

# Secado Parcial de Raíces: Una Promisoria Técnica de Riego en Papa (*Solanum Tuberosum* L.)

GULIVER ROJAS<sup>1,2\*</sup>, ADOLFO POSADAS<sup>2</sup>, ROBERTO QUIROZ<sup>2</sup>, MIGUEL HOLLE<sup>1</sup>, MIGUEL MÁLAGA<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

<sup>(2)</sup> DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES DEL CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA

(\*) Email: garnguliver@gmail.com

## RESUMEN

El Secado Parcial de Raíces (SPR) es una técnica de déficit de riego que consiste en someter una parte del sistema radicular a déficit hídrico mientras la otra se mantiene irrigada. La finalidad es inducir la producción de ácido absísico (ABA) en las raíces parcialmente secas que sirva como señal para que las hojas reduzcan la apertura estomatal y de esta manera disminuya la pérdida de agua. Al mismo tiempo, las raíces bien irrigadas mantienen el follaje con buen estado hídrico. Con el objetivo de evaluar en condiciones de campo la aplicabilidad y el efecto del SPR en el cultivo de papa, se hizo un experimento en una zona desértica en Lima – Perú, en el cual se comparó el SPR con el riego normal (RN). Los resultados mostraron que es factible implementar el SPR en campos de papa mediante el riego en surcos alternos. El rendimiento de tubérculo fue superior en el RN, la eficiencia en el uso del agua (EUA) no arrojó diferencias estadísticamente significativas y la calidad fue superior en el SPR. Asimismo, el SPR estimuló mayor desarrollo radicular logrando características favorables de adaptación al estrés hídrico en papa.

Palabras clave: Ácido absísico, estoma, papa, secado parcial de raíces, riego por déficit hídrico.

## ABSTRACT

*Partial root drying (PRD) is a deficit irrigation technique which consists of submitting part of the root system to water deficit while the remaining is kept well watered so that abscisic acid produced in the drying roots reduces stomatal aperture and water loss. At the same time, the fully hydrated roots maintain a favorable water status throughout the aerial parts of the plant. Aiming at testing how the PRD could be implemented in field conditions and what the potato responses to PRD are, an experiment was conducted in a desert area in Lima – Peru in which PRD was compared with Conventional Irrigation (CI). Results showed that it is possible to apply PRD on potato production fields by alternate furrow irrigation. Fresh tuber yield was higher in CI, water use efficiency did not show statistically significant differences, and quality was better in PRD. Likewise, PRD enhanced root development achieving favorable characteristics of drought adaptation in potato.*

*Key words: abscisic acid, stoma, potato, partial root drying, deficit irrigation.*

La papa es la hortaliza más producida y consumida en el mundo (Horton & Sawyer, 1985). Originaria de los andes actualmente ocupa el cuarto lugar entre los cultivos de mayor producción a nivel mundial. Aunque la elevada incidencia de plagas y enfermedades hasta un punto son responsables de los bajos rendimientos, el principal factor limitante del rendimiento y calidad es el estrés hídrico, estimándose que el rendimiento promedio a nivel mundial (20 ton/ha) se puede incrementar en aproximadamente un 50% optimizando el suministro de agua al cultivo (Kumar *et al.*, 2003). Esto se debe a que la papa tiene un sistema radicular escaso y superficial vulnerable al déficit hídrico (Lesczynski & Tanner, 1976) haciendo que la aplicación de técnicas de déficit hídrico sea una labor complicada y que generalmente no da buenos resultados ya que la reducción en la cantidad de agua aplicada no compensa la pérdida económica debida a la reducción en el rendimiento y calidad (Shock & Feibert, 2002). Sin embargo, el SPR presenta una nueva alternativa ya que la papa, al igual que todas las plantas regulan el déficit de agua por medio de señales químicas, en las que el ABA juega un papel importante (Xu *et al.*, 1998).

### Aspectos fisiológicos

Al hacer un primer análisis de la reacción de las plantas al déficit hídrico, lo primero que se observa es el cierre de los estomas, mecanismo aparentemente simple y destinado sólo a evitar la caída del potencial hídrico, pero que engloba una serie de ajustes fisiológicos y metabólicos colaterales que incluyen, entre otros, la disminución de la fotosíntesis y alteraciones en el transporte y distribución de fotosintatos, hechos que tienen trascendencia significativa en el normal funcionamiento de la planta (Hanson & Hitz, 1982; Kaiser, 1987). Waggoner en 1969 (citado por Harris, 1992) consideró que existe la posibilidad de manipular la apertura estomatal en papa para incrementar el rendimiento por unidad de agua transpirada, aunque el mismo autor concluyó que este incremento también significaría reducción en el rendimiento por unidad de área.

