

EFFECTO DEL ESTRÉS POR SEQUÍA EN LAS RELACIONES HÍDRICAS Y EL CONTENIDO IÓNICO DE FRUTOS DE MANDARINA C.V. FORTUNE DURANTE EN LA ETAPA DE SU RÁPIDO CRECIMIENTO.

José M. Dell'Amico Rodríguez¹, Rafael Domingo Miguel², Alejandro Pérez Pastor²,
Manuel García², María Peñalver², Francisco Villanueva² y Pablo Puerto²

1 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA-MES) Cuba, amico@inca.edu.cu

2 Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) Murcia-España.

Introducción

La escasez de agua es una de las principales causas de la disminución del rendimiento de los cultivos en la mayoría de las regiones agrícolas del mundo [1]. Los cítricos son árboles perennes con un largo período productivo y están expuestos a frecuentes limitaciones hídricas tanto del suelo, como atmosféricas [2].

Los requerimientos de riego de los cítricos son normalmente determinados en base a la evapotranspiración de referencia (ET_o) y un coeficiente de cultivo estacional (K_c). Sin embargo, desafortunadamente debido a la intercepción de la luz [3] o la carga de frutos [4] estos valores pueden cambiar la estimación del uso del agua. Por ello, es necesario desarrollar métodos de programación del riego novedosos y más precisos que permitan determinar con exactitud los requerimientos hídricos de los cítricos en cualquier momento. El empleo de indicadores de las plantas puede ser un método ideal para la programación del riego debido a la naturaleza dinámica del estado hídrico de las plantas, lo cual está directamente relacionado con las condiciones climáticas y del suelo [5, 6, 7]

Por otra parte, los cítricos comúnmente se cultivan en zonas donde el contenido de sales del agua de riego es bajo, por ejemplo en Australia, normalmente la Conductividad Eléctrica (C. E.) del agua es <0,5 dS m⁻¹. Pero, estos también se cultivan en regiones donde la salinidad del agua alcanza valores de C. E. superiores a 1,4 dS m⁻¹.

La capacidad de los cítricos de poder ser cultivados en suelos salinos esta asociada generalmente al mecanismo de 'exclusión' más que a la 'tolerancia' de iones en las hojas [8].

Distintos ensayos de riego deficitario controlado (RDC) realizados en cítricos demuestran que dotaciones hídricas inferiores a las necesidades totales no implican necesariamente pérdidas de producción ni de calidad del fruto y que pueden contribuir al control del crecimiento vegetativo. Sin embargo, existen pocos trabajos que estudien los efectos combinados de la reducción del riego y el empleo de aguas salinas, lo que resulta de gran interés para especies sensibles a las sales y cultivadas en climas semiáridos.

Por ello, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de un ciclo de sequía y recuperación en etapas tempranas del crecimiento del fruto en las relaciones hídricas y el contenido iónico de frutos de mandarinos 'Fortune', regados con agua salina.

Materiales y Métodos.

El trabajo se realizó durante la campaña 2008/09 en una finca comercial de mandarina c.v. Fortune. Los árboles de 18 años de edad dispuestos a un marco de plantación de 5 x 3 m, fueron regados por goteo con dos laterales de riego por hilera de árboles y 6 emisores por árbol de 4 L h⁻¹ cada uno.

El agua de riego empleada, con una conductividad eléctrica a 25° C que osciló, durante el experimento, entre 3,97 - 4,39 dS m⁻¹, el pH fue de 7,7 - 9,1 y el contenido de cloruros fue de 500 - 900 mg L⁻¹. Todos los árboles recibieron idénticos cuidados agrícolas.

Se ensayaron 2 tratamientos de riego en un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones de 15 árboles cada una. Los tratamientos de riego ensayados fueron:

CTL “Control” regado al 125 por ciento de la ETc. (Evapotranspiración estándar del cultivo).

EST “Estrés” supresión del riego desde el 12 de Agosto hasta alcanzar el valor umbral de -2,5 MPa de potencial hídrico de tallo (Ψ_t) a mediodía (estrés severo) posteriormente con riego idéntico al **CTL**.

Durante el período comprendido entre el 14 de agosto y el 3 de octubre se realizaron 12 evaluaciones 9 correspondieron al periodo de estrés y 3 al periodo de recuperación. En estas evaluaciones se midió el potencial hídrico y sus componentes en frutos (Ψ_{fruto}) y el potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}). Todas estas evaluaciones se realizaron en tres plantas por réplica (18 medidas).

