

USO CONSUNTIVO Y COMPORTAMIENTO HIDRICO DE LA PAPA AMARGA (*Solanum juzepczukii*) Y DE LA PAPA DULCE (*Solanum tuberosum ssp andigena*) EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

J. Johnville. VACHER¹, Magalí GARCIA²

1: Ph.D Investigador ORSTOM-SENAMHI. Bolivia.

2: Ing. Agrónomo Investigadora ORSTOM-SENAMHI. Bolivia.

I. INTRODUCCION

El Altiplano boliviano está situado a casi 4000 m.s.n.m. y tiene una superficie de más de 3 millones de hectáreas. A pesar de presentar riesgos muy intensos de helada y de sequía (Vacher e Imaña, 1989), es una de las principales regiones agrícolas de Bolivia. Uno de los cultivos más importantes es la papa, tanto dulce como amarga, siendo la base de la alimentación de los campesinos. En años de sequía marcada y/o de heladas tempranas (caso muy frecuente en el Altiplano Central), la papa amarga, menos sensible a estas condiciones climáticas adversas, muestra rendimientos superiores a los de la papa dulce y tiene un papel determinante en la seguridad alimentaria de los campesinos. A pesar de su importancia en la agricultura andina, la papa amarga fue muy poco estudiada, en particular en cuanto a resistencia frente a un déficit hídrico marcado.

Varios autores (Turner y Begg, 1978; Levy, 1983; Bennet et al., 1987) han mostrado que diferencias en el comportamiento de los cultivos frente a la sequía podían estar relacionadas a diferencias entre los parámetros hídricos de la planta y el funcionamiento estomático. Ritchie y Hinckey (1975), Katerji y Allaire (1989) subrayaron la pertinencia de la medición del potencial hídrico foliar como indicador del estado hídrico de la planta. El potencial hídrico foliar medido al alba (Potencial hídrico foliar de equilibrio) está relacionado con el potencial de agua en el suelo explorado por las raíces y el potencial hídrico foliar medido al medio día (Potencial hídrico foliar mínimo) indica la fuerza de extracción del agua del suelo por la planta con el máximo de evapotranspiración potencial (ETP).

Uno de los aspectos más importantes de la reacción de la planta frente al déficit hídrico es el cierre de los estomas. El comportamiento estomático del cultivo, su respuesta al déficit hídrico y su relación con el potencial hídrico foliar informa sobre la estrategia adoptada por la planta frente a la sequía y su grado de resistencia (Bodlaender, 1986; Turner y Henson, 1989; Laffray y Louguet, 1989).

El presente trabajo tiene por objetivo analizar las diferentes respuestas de la papa amarga y de la papa dulce frente a las condiciones de sequía del Altiplano Central. El estudio se basa en un análisis comparativo de la evapotranspiración real, de la dinámica y de las interrelaciones del potencial hídrico foliar y de la resistencia estomática. Para abarcar más situaciones hídricas y entender mejor los mecanismos de los cultivos frente a la disponibilidad de agua, el estudio se realizó en condiciones de secano y de riego.

II. MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la estación experimental del IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria) en Patacamaya durante la gestión agrícola 1989-1990. Esta estación, representativa del Altiplano Central, presenta un promedio anual de precipitación de 420 mm, con un déficit hídrico promedio para la papa de 50% (Vacher e Imaña, op. cit.). La temporada agrícola estudiada presentó severas condiciones de sequía, las precipitaciones de diciembre a marzo fueron de 182.3 mm, o sea 60% de la media.

El suelo se compone de un horizonte A franco arenoso de 30 cm, de un horizonte B franco arcilloso muy pedregoso y de un horizonte Bt muy arcilloso (70% de arcilla) que se constituye en época húmeda en una capa impermeable al agua (García, 1991).

Se instalaron 4 parcelas de 150 m² cada una, correspondientes a los experimentos siguientes:

- papa dulce var. Sanl Imilla en secano (PDS)
- papa amarga var. Luki en secano (PAS)
- papa dulce var. Sanl Imilla con riego (PDR)
- papa amarga var. Luki con riego (PDR)

La siembra se realizó el 15 de diciembre con una densidad de 3,2 tubérculos por m lineal y una distancia entre surcos de 80 cm. Se puso un aporte de abono orgánico (6T/ha) y de abono químico (80-80-0). Las parcelas de riego recibieron un aporte de agua cada 10 días según las precipitaciones y la ETP.