Jones (1980), sugirió que debe haber un tipo de transferencia de información química entre las raíces y los brotes vía el xilema. A este tipo de comunicación se le conoce como señal no hidráulica o señalamiento químico, el cual se diferencia de las señales hidráulicas porque estas últimas ocurren vía cambios en la tensión de la savia del xilema (Stikic *et al.*, 2003). En las puntas de las raíces fisiológicamente jóvenes se produce fisiológicamente una señal no hidráulica que se transporta hacia las hojas, causando reducción en la conductancia de los estomas y en el crecimiento de la hoja (Ali *et al.*, 1999; Bahrin *et al.*, 2002). Cuando las raíces entran en contacto con suelo seco, la señal actúa para reducir la pérdida de agua y crecimiento de brotes y como resultado se mantiene un estado de agua favorable en la planta. La señal de la raíz es la elevada concentración de ABA en el xilema (Zhang *et al.*, 1989; Zhang & Outlaw, 2001; Khalil & Grace, 1993; Jia *et al.*, 1996). Jackson (1999) analizando las múltiples vías de señalización que controlan la formación del tubérculo, indica que el ABA participa junto a otras hormonas y factores externos como el fotoperiodo y el nitrógeno en el control de la tuberización, aunque su efecto directo aun no está claro. Xu *et al.* (1998) concluyeron que el ABA estimula la tuberización y reduce la longitud de los estolones de la papa.

## El SPR

Esta innovadora técnica de riego se basa en dos fundamentos fisiológicos: 1) Normalmente las plantas con un buen régimen de riego mantienen sus estomas extensamente abiertos, en los que una pequeña reducción de su apertura puede reducir sustancialmente la pérdida de agua con un efecto mínimo en la fotosíntesis (Jones, 1992) y 2) cuando una parte del sistema radicular es expuesto al suelo seco, la planta responde enviando señales desde la raíz hacia las hojas para cerrar los estomas y reducir la pérdida de agua (Davies & Zhang, 1991). Kang & Zhang (2004) analizando si estos mecanismos pueden ser utilizados para incrementar la eficiencia de agua, mencionan que típicamente la tasa de fotosíntesis de las plantas muestra saturación en respuesta a la apertura de los estomas, mientras que la tasa de transpiración muestra una respuesta más lineal. En ese sentido, se puede esperar que reduciendo la elevada apertura estomatal se podría reducir sustancialmente la pérdida de agua con un pequeño efecto en la tasa de fotosíntesis. Si se logra esto en la práctica, la EUA calculada en función al carbono ganado por unidad de agua perdida se incrementará a un mínimo costo de CO<sub>2</sub> tomado.

Aparentemente se podría pensar que el SPR no tiene nada nuevo puesto que en condiciones naturales todas las raíces de una planta no se secan al mismo tiempo. Sin embargo, además del proceso fisiológico más importante que ocurre en el SPR que es la producción de señales químicas (Stoll *et al.*, 2000); este tipo de riego induce la emisión de raíces secundarias y por consiguiente disminuye la sensibilidad de la raíz a la sequía (Zhang & Tardieu, 1996). Un sistema radicular más uniformemente distribuido en el suelo como resultado de la alternancia seco y húmedo puede conllevar a un mejor uso de nutrientes y agua del suelo en toda la zona radicular (Kang *et al.*, 1998). En vid y otros frutales se ha demostrado que el SPR tiene un efecto neutro en el rendimiento, pero puede mejorar la calidad, con una reducción de más del 50% del consumo de agua (Loveys *et al.*, 1998).

Luego de varios años de investigación, Loveys *et al.* (1997) concluyeron que para la implementación de la técnica de SPR se requiere que el sistema de riego permita una alternancia de zonas húmeda y seca en diferentes zonas del sistema radicular, independientemente de si el riego es por gravedad o presurizado. Alternar las zonas húmedas y secas del sistema radicular es esencial para mantener continua la emisión de señales de la raíz al follaje, ya que la raíz no es capaz de mantener su producción de ABA por largos períodos de tiempo. La frecuencia de la alternancia se determina de acuerdo al cultivo, tipo de suelo y factores ambientales. Dentro de las implicancias agronómicas, Kriedemann & Goodwin (2004) sostienen que en el SPR es más importante tomar en cuenta el factor suelo que el ambiente. La textura y estructura del suelo influyen en la infiltración y los elevados niveles de sales, cuyo efecto se conoce que es mayor cuando hay estrés hídrico. A diferencia de los métodos convencionales de riego por déficit hídrico en los que los riegos dependen principalmente de la evapotranspiración (ET), en el SPR se debe tener más énfasis en mediciones directas del contenido de agua en la zona radicular. La frecuencia de riegos en el SPR varía de acuerdo a las condiciones ambientales, pero los volúmenes de riego dependen del tipo de suelo y profundidad radicular, sin tener variaciones por condiciones ambientales. Para el cálculo

de la ET real en el SPR es necesario hacer un ajuste del coeficiente de cultivo (kc) ya que como en todo método de déficit hídrico su valor no es igual a cuando se aplica un régimen de riego normal.