El Ψ_{fruto} se midió con cámara de presión entre las 10: 00 y las 11:00 a.m., y el Ψ_{tallo} se midió al mediodía solar (\approx a las 13:00 horas). Después de evaluar el Ψ_{fruto} las muestras se congelaron en nitrógeno líquido. Posteriormente se descongelaron a temperatura ambiente y por centrifugación se obtuvo el jugo celular de la corteza. Se determinó el potencial osmótico real de la corteza ($\Psi_{\text{OR}_{\text{corteza}}}$) y del jugo ($\Psi_{\text{OR}_{\text{jugo}}}$). El potencial de presión (Ψ_p) de la corteza y el jugo del fruto se calculó por diferencia entre el potencial hídrico y osmótico de las diferentes partes. A partir de los mismos extractos se valoraron los contenidos iónicos de Cl^- , Na^+ y K^+ , por Cromatografía Líquida de Intercambio Iónico.

El rendimiento y sus componentes se evaluaron en 5 árboles por cada repetición (tres repeticiones por tratamiento). La determinación de diferentes indicadores de la calidad, tanto físicas como químicas de los frutos se realizó en tres momentos de la etapa de maduración, inicio (17- 11- 08) mediados (04 -02 -09) y final (06 – 03 -09) y para ello se tomaron 10 frutos por repetición (30 frutos por tratamiento). Los indicadores de calidad físicos y químicos evaluados fueron: masa de fruto, diámetro ecuatorial, masa fresca y seca de corteza, masa locular y porcentaje de zumo, pH, ° Brix, Conductividad Eléctrica ($\text{CE}_{25^\circ\text{C}}$), Acidez, contenido de Cl^- y Potencial osmótico del jugo.

Resultados y Discusión.

Al analizar el Ψ_{fruto} (figura 1 A) se encontró que las diferencias entre las plantas de ambos tratamientos se presentaron el día 234 (7 días de estrés) a favor de las plantas bien regadas. Sin embargo, estas diferencias hasta el día 255 no sobrepasaron los -0.5 MPa. Posteriormente el estrés hídrico provocó un descenso significativo en los valores de Ψ_{fruto} hasta el final del ciclo.

Cabe señalar que el hecho de encontrarse pocas diferencias en el Ψ_{fruto} entre los días 225 y 252 esta estrechamente ligado a que el fruto de cítrico es un órgano compuesto por diferentes tipos de tejidos y el movimiento del agua a través de estos tiene lugar fundamentalmente por vías no vasculares.

En el caso del Ψ_{tallo} (figura 1 B) desde el inicio de los tratamientos se presentaron diferencias significativas a favor de las plantas del CTL las que se mantuvieron hasta el día 244 con valores de -0.7 MPa. Posteriormente se produjo un descenso brusco en los valores de este indicador en las plantas estresadas que oscilaron entre -2.3 y -2.4 MPa, los que prevalecieron hasta los 42 días, momento en el que se sobrepasan los -2.5 MPa (Valor prefijado como culminación del ciclo de sequía e inicio de la recuperación).

Resulta interesante destacar que a diferencia de los frutos, en el Ψ_{tallo} fue donde primero se detectaron diferencias entre las plantas de ambos tratamientos, pero fue el que más tardó en recuperarse.

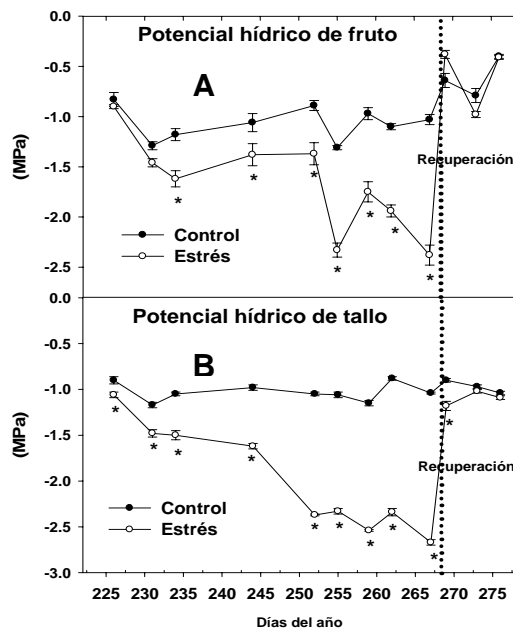


Figura 1.- Efecto del estrés por sequía en las variaciones del potencial hídrico del fruto (A) y el potencial hídrico de tallo (B) en la etapa de rápido crecimiento del fruto.

