos de las hojas es menor, esto provoca que los rendimientos sean altos. Según Morales *et al.* (2015) la alta tolerancia a la sequía que poseen algunas variedades de papa, se debe principalmente a características anatómicas y fisiológicas favorables para adaptarse a las condiciones de estrés, como una menor densidad estomática, estomas más pequeños, una mínima disminución en el contenido hídrico relativo y una mayor estabilidad de la membrana celular.

CONCLUSIONES

1. No todas las variedades de papa responden de igual manera al déficit hídrico, existen variedades susceptibles y tolerantes a este factor.
2. Las variedades Maranca y Atlas son tolerantes a la sequía, Everest neutral y Armada susceptible.
3. La menor afectación en el rendimiento provocado por la sequía lo reportaron las variedades Maranca y Atlas, con 3,89 y 4,6 t/ha respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar en las siembras actuales y futuras en Cuba variedades de papa adaptadas a las nuevas condiciones de un clima cambiante.
2. Investigar mecanismos de recuperación a la sequía en variedades de papa.

BIBLIOGRAFÍA

Agili, S., Nyende, B. y Ngamau, K. (2012). Selection, Yield Evaluation, Drought Tolerance Indices of Orange-Flesh Sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) Hybrid Clone. *Journal of Nutrition and Food Sciences* 2(3): 1-8.

Almeselmani, M. y otros. (2011). Effect of drought on different physiological characters and yield component in different Syrian durum wheat varieties. *Journal of Agriculture Sciences*, 3(1): 127-133.

Balasimha, D. y Virk, M. (1978). Effects of water stress on tuber yield and metabolism in potato. *Journal of Indian Potato Association*, 2(1): 104-107.

Beltrano, J. y Ronco, G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 20(1): 29-37.

Bousslama, M. y Schapaugh, W. (1984). Stress tolerance in soybean, Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(1): 933-937.

Centro del Clima del Instituto de Meteorología. (2015). Estado de la sequía, Diponible en:

<http://www.met.inf.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=sqCLIMA&TB2=/CLIMA/sequia/sqJulio2015.htm> (Consultado: 31 de agosto de 2015).

Fernandez, G. (1992). Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Proceedings of the international Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water stress". Taiwan. Disponible en: [www.idosi.org/mejsr/mejsr9\(1\)11/11.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr9(1)11/11.pdf) (Consultado: 26 mar. 2015).

Fischer, R. y Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars, Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research*, 29(1): 897-912.

Hassanpanah, D. (2010). Evaluation of Potato Cultivars for Resistance Against Water Deficit Stress Under In Vivo Conditions. *Potato Research*, 53(1): 383-392.

Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D., Rivero, L. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos: AGRINFOR. La Habana, 64 pp.

Morales, R.A., Morales, T.A. y Rodríguez, S.D. (2015). Identificación de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) tolerantes a sequía y altas temperaturas, mediante métodos anatómicos y fisiológicos. *Revista Agrotecnia de Cuba*, 39(1): 8-20.

Prabha, D. y Kumar, N. (2014). Seed Treatment with Salicylic Acid Enhance Drought Tolerance in Capsicum. *World Journal of Agricultural Research*, 2(2): 42-46.

Pino, M., Inostroza, F., Kalazich, B., Gutiérrez, R. y Castro, M. (2012). El desafío de lograr variedades de papa y trigo tolerantes al cambio climático. Curso teórico-práctico: "Evaluación de la Tolerancia a Factores Abióticos". Cusco, Perú. Disponible en: http://platina.inia.cl/ftg_cluype (Consultado: 2 abr. 2015)

Rosielle, A. y Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21(1): 943-946.

Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Lic, F., Zhang, Z. y Jia, L. (2015). Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production*, 9(2): 305-320.

Spitters, C., Schapendonk, A. (1990). Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant and Soil* 123, 193-203.