La evapotranspiración real (ETR) se determinó en base a la fórmula del balance hídrico.

$$ETR = P + R - \Delta S \pm D \quad \text{donde:}$$

P = Precipitación medida con un pluviómetro ubicado cerca del experimento.

R = Riego medido en cada parcela.

ΔS = Variación del stock de agua en el suelo medido con una sonda a neutrones.

D = Drenaje o ascensión capilar medido con tensiómetros y datos de conductividad hidráulica.

Los potenciales hídricos foliares se midieron al alba y al mediodía con una cámara a presión tipo Scholander. Las mediciones de resistencia estomática se hicieron con un porómetro a difusión (Delta - T - Devices). Al final del experimento se midió el rendimiento en tubérculos y la profundidad radicular.

III. RESULTADOS

Balance Hídrico

En condiciones de secano, se nota una diferencia marcada entre la ETR de la papa amarga (PA) y de la papa dulce (PD) (Cuadro 1). Los valores más altos obtenidos por la PA corresponden a un uso mayor del agua almacenada en el suelo (ΔS de 70 mm para la PA y de 48 mm para la PD), en particular al final del ciclo del cultivo por una extracción hídrica más profunda y más intensa (Fig. 1 y 2). La mejor alimentación hídrica de la PA se traduce nítidamente sobre el rendimiento (8,5 t/ha para la PA y 5,5 t/ha para la PD). La sensibilidad de la PD a la sequía fue subrayada por varios autores (Beukena y Van Der Zaag, 1978; Jefferies y Mac Kerron, 1987; Parker et al., 1989).

En condiciones de riego, las ETR, muy superiores a las condiciones de secano, son similares para las variedades de PA y PD. Sin embargo, los rendimientos en tubérculos son muy diferentes, 24 t/ha para la PD y 15 t/ha para la PA. En buenas condiciones hídricas, la eficiencia del uso del agua es mayor para la PD que para la PA.

Cuadro 1. Balance hídrico y rendimientos para la papa dulce y la papa amarga en condiciones de riego y de secano (25 de enero al 11 de abril)

Tratamiento	P + R mm	ETRt mm	ETR mm/día	ΔS mm	Rdt t/ha
PDR	182.6	216.4	3.01	-33.8	24
PAR	183.6	219.2	3.04	-36.6	15
PDS	92.6	140.4	1.85	-47.8	5.5
PAS	92.6	162.3	2.15	-69.7	8.5

Fig. 1: Variación acumulada de ΔS

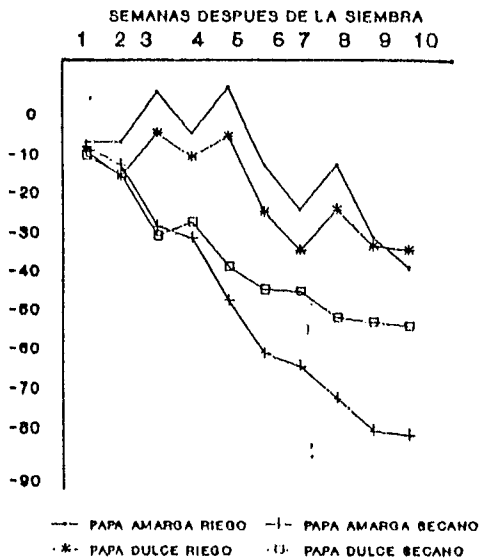
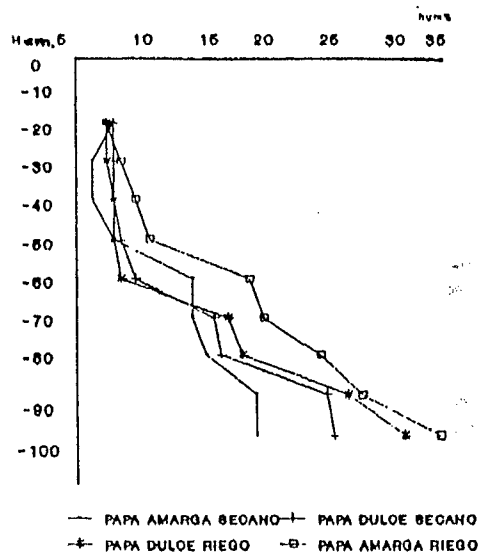


Fig. 2: Límites inferiores de los perfiles hídricos



Potencial Hídrico Foliar

Se ha mencionado previamente la importancia del potencial hídrico foliar como indicador del estado hídrico de la planta. Recordemos que el potencial hídrico foliar de equilibrio (PF eq.) medido al alba, corresponde al potencial hídrico medio del suelo explorado por las raíces y que el potencial hídrico foliar medido al mediodía o potencial hídrico foliar mínimo (PF min) corresponde a la fuerza de extracción del agua del suelo por la planta con el máximo de ETP.