Estos resultados demuestran, que la sensibilidad a la pérdida o ganancia de agua en estos órganos (frutos y tallo) dada sus propias características se manifiesta a través de tasas específicas diferentes. Es por ello que muchos autores, entre ellos [3, 4] reconocen el Ψ_{tallo} como un indicador confiable del estado hídrico de los frutales, incluso ante condiciones ligeras de estrés y ha sido frecuentemente utilizado como referencia en la programación del riego en diferentes cultivos.

En cuanto a las variaciones en los $\Psi_{\text{OR}_{\text{corteza}}}$ y $\Psi_{\text{OR}_{\text{jugo}}}$ (figura 2) se pudo apreciar que en el caso de $\Psi_{\text{OR}_{\text{corteza}}}$ en todas las evaluaciones se encontraron diferencias significativas a favor del TCL y se mantuvieron entre -1.26 y -1.45 MPa., mientras que en EST estos oscilaron entre -1.32 y -2.17 MPa durante el ciclo de sequía. Por otra parte, el comportamiento de los valores del $\Psi_{\text{OR}_{\text{jugo}}}$ fue acentuadamente variable y en general alcanzaron valores entre -2.0 y -4.0 MPa.

Atendiendo a la estructura y composición de los frutos cítricos, se conoce que en su interior muchas sustancias solubles en agua se encuentran en concentraciones de medias a altas, como la sacarosa que puede ser mayor de 250 mM [5] en la etapa de rápido crecimiento, lo que tiene un efecto importante en el potencial osmótico, fundamentalmente del jugo. Como la concentración de estas sustancias osmoticamente activas varía entre los distintos tejidos del fruto en desarrollo, justifica las variaciones en sus diferentes partes, y el establecimiento de gradientes de potencial osmótico, que según [6] favorece la traslocación de la sacarosa hacia el interior de las vesículas de jugo.

El potencial de presión Ψ_p o de turgencia calculado (figura 3), en el caso particular del fruto se encontró que en la corteza el estrés hídrico provocó que se alcanzaran valores negativos de turgencia, mientras que en el Ψ_p del jugo aún cuando los valores en las plantas de ambos tratamientos presentaron una gran variabilidad durante el periodo de estrés, en ningún momento se alcanzaron valores negativos.

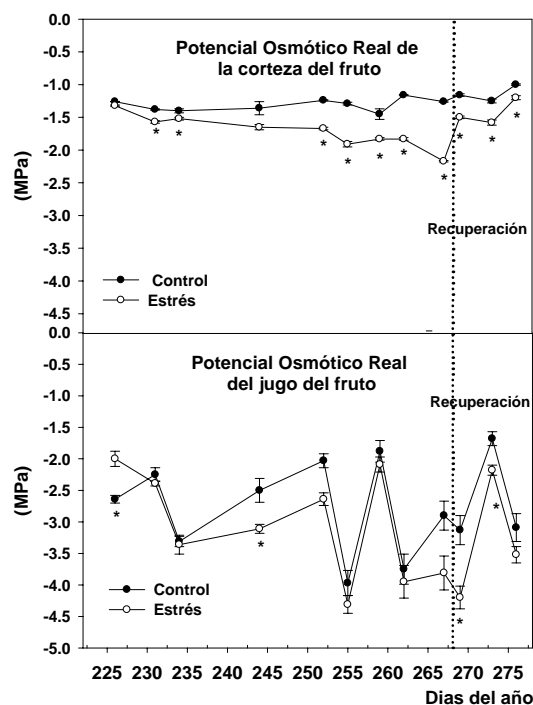
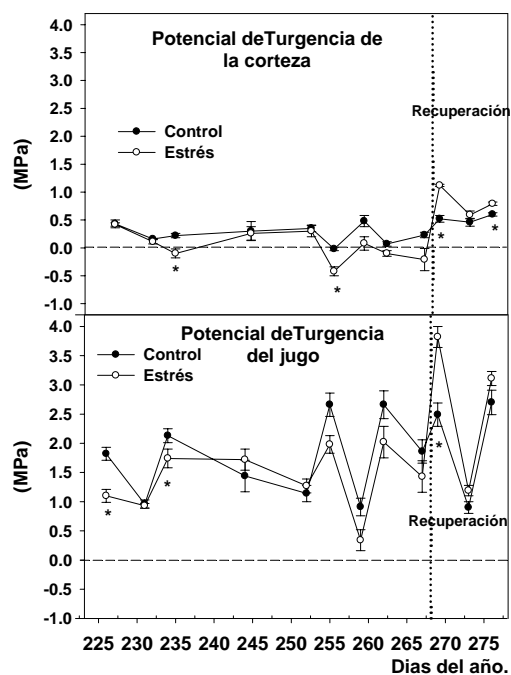


Figura 2.- Comportamiento del potencial osmótico real en diferentes partes del fruto de mandarina (corteza y jugo) ante un ciclo de sequía y recuperación en la etapa de rápido crecimiento del fruto.