La mayoría de autores señalan que el SPR es una técnica que tiene mucho potencial y en sus trabajos demuestran que las plantas responden de acuerdo a los planteamientos fisiológicos teóricos. Actualmente, hay varios proyectos trabajando en la evaluación del SPR en diferentes cultivos a lo largo de todo el mundo. Un tema central de todas las investigaciones es establecer cómo el SPR puede alterar el requerimiento de agua de los cultivos y cada vez se está haciendo más evidente que mediante esta técnica se usa menos agua que con la riego convencional (Kang & Zhang, 2004).

### El factor hídrico en la Papa

Aunque normalmente ocurren períodos cortos de estrés hídrico por inadecuadas prácticas de riego, la papa es una especie muy sensible al déficit hídrico; por eso, incluso a pesar de que se riega, ocurre estrés hídrico durante el mediodía debido a las altas tasas de transpiración (Harris, 1978; Kumar *et al.*, 2003). La sensibilidad al estrés hídrico hace que la papa sea exigente en agua, necesitando de 400 a 600 litros para producir 1 kilogramo de materia seca (MS) en los tubérculos (Beukema & Van der Zaag, 1979). A nivel de campo los requerimientos de agua varían entre 350 y 500 mm, dependiendo del período de duración del cultivo, condiciones ambientales, tipo de suelo y variedad (Sood & Singh., 2003). Las plantas de papa pueden responder con incrementos de hasta 2 t/ha por cada 2 cm de lámina de agua aplicada ya sea por riego o proveniente de la precipitación (Harris, 1978).

Harris (1992), Kleinkopf & Westermann (1981) y Bailey (2000) sostienen que la limitada tolerancia a la sequía debe a los efectos del ineficaz sistema radicular y la tendencia de los estomas a cerrarse, mermando de esta manera el desarrollo vegetativo en respuesta a reducir el déficit de agua. Comparado a otros cultivos como tomate, cebada y trigo, las raíces de la papa son superficiales (50 – 60 cm). Vayda (1994) y Wright & Stark (1990) consideran que la papa es susceptible al estrés por sequía ya que su óptimo rendimiento es altamente dependiente de riegos bien planificados con bajo volumen y alta frecuencia. La planta muestra síntomas de estrés hídrico cuando se encuentra en estas condiciones por un tiempo prolongado. La reducción de la tasa de extensión de la hoja ocurre luego del cierre de estomas (Haverkort & MacKerron, 2000). Cuando el estrés hídrico es de corta duración la mayoría de células se recuperan; pero si es prolongada, la planta se marchita (Beukema & Van der Zaag, 1979). Egúsquiza (2000) sostiene que el cierre de estomas es por lo tanto, negativo para la producción y menciona las consecuencias que acarrea este proceso: reducción del ingreso del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), menor actividad fotosintética, menor producción de MS, incremento en la temperatura interna de la planta, mayor respiración y maduración precoz del cultivo. Cuanto más tiempo dure la reducción de la apertura estomatal, mayor será la reducción de los rendimientos (Martínez y Huamán 1993).

La mayor parte de investigadores coinciden en que el período crítico al déficit hídrico en la papa es durante la tuberización, requiriéndose de un adecuado suministro de agua desde su