Los potenciales hídricos foliares de equilibrio (PF eq.) muestran, en condiciones de secano, una disminución regular hasta alcanzar -10 bares, valores que traducen el fuerte déficit hídrico en el suelo (Fig. 3). Se puede notar, al final del ciclo del cultivo, una diferencia entre los dos cultivos, que correspondería a una mejor exploración del suelo sistema radicular de la PA, lo que confirma los resultados obtenidos en un trabajo anterior (Vacher et al., 1991). En condiciones de riego, el PF eq. presenta muy pocas variaciones durante el ciclo, debido a un estado hídrico del suelo estable. El comportamiento es similar en los dos cultivos.

El potencial hídrico foliar mínimo (PF mín.) muestra, en condiciones de secano para los dos cultivos, una disminución importante (Fig. 4). El PF mín. de la PA disminuye regularmente durante todo el ciclo para alcanzar valores menores a -16 bares. El PF mín. de la PD sigue una misma evolución durante la primera mitad del experimento, después, con la agudización de la sequía, el PF mín. alcanza un valor límite alrededor de -12 bares. Este valor tope que correspondería a la fuerza máxima de extracción del agua del suelo por la PD, está de acuerdo con los resultados obtenidos por otro estudio sobre *Solanum tuberosum* (Coleman, 1986; Klar, 1986; Vos y Groenwold, 1986; Ibrahim y Miller, 1989).

En condiciones de riego, el PF mín. de la PD varía de -6 bares a -8 bares. Para la PA, el PF mín. es menor y alcanza valores de -10 bares. Se nota en estos dos cultivos una ligera tendencia al aumento del PF mín. con la edad del cultivo, característica encontrada en otros cultivos, como la quinua (García, op. cit.).

Si analizamos conjuntamente las evoluciones del PF mín. y del PF eq. para los dos cultivos con el aumento del déficit hídrico (Fig. 5), se puede diferenciar, según la clasificación de Ritchie y Hinckley (1975), dos tipos de estrategias. En la PD, con la intensificación de la sequía, el PF mín. y el PF eq. tienden a igualarse. La planta controla el consumo de agua, este tipo de estrategia es de tipo regulador. La PA, con el aumento del déficit hídrico del suelo que se refleja en los valores del PF eq., aumenta el PF mín., los dos PF tienen tendencias paralelas. Esta estrategia es de tipo conformista y se basa en un aumento por parte de la planta, de extracción del agua del suelo.

Fig. 3: Evolución del potencial hídrico foliar de equilibrio (Pf eq.)

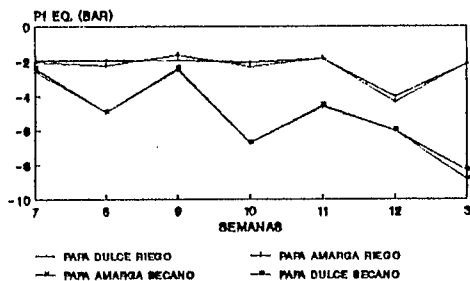


Fig. 4: Evolución del potencial hídrico foliar mínimo (Pf Mln.)

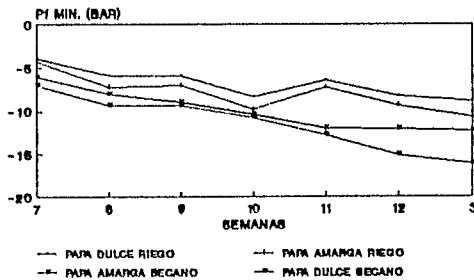


Fig. 5: Relación entre Pf min. y Pf eq. Tratamientos a secano

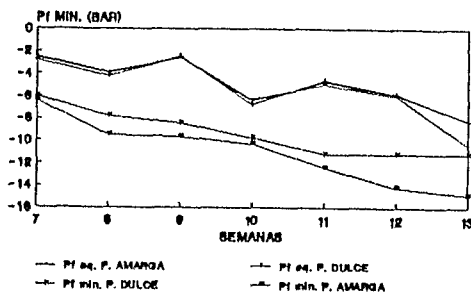
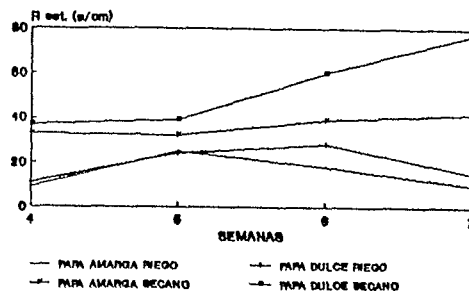