Este comportamiento está relacionado con el hecho de que, el tejido de la corteza del fruto está vinculado al torrente transpiratorio y ejerce poca resistencia relativa a la pérdida de vapor de agua y por el movimiento del agua desde la corteza del fruto a las hojas adyacentes [7]. Mientras que en el caso de las vesículas del jugo el movimiento del agua y los solutos tiene lugar únicamente a través de los pedúnculos de las vesículas.



Conte

Figura 3.- Variaciones del potencial de turgencia o de presión en la corteza y el jugo de frutos de mandarina afectados por un ciclo de sequía y recuperación en la etapa de rápido crecimiento del fruto.

Los valores de contenido de los iones Na^+ y Cl^- en corteza y jugo del fruto (figura 4) presentaron una tendencia similar, mayor concentración en la corteza y menor en zumo. Cabe señalar que las concentraciones de Na^+ y Cl^- en la corteza y el jugo fueron significativamente mayores en las plantas del tratamiento CTL. Por otra parte, los contenidos de Cl^- en fruto fueron superiores a los de Na^+ en ambos tratamientos.

Los mayores contenidos de Na^+ y Cl^- en corteza y jugo se presentaron en las plantas del TCL, indicando que condiciones favorables de abastecimiento hídrico y de transpiración propiciaron una mayor absorción y transporte de estos iones hacia el interior de las plantas, Según han señalado [8,9] los procesos de absorción y acumulación de los iones Na^+ y Cl^- en los cítricos son dependientes de la transpiración.

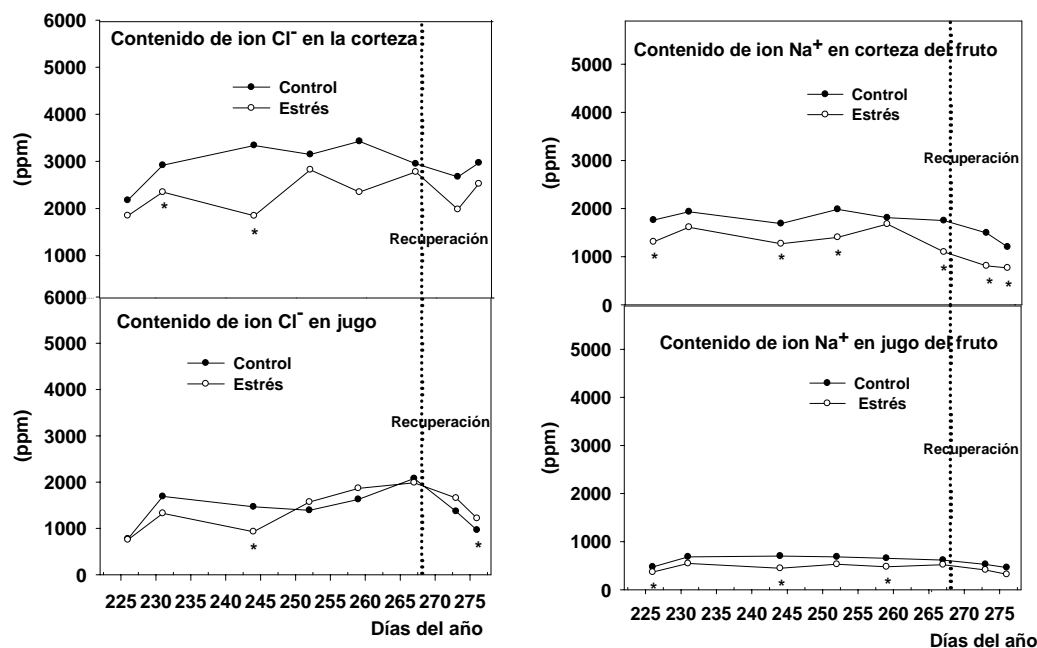


Figura 4.- Efecto de un ciclo de sequía y recuperación en el contenido de cloruros (Cl^-) y de sodio (Na^+) de la corteza y el jugo de frutos de mandarina.