inicio hasta la madurez completa de los tubérculos para obtener altos rendimientos. (Salter & Goode, 1967; Jensen *et al.*, 2000 y Egúsqiza, 2000); pocos sostienen que es la fase de inicio del estolonamiento y la formación del tubérculo (Kumar *et al.*, 2003). Sin embargo, todos afirman que el principal efecto del estrés hídrico en la papa es la reducción del rendimiento. Además, puede causar desórdenes en el crecimiento del tubérculo, brotación secundaria, tubérculos huecos y de tamaño más pequeño (Jensen *et al.*, 2000). En muchos cultivares de la papa, incluso períodos cortos de estrés hídrico pueden causar reducciones significativas en el rendimiento del tubérculo y calidad (Miller & Martin, 1987).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue conducido en una zona con bajas precipitaciones, en promedio 23 mm/año, en el Centro Internacional de la Papa, estación experimental de La Molina, Lima – Perú. La variedad de papa con la que se trabajó fue la UNICA, cuyo período vegetativo es de 110 a 120 días. Bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar se fijaron cuatro tratamientos: dos bajo el sistema de riego normal (RN) con dos láminas de riego, al 100% (RN1) y 50 % (RN1/2) de las necesidades hídricas del cultivo; y los otros dos bajo el sistema de SPR con las mismas lámina de riego que el caso anterior 100% (SPR1) y 50% (SPR1/2). Para la aplicación de tratamientos de SPR se estableció un esquema de riego en surcos alternos (Loveys *et al.*, 1997). En un primer riego se aplicó el agua en un surco más no en el adyacente y en el siguiente se invirtió el procedimiento aplicándose el agua en el surco que no se aplicó en el primer riego (Figura 1). El objetivo fue lograr una alternancia de las zonas húmeda y seca en dos diferentes partes del sistema radicular, esta alternancia se repitió periódicamente desde la fase de tuberización (60 días después de la siembra) hasta el final de la campaña. Con la finalidad de controlar el volumen de agua aplicado en cada surco se usaron sifones de PVC (Figura 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que aunque la división de la zona radicular no fue exacta como ocurre en los trabajos en macetas (Stikic *et al.*, 2003). En condiciones de campo, el movimiento de redistribución del agua en el suelo crea una gradiente de humedad en la que las raíces que están en contacto con la zona más seca de la gradiente se espera que se encarguen de la producción de señales. En otro trabajo de campo con el SPR en maíz, Kang & Zhang (2004) concluyen que la distribución de la humedad del suelo fue “satisfactoria”; conclusión aplicable al presente trabajo. En la Figura 3 se observa el régimen hídrico del suelo en cada tratamiento a ambos lados del surco durante la fase experimental, los picos en las curvas indican los riegos. En los tratamientos de RN la humedad fue uniforme a ambos lados del surco. Mientras que en los tratamientos de SPR, al inicio la variación no fue uniforme debido a que un lado de la raíz empezó con mayor humedad que el otro, pero en los riegos posteriores, la gradiente de humedad se va alternando hacia ambos lados del surco. Es importante notar que en los tratamientos de SPR se observa una caída pronunciada y luego las curvas tienden a volverse horizontales,

esto se debe a que cuando hay menos agua en el suelo, es más difícil de extraer porque aumenta el potencial hídrico del suelo.

Aunque experimentos en condiciones controladas indican que en el SPR el lado de la raíz que es bien irrigado mantiene el estado hídrico de la planta, (Stikic *et al.*, 2003; Davies *et al.*, 2000 y Dry *et al.*, 2000), en el presente trabajo de campo los síntomas de estrés hídrico fueron evidentes. Esto se debe principalmente a dos factores: uno, que en papa es inevitable el estrés hídrico temporal que ocurre en condiciones normales en días soleados como lo expresan Kumar *et al.* (2003). Y otro, que en campo, es muy probable que el SPR implique algún grado de estrés hídrico debido a la insuficiencia de agua en el lado húmedo y a la duración del ciclo de alternancia que debe estar en función al grado de estrés hídrico indicado por el potencial hídrico del suelo y hoja.

Kriedemann & Goodwin (2004) señalan que en el SPR al igual que en el resto de métodos de déficit hídrico se debe hacer un ajuste del coeficiente de cultivo (kc). El ajuste del kc implica que las plantas sufren algún grado de estrés, aunque no se sabe hasta qué grado de acuerdo a la clasificación de Hsiao (1973) sobre los grados de deshidratación de las células vegetales. En el caso de la papa se piensa que deberían ser deshidrataciones ligeras (0.5 bar en el suelo y 30 bar en la hoja), ya que hasta estos potenciales las plantas son capaces de recuperar la transpiración y fotosíntesis sin que signifiquen efectos negativos en la producción, como lo mencionan Fulton (1970), Kumar *et al.* (2003), Haverkort & MacKerron (2004) y Sood & Singh (2003).

### Efectos en la producción

En principio, no podemos corroborar lo concluido en otros cultivos sobre el SPR, que incrementa la EUA con efectos neutros sobre el rendimiento, como lo expresan Loveys *et al.*, 1998; Gu *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 1998; Stikic *et al.*, 2003. En cuanto al rendimiento de tubérculo fresco, el RN fue estadísticamente superior al SPR. Este resultado es producto del alto rendimiento individual obtenido en el RN1 el cual es significativamente superior al resto de tratamientos (Tabla 1). Al hacer comparaciones por lámina de riego, en el RN las diferencias fueron altamente significativas, mientras que en el SPR no se encontraron diferencias significativas. Estos resultados no son ajenos a la mayoría de investigaciones sobre estrés hídrico en papa, en las que se ha encontrado que el estrés hídrico en papa, retarda el desarrollo vegetativo en las plantas que se traduce en menor rendimiento de tubérculo (Harris, 1992; Kumar *et al.*, 2003; Jensen *et al.*, 2000; Miller & Martin, 1987; Salter & Goode, 1967; Wright & Stark, 1990).