Fig. 6: Evolución de la resistencia estomática



Resistencia Estomática

La regulación del estado hídrico de la planta depende, en gran parte, de su control estomático. En condiciones de sequía, la planta reduce los intercambios hídricos entre el cultivo y la atmósfera con el cierre de sus estomas. Durante la medición, se observó una heterogeneidad elevada de la resistencia estomática en las hojas de una misma planta, esta particularidad fué ya mencionada en otras investigaciones sobre papa (Katerji, 1989).

La Figura 6 representa las evoluciones de la resistencia estomática de la PA y de la PD en condiciones de riego y de secano en el último mes del cultivo, con una fuerte sequía. Se puede notar en secano, una diferencia marcada de comportamiento estomático entre la PA y la PD. La PD, tiene una respuesta estomática a la sequía más intensa que la PA. A partir de un PF min. del orden de -12 bares, la resistencia estomática de la PD se eleva hasta llegar a un cierre total de los estomas. La PA, muestra también una respuesta estomática a las condiciones de sequía, pero mucho más reducido. En las dos últimas semanas del experimento, la PA tenía al mediodía dos veces más estomas abiertos que la PD, cuando su PF min. alcanza valores superiores a -15 bares. En condiciones de riego, ambos cultivos tuvieron similar comportamiento. Se observó en todos los experimentos un aumento de la resistencia estomática durante el día, con un máximo alrededor del mediodía. No se pudo notar una relación nítida entre la resistencia estomática y el déficit de vapor de agua del aire, pero sí al potencial hídrico foliar.

IV. DISCUSION Y CONCLUSION

Los resultados obtenidos demostraron comportamientos diferentes de la papa amarga var. Luki y de la papa dulce var. Sani Imilla en condiciones de secano y de riego. En un contexto de sequía muy marcada, la papa amarga muestra un mejor comportamiento que la papa dulce. Las ETR y el rendimiento son superiores para la PA. Esta mejor adaptación a la sequía proviene

por un lado, de una capacidad mayor de uso del agua del suelo, debido a un sistema radicular más desarrollado y de una fuerza de extracción del agua del suelo más importante, y por otro lado, de una respuesta estomática más moderada. Bishop (1978), Miller y Martin (1986) subrayaron ya la importancia del desarrollo de las raíces de la papa en la sensibilidad a la sequía. La sensibilidad de los estomas al déficit hídrico es mayor en la PD, y el cierre es casi total a partir de un PF mín. de -12 bares. La PA muestra todavía una importante apertura estomática con un PF mín menor a -15 bares.

Las características de una tolerancia a la sequía en el Altiplano por una mayor extracción del agua en el suelo y una menor sensibilidad estomática, fueron ya encontradas en otro cultivo andino como la Quinoa (*Chenopodium quinoa*) (García y Vacher, 1991). Si para una sequía breve, un cierre estomático rápido puede ser una solución eficaz, es muy probable que una fuerte tolerancia con poca sensibilidad estomática a la sequía, sea más favorable a la planta cuando las sequías son prolongadas como en el Altiplano Central de Bolivia. Si queda un poco de agua en el suelo, parece más ventajoso, con una fuerte extracción por parte de las raíces, conservar los estomas parcialmente abiertos. Este tipo de estrategia como la de la papa amarga, más tolerante a la sequía que la PD, parece más adaptada a las condiciones climáticas del Altiplano Central y corresponde a estrategias de cultivos y plantas de zonas semiáridas (Jackson, 1989; Laffray y Louquet, 1989). En condiciones de riego con una misma ETR, la papa amarga tiene rendimientos muy inferiores a los de la papa dulce.

La mejor tolerancia a la sequía de la papa amarga, se traduce como buenas condiciones hídricas a una menor eficiencia del uso del agua del suelo. Resultados similares fueron encontrados por Bodlaender, (1986) con variedades de *Solanum tuberosum*. No se observó en condiciones de riego, diferencias marcadas en las relaciones hídricas y la resistencia estomática de la papa amarga y de la papa dulce.

Este cultivo de primera importancia para el campesino, presenta fuerte tolerancia a la sequía y asegura así la cosecha. La variedad de papa amarga estudiada: *Solanum Juzepzukii* var. Luki, muestra una buena adaptación a las condiciones hídricas del Altiplano Central, además de tener una muy buena resistencia a las heladas. Las investigaciones en relación a este cultivo andino, se continuaron con estudios sobre fotosíntesis y velocidad de recuperación después de un stress hídrico.