En general se puede concluir que las condiciones de abastecimiento hídrico y de transpiración propiciaron mayores contenidos de Cl^- y Na^+ en corteza > jugo, por considerarse las vesículas un sumidero pobre de solutos inorgánicos con escaso flujo de masa. Los mayores contenidos de Cl^- en la corteza y zumo con respecto al Na^+ se debe en lo fundamental a que los cítricos son mucho mas sensibles al Cl^- que al Na^+ , por ser este último retenido en la parte maderable de raíces y tallo. Todo lo anterior indica, que

las plantas del EST fueron favorecidas en cuanto a los efectos dañinos de la salinidad se refiere al propiciar el estrés menores contenidos foliares principalmente de Na^+ y Cl^- .

Los valores obtenidos en cuanto a los contenidos de K^+ y la relación Na^+/K^+ (figura 5) en corteza y jugo en general y no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas del TCL y el EST, indicando que el ciclo de sequía impuesto a las plantas no ejerció un efecto negativo acentuado en cuanto a la absorción y concentración de este ión en la corteza. Al analizar este indicador en el jugo, aunque los contenidos fueron muy similares en las plantas de ambos tratamientos, los valores más altos de concentración estuvieron a favor de las plantas estresadas.

En cuanto a la relación Na^+/K^+ aunque solamente en determinadas evaluaciones se encontraron diferencias estadísticamente significativas principalmente a favor de las plantas del TCL, este comportamiento ratifica que las mismas estuvieron mas afectadas negativamente por la salinidad al presentar los valores mas altos de esta relación, aspecto que fue mas notorio en el jugo.

Es bien conocido, que la utilización de aguas con altos contenidos de sales para el riego de los cultivos, además de provocar limitaciones en la absorción hídrica y el crecimiento, también puede causar desbalances nutricionales y efectos de toxicidad por iones específicos. La presencia de altos contenidos de Na^+ y Cl^- puede limitar la toma de otros nutrientes mediante interacciones competitivas o por alteración de la selectividad de las membranas. Sin embargo, en el sistema radical de los cítricos, como en muchas glicofitas se ha comprobado que ante determinadas concentraciones

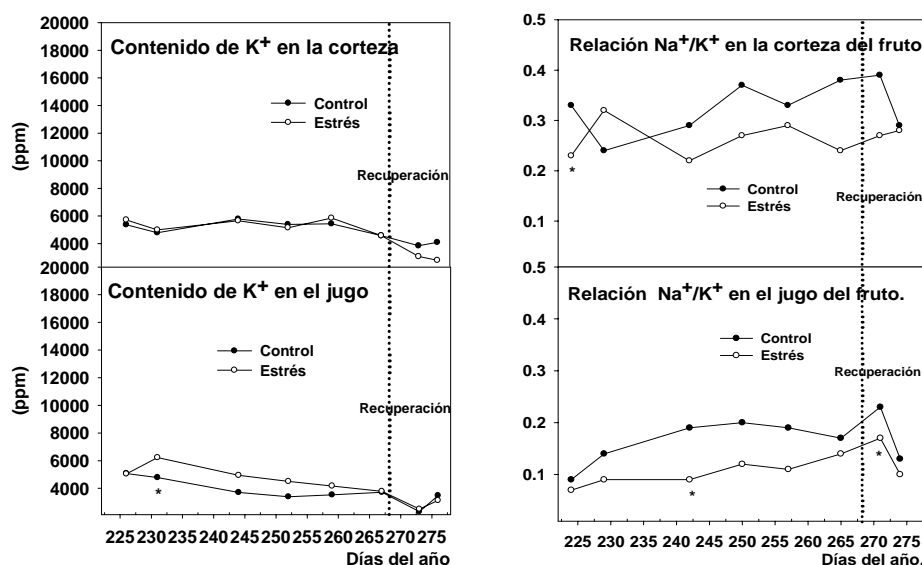


Figura 5.- Comportamiento del contenido de potasio (K^+) y de la relación Na^+/K^+ diferentes partes del fruto de mandarina (corteza y jugo) ante un ciclo de sequía y recuperación en la etapa de rápido crecimiento del fruto.

externas de K^+ y Na^+ existe una mayor selectividad por el K^+ que por el Na^+ , lo que justifica en este caso su mayor contenido con respecto al Na^+ . [10] en trabajos realizados en mandarina encontraron que en plantas tratadas con 60 y 90 mM de NaCl hubo un incremento significativo del K^+ foliar, lo que podría ser un mecanismo de regulación y mantenimiento del balance osmótico ante niveles altos de Cl^- propiciados por el estrés salino.