Al analizar la EUA a nivel de técnica de riego (EUAr) y a nivel de cultivo (EUAc), el SPR es ligeramente mayor que el RN, pero con diferencias estadísticamente no significativas en ninguno de los casos (Tabla 1). Tampoco se encontraron diferencias significativas haciendo comparaciones entre técnicas de riego ni por lámina de riego. Al respecto, Harris (1992) menciona que la mayor parte de investigaciones sugieren que en la papa existe una relación lineal entre la cantidad de agua que se aplica y el rendimiento de MS producido en los tubérculos.

### Efectos en la calidad

En cuanto a la calidad para consumo en fresco se sabe que en la mayoría de trabajos de déficit hídrico en papa, siempre hay tendencia a mayor producción de tubérculos pequeños pero en mayor cantidad (Kumar *et al.*, 2003). En el presente trabajo, el porcentaje en peso de tubérculo comercial fue cercano al 100 % en todos los tratamientos con diferencias mínimas, estadísticamente no significativas (Tabla 1). Respecto a la calidad para la industria, el estrés hídrico en papa tiende a mejorar calidad para chips debido al mayor porcentaje de MS en los tubérculos que hace que los chips sean de color más claro y uniforme, apropiado para la industria (Kumar *et al.*, 2003; Jensen *et al.*, 2000). Resultados similares se obtuvieron en el presente trabajo, el tratamiento al que se le aplicó menos cantidad de agua (RN1/2) produjo tubérculos con mayor % MS que resultó en chips de coloración ligeramente superior y menor cantidad de aceite absorbido.

### Parámetros de crecimiento

A nivel de planta, hemos encontrado que mediante el RN se obtienen plantas con mayor desarrollo vegetativo aéreo, mientras que el SPR estimula el mayor desarrollo radicular. En el caso de los pesos secos de tubérculos, hojas y estolones, el RN fue estadísticamente superior al SPR (Cuadro 1). El peso seco de tubérculos está directamente relacionado al rendimiento en fresco obtenido en el experimento. Respecto al peso seco de hojas, Shock & Feiber (2002) mencionan que el estrés hídrico reduce la producción de MS en las hojas. En el caso de los estolones, los tratamientos de SPR tuvieron la menor producción de MS en este órgano y esto se debe a que la producción de ABA en las raíces reduce la longitud de los estolones (Xu *et al.*, 1998). En el peso seco de tallos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas debido a que este órgano fue el menos influenciado por los tratamientos. El peso seco de raíces es una variable particularmente importante en trabajos de déficit hídrico. Kleinkopf & Westermann (1981) mencionan que las raíces son órganos que se desarrollan en función de la cantidad de agua y suelo y su desarrollo se prolonga durante toda la etapa de cultivo de papa. Los resultados muestran que el peso seco de raíces es significativamente superior en el SPR1 (Tabla 1). Estos resultados guardan relación con la evaluación del crecimiento radicular expresado como las áreas de concentración y expansión de raíces (Tabla 1). Con esto se comprueba que el SPR estimula el mayor desarrollo radicular, corroborando lo reportado en trabajos previos como los de Zhang & Tardieu (1996), Kang *et al.* (1998) y Davies *et al.* (2000).

### CONCLUSIONES

La aplicación del SPR en campos de papa es factible mediante riegos en surcos alternos, de manera que se forme una gradiente de humedad que permita exponer una parte del sistema radicular a suelo con baja humedad para estimular la producción de señales que regulen la apertura estomatal, al mismo tiempo que la parte que esta bien irrigada siga absorbiendo agua. De esta manera se optimizan las tasas de transpiración y fotosíntesis. La producción de papa es óptima cuando el régimen hídrico del suelo es el adecuado. Sin embargo, en



zonas donde el factor hídrico es limitante para la producción, el SPR ofrece una alternativa. En este caso el rendimiento, la EUA, la calidad, parámetros de crecimiento e incluso en el lavado de sales del suelo fueron superiores en el SPR1 que en el RN1/2; lo cual demuestra que el SPR es una técnica de déficit hídrico con la cual se obtiene mejores resultados que con un tratamiento de déficit hídrico por el sistema de riego normal.