V. BIBLIOGRAFIA

- BENNET J.M., SINCLAIR T.R., MUCHOW R.C. y COSTELLO S.R. 1987. Dependence of stomatal conductance on leaf. *Crop Science*. 27, 5: 984-987p.
- BEWKEMA y VAN DER ZAAG. 1979. Potato improvement. Some factors and facts. International Agricultural Centre, Wageningen, The Netherlands. 120 p.
- BISHOP J.C. y GRIMES D.W. 1978. Precision tillage effects on potato root and tuber production. *Am Potato J.* 55: 65-71.
- BODLAENDER K.B.A. 1986. Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes 1. Drought resistance and water use. In Potato research of tomorrow. Wageninge, The Netherlands. 36-43.
- BODLANDER K.B.A., VAN DER WAART M. y MARINUS J. 1986. Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes 2. Drought, photosynthesis and transpiration. In Potato research of tomorrow. Wageningen, The Netherlands. 44-54.

- COLEMAN W.K. 1986. Water relations of the potato (*Solanum tuberosum*) cultivars Raritan and Shepody. *Am. Potato J.* 63: 273-276.
- GARCIA M. y VACHER J.J. 1991. Comportamiento hídrico de dos variedades de quinua frente a la sequía. In Actas del 7° Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. En Imprenta.
- GARCIA M. 1991. Análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinua frente a la sequía. Tesis de grado. UMSA. La Paz. 126 p.
- IBRAHIM B.A. y MILLER D.E. 1989. Effect of subsolling on yield and quality of corn and potato at two irrigation frequencies. *soil Sc. Soc. Am J.* 53: 247-251.
- JEFFERIES R.A. 1989. Water stress and leaf growth in field grown crops of potato (*Solanum tuberosum*). *J. of Exp. Botany.* 221: 1375-1381.
- JEFFERIES R.A. y MACKERRON D.K.L. 1987. Aspects of the physiological basis of cultivars differences in yield of potato under droughted and irrigated conditions. *Potato Research.* 30: 201-217.
- KATERJI N. 1989. Exploration et analyse de l'hétérogénéité spatiale au champ de deux indicateurs de l'état hydrique de la plante: La résistance stomatique et le potentiel hydrique foliaire. In L'expérimentation agricole et l'alimentation en eau des plantes. ITCF. 77-90.
- KATERJI N. y HALLAIRE M 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie.* 4: 999-1008.
- LAFFRAY D. y LOUGUET Ph. 1989. L'appareil stomatique et la résistance la sécheresse. *Rev. Res. Amélior. Prod. Agr. Milieu aride.* 1: 31- 46.
- MILLER D.E. y MARTIN M.W. 1987. The effect of irrigation regime and subsolling on yield and quality of three potato cultivars. *Am. Potato. J.* 64: 17-25.
- PARKER C.J., CARR M.K.V., JARVIS N.J., EVANS M.T.B. y LEE V.H. 1989. Effects of subsoil loosening and irrigation uptake of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Soil Tillage Res.* 13: 267-285.
- RITCHIE G.A. y HINCKLEY T.M. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. 9: 165-254.
- TURNER N.C. y BEGG J.E. 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In Plant Relations in pastures. 50-66. CSIRO. Melbourne. 50-66.
- TURNER N.C. y HENSON I.E. 1989. Comparative water relations and gas exchange of wheat and lupins in the field. In Structural and functional responses to environmental stresses. 293-304.
- VACHER J. e IMAÑA E. 1989; Los riesgos de sequía y de heladas en el Altiplano Boliviano. Informe ORSTOM-SENAMHI. 30 p.
- VACHER J., FELLMAN Th. y MENDEZ A. 1991. Estudio comparativo de la ETR de la papa amarga y de la papa dulce según dos profundidades de labranza. In: Actas del VII Congreso Internacional Sobre Cultivos Andinos. En Imprenta.

- VAN LOON C.D. 1986. Drought, a major constraint in potato production and possibilities for screening for drought resistance. In Potato research of tomorrow. Wageningen. The Netherlands. 5-16.
- VOS J. 1986. Research on water relations and stomatal conductance in potatoes. In Potato research of tomorrow. Wageningen, The Netherlands. 29-35.
- VOS J. y GROENWOLD J. 1988. Characteristics of photosynthesis and conductance of potato canopies and the effects of cultivars and transient drought. *Field Crop Research*. 20: 237-250.