La calidad para consumo en fresco e industrialización es superior con SPR debido al porcentaje de MS en los tubérculos. Esta característica influye directamente en la calidad para consumo en fresco y para la industria ya que mejora el color de los chips. Asimismo, se ha observado que la calidad mejora a medida que se aplica menos agua pero a coste de reducciones en el rendimiento.

A nivel de planta, el SPR estimula mayor desarrollo radicular, lo cual es muy importante en papa por ser un cultivo que se caracteriza por tener raíces superficiales y muy susceptibles al déficit de agua en el suelo. Las diferencias en los índices de crecimiento sugieren que hubo redirección de fotosintatos hacia los tubérculos y raíces a costo de crecimiento en hojas y estolones. La eficiencia a nivel de raíz en absorción de agua y nutrientes es superior en el SPR. Estos procesos a la vez implican que el SPR reduce el período vegetativo induciendo a la planta a que empiece a acumular reservas en los tubérculos a edad más temprana. Esto significa que el ciclo de producción es más corto mediante el SPR logrando cosechas más tempranas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M., C. Jensen, V. Mogensen, M. Andersen & I. Henson. 1999. Root signalling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. *Field Crop Res.* 62: 35 – 52.
- Bahrún, A., C. Jensen, A. Folkard & V. Mogensen. 2002., Drought-induced changes in xylem pH, ionic composition, and ABA concentration act as early signals in field-grown maize (*Zea mays* L.) *J. Exp. Bot.*, Vol. 53, No. 367, pp. 251-263
- Bailey, R.J. 2000. Practical use of soil water measurement in potato production. p. 206 – 218, En: Haverkort A.J. & MacKerron D.K.L 2000. *Management of Nitrogen and Water in Potato Production*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Pers.
- Beukema, H. & D. Van der Zaag. 1979. *Potato Improvement. Some factors and facts*. International Agricultural Center. IAC. Wageningen. The Netherlands. 224p.
- Davies, W.J. & J. Zhang. 1991. Roots signals and the regulation of growth and development of plant in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 42:55-76.
- Davies, W.J., M.A. Bacon, D.S. Thompson, W. Sobeigh, & L.G. Rodriguez. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants in drying soil: exploitation of the plant's chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *J. Exp. Bot.* 51, 1617–1626.
- Dry, P.R., Loveys B.R, Stoll M., Stewart D. & McCarthy, M. 2000. Partial root zone drying – an update. *The Australian Grapegrower and Winemaker* 438a: 35.39.
- Egúsuiza, B. R. 2000. *La Papa. Producción, Transformación y Comercialización*. Primera



edición. Lima, Perú. 192p.

**Fulton, J.M. 1970.** Relationship of root extension to the soil moisture level required for maximum yield of potatoes, tomatoes and corn. *Can. J. Plant Sci.* 50:92-94.

**Gu, S., G. Du, D. Zoldoske, A. Hakim, R. Cochran, K. Fugelsang, & G. Jorgensen. 2004.** Effect of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield, and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines under partial rootzone drying and conventional irrigation in San Joaquin Valley of California, USA. *J. Hort. Sci. Biotech.* 79:26-33.

**Hanson, A. & W. Hitz. 1982.** Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 163 – 203.

**Harris, P. M. 1978.** *The potato crop production. The Scientific Basis for Improvement.* Ed. Chapman and Hall, London.

**Harris, P.M. 1992.** The influence of genotype and water stress on the nitrogen requirement of the potato crop. Conference: Meeting of the Section Physiology of the EAPR. Le Conquet (France). 24-28 Jun 1991. *Pot. Res.* (Netherlands). ISSN 0014-3065. 1992. 35(1):72.

**Haverkort, A. & D. MacKerron. 2000.** *Management of Nitrogen and Water in Potato Production.* Wageningen, The Netherlands: Wageningen Pers. pp. 353

**Horton, D. & Sawyer, R.L. 1985.** The potato as a world food crop, with special reference to developing area. En: *Pot. Phys.* Li Paul, H. (ed.). Academic Press Inc. Ltd., (London), UK. Pages 1-34.

**Hsiao, T. C. 1973.** Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519 – 570.  
**Jackson, S. D. 1999.** Multiple Signalling Pathways Control Tuber Induction in Potato. *Plant Physiol.* 119: 1-8.

**Jensen, C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Nunez N., Andersen S.D., Rasmussen L. & Mogensen V.O. 2000.** Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *Eur J Agron.* ISSN 1161-0301. 13:11-25.

**Jia, W., J. Zhang & D.P. Zhang. 1996.** Metabolism of xylem-delivered ABA in relation to ABA flux and concentration in leaves of maize and *Commelina communis*. *J. Exp. Bot* 47:1085-1091.

**Jones, H.G. 1980.** Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the implications of an unpredictable environment. En: Turner NC, Kramer PJ, eds. *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* New York: Wiley, 353-365.

**Jones, H.G. 1992.** *Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*, 2<sup>nd</sup> ed.. Cambridge: Cambridge University Press.

**Kaiser, W. 1987.** Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant.* 71:142-149.

**Kang, S., Liang Z., Hu W. & Zhang J. 1998.** Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant. *Agricult Water Manag*, 38: 69-76.

**Kang, S., & Zhang J. 2004.** Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency *J. Exp. Bot* 55: 2437-2446.

**Khalil, A. & J. Grace. 1993.** Does xylem sap ABA control the stomatal behavior of water stressed sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) seedlings? *J. Exp. Bot* 44:1127-1134.

- Kleinkopf, G.E. & D.T. Westermann. 1981. *Predicting nitrogen requirements for optimum potato growth*. Proc. Univ. Idaho Winter Commodity School. pages 81-84.
- Kriedemann, P.E. & I. Goodwin 2004. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. An information package on two irrigation methods for high-input horticulture. *Irrigation Insights* No. 4. Land and Water. Australia Pub. 102 pp.
- Kumar, D., J.S. Minhas & B. Singh. 2003. Abiotic Stress and Potato Production. En: Khurana, S.M. Paul; J.S. Minhas; S.K. Pandey (eds.). 2003. *The Potato: Production and Utilization in Sub-Tropics*. Mehta Publishers. New Delhi.
- Lesczynski, D.B. & C.B. Tanner. 1976. Seasonal variation of root specific factors controlling the potato crop's root growth distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. *Am. Pot. J.* 53:69-78.
- Loveys, B., Grant J, Dry P.L & M. McCarthy. 1997. Progress in the development of partial rootzone drying. *Australian Grapegrower and Winemaker* 403:18-20.
- Loveys, B., Stoll M., Dry P.R & M. McCarthy. 1998. Partial rootzone drying stimulates stress responses in grapevine to improve water use efficiency while maintaining crop yield and quality. *The Australian Grapegrower and Winemaker* 108-113.
- Martínez y Huamán, C.A.. 1993. Expresiones Metabólicas de Resistencia a la Sequía en dos Clones de Papa sometidos a Estrés Hídrico. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae. UNALM. Lima – Perú.
- Miller, D.E. & Martin M.W. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. *Am. Pot. J.* (USA). ISSN 0003-0589. 64(3):109-117.
- Salter, P.J. & Goode J.E. 1967. *Crop responses to water at different stages of growth*. Farnham Royal, The United Kingdom, Commonwealth Agricultural Bureau.
- Shock, C.C. & E.B.G. Feibert. 2002. Deficit irrigation of potato. In P. Moutonnet (ed) Deficit Irrigation Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *Water Reports* 22:47-55.
- Sood, M.C. & Singh N. 2003. Water Management. En: Khurana, S.M. Paul; J.S. Minhas; S.K. Pandey (eds.). 2003. *The Potato: Production and Utilization in Sub-Tropics*. Mehta Publishers. New Delhi.
- Stikic, R., Popovic S., Srdic M., Savic D., Jovanovic Z., Prokic L.J., & Zdravkovic J. 2003. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulg. J. of Plant Phys.* (Special Issue):164-171.
- Stoll, M., Loveys B., & Dry P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot* 51, 1627-1634.
- Vayda, M.E. 1994. *Environmental stress and its impact on potato yield*. Wallingford (UK). Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI). ISBN 0-85198-869-5. 1994. pp. 239-261.
- Wright, J.L. & Stark J.C. 1990. Potato. En: B.A. Stewart & D.R. Neilsen, eds. *Irrigation of Agricultural Crops - Agronomy*. Monograph No. 30, Madison, Wisconsin, United States of America, ASA-CSSA-SSSA.
- Xu, X., A. Van Lammeren, Vermeer E., & Vreugdenhil D. 1998. The Role of Gibberellin,

Abscisic Acid, and Sucrose in the Regulation of Potato Tuber Formation in Vitro. *Plant Physiol.* 117: 575-584.

Zhang, S.Q. & Outlaw W.H. 2001. Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard-cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant Cell Environ.* 24, 1045-1054.

Zhang, J. & Tardieu F. 1996. Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root system. *Plant Cell Physiol.* 37:598-605.

Zhang, J., U. Schurr & W.J. Davies. 1989. Control of stomatal behavior by abscisic acid which apparently originates in the roots. *J. Exp. Bot* 38:1174-1181.

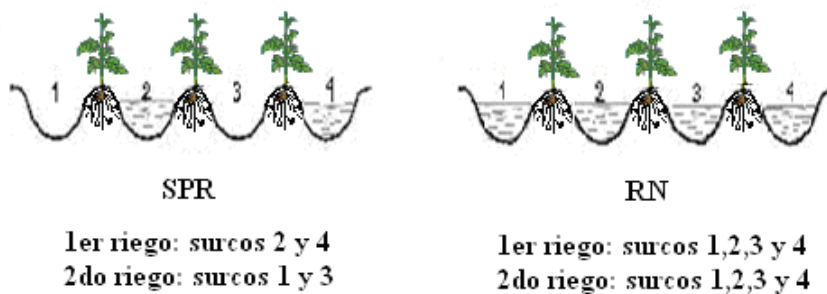


Figura 1. . Riego en surcos alternos (SPR) y riego normal (RN)



Figura 2. Uso de sifones de PVC para controlar el volumen de agua aplicado en cada surco

**Tabla 1.** Variables evaluadas en el experimento. Las letras al costado de los números indican las diferencias mediante la prueba Waller

VARIABLE	RN1	RN1/2	SPR1	SPR1/2	Signif.
Rdto. Tub. Fresco (Ton/ha)	45.1 a	33.9 bc	36.2 b	31.0 c	< 0.05
EUAr (kg/m <sup>3</sup> /ha)	2.3 a	2.2 a	2.4 a	2.6 a	ns
EUAc (kg/m <sup>3</sup> /ha)	5.5 a	5.1 a	6.1 a	6.5 a	ns
% M. S. en Tubérculos	22.1 b	22.5 b	22.9 ab	24.1 a	< 0.05
% Peso TC	98.1 a	96.3 a	97.5 a	96.4 a	ns
Color Fritura (grados del 1 al 5)	1.75	1.50	1.50	1.25	nsad
Aceites en Fritura (%)	34 a	34 a	32 a	29 a	ns
Num. Tallos por planta	1.5	1.8	1.8	1.7	nsad
Num. Estolones por planta	22.0 a	22.2 a	20.4 a	22.3 a	ns
Num. TC por planta	8.1 a	8.0 a	7.7 a	7.4 a	ns
Num. TNC por planta	3.5 a	2.7 a	3.8 a	4.0 a	ns
Peso seco de hojas (gr/pta)	29.6 a	22.5 b	22.6 b	22.5 b	< 0.05
Peso seco de tallos (gr/pta)	21.3 a	18.5 a	20.9 a	18.0 a	ns
Peso seco de raíces (gr/pta)	4.4 b	4.8 b	5.8 a	4.7 b	< 0.05
Peso seco de estolones (gr/pta)	0.8 a	0.6 b	0.5 b	0.5 b	< 0.01
Peso seco de tubérculos (gr/pta)	274.9 a	200.4 b	204.8 b	182.5 b	< 0.01
Relación A/S	0.32 a	0.27 b	0.29 ab	0.30 ab	ns
IC	0.66 b	0.74 a	0.70 ab	0.72 a	ns
IP	0.34 a	0.28 b	0.31 ab	0.32 ab	ns
Follaje Cosecha (kg/pta)	220.0 a	166.2 a	189.8 a	182.2 a	ns
Concentración de Raíces (dm <sup>2</sup> )	5.1	9.5	11.2	11.1	nsad
Expansión de Raíces (dm <sup>2</sup> )	19.8	22.8	23.2	24.8	nsad
CE suelo (dS/100g)	0.67	0.34	0.62	0.32	nsad

EUAr: Eficiencia en el uso del agua a nivel de técnica de riego (razón entre el peso seco total de tubérculo y el volumen de agua aplicada); EUAc: Eficiencia en el uso del agua a nivel de cultivo (razón entre el peso seco total de tubérculo y el volumen de agua evapotranspirada); %MS: Porcentaje de materia seca; TC: Tubérculo comercial; TNC: Tubérculo no comercial; IC: Índice de cosecha (razón entre el peso seco de tubérculos y el de toda la planta); IP: Índice de producción (razón entre el peso de tallos más el de hojas y el peso seco de toda la planta); A/S: Relación parte aérea versus parte subterránea (razón entre el peso seco de tallos más el de hojas y el peso seco de raíces más estolones y tubérculos); CE: Conductividad eléctrica; nsad: no se hizo análisis estadístico; ns: no significativo.

**Figura 3.** Régimen hídrico del suelo en cada tratamiento a ambos lado del surco