Otros trabajos realizados en cebada por [11] señalan que cálculos termodinámicos demostraron que el K^+ fue transportado activamente al interior de las vacuolas de células

epidérmicas y del mesófilo tanto en plantas afectadas o no por la salinidad. Según [12] analógicamente con el mantenimiento de bajos contenidos de Na⁺ es el mantenimiento de altos contenidos foliares de K⁺, incluso para muchas especies resulta mas importante mantener bajas relaciones Na⁺/ K⁺ que simplemente mantener bajos contenidos de Na⁺ [11].

Los valores obtenidos en cuanto al rendimiento y sus componentes se presentan en la tabla 1, donde se encontró que el hecho de aplicar un estrés hídrico severo (hasta alcanzar -2,5 MPa de Ψ_{tallo}) en la fase de rápido crecimiento del fruto, solamente provocó diferencias estadísticamente significativas en la masa promedio de los frutos a favor de las plantas del TCL.

Por otra parte, es oportuno señalar que los valores del rendimiento en gramos y el número de frutos por planta fueron superiores en las plantas del tratamiento EST en un 10,7 y

Tratamiento	Rendimiento g planta ⁻¹	Dif. %	Número de frutos planta ⁻¹	Dif. %	Masa Prom. de frutos (g)	Dif. %
CTL	80892,00		649,80		124,48	13,62
EST	90592,40	10,7	826,20	21,35	107,52	
E. S. X.	9891,74 ns.		92,00 ns.		4,03 *	

21,35 por ciento, respectivamente con respecto al TCL, sin que se apreciaran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

El rendimiento constituye uno de los procesos más complejos de los cultivos y depende en gran medida de la acción de muchos factores, tanto naturales (condiciones edafoclimáticas y de cultivo) como artificiales (fertilización, riego, tratamientos químicos, etc.).

Tabla1.- Evaluación del rendimiento y sus componentes en plantas de mandarina afectadas por un ciclo de sequía en la etapa de rápido crecimiento del fruto.

Específicamente en los cítricos se han realizado muchos trabajos relacionados con la selección de un adecuado esquema de riego y la mejora del rendimiento [13,14,15,16,17] trabajando en mandarina con diferentes tratamientos de Riego Deficitario Controlado (RDC) aplicados en diferentes periodos fenológicos del crecimiento del fruto, encontraron que la reducción del riego en un 75 % en la fase II (crecimiento rápido del fruto) no causó descensos del rendimiento, ni en el número de frutos por árbol, solamente encontraron diferencias estadísticamente significativas en la masa promedio de los frutos, resultados que coinciden en gran medida con los obtenidos en este trabajo. Otros resultados similares han sido informados por [18,19] en trabajos realizados con naranja dulce c.v. "Lane late".

Finalmente se puede señalar que los cítricos, por sus bondades, dan la posibilidad a los productores de mediante un manejo adecuado del riego, ahorrar ciertos volúmenes de agua y energía, sin perjudicar el rendimiento del cultivo, aspectos que en gran medida contribuyen a su rentabilidad. Además, disminuir en cierta medida los efectos nocivos de la salinidad.

La evaluación de diferentes indicadores de calidad realizadas a los frutos, mostró que el estrés hídrico se manifestó solamente al inicio de la maduración, provocando diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores evaluados (peso fruto, diámetro ecuatorial, masa fresca corteza, masa fresca locular, por ciento de jugo, masa jugo, masa seca corteza, masa seca locular) a favor de la plantas del TCL., las que desaparecieron en la medida que avanzó el proceso de maduración en los frutos.

Por otra parte, en los indicadores (pH, CE, Cl⁻, SST, Potencial Osmótico, Acidez) no se apreció una tendencia definida en su comportamiento, de modo que al inicio de la maduración los valores de SST y el Potencial osmótico fueron estadísticamente superiores en las plantas del EST, y al final de la maduración solamente se encontraron ligeras diferencias en los valores de pH y algo mas pronunciadas en el contenido de Cl⁻ a favor de las plantas del CTL que comenzaron a detectarse desde mediados de la maduración.

Resulta de gran interés resaltar que el estrés hídrico, no ejerció ningún efecto negativo en los indicadores de calidad interna de los frutos, al contrario, se obtuvieron frutos ligeramente más ácidos y con menor contenido de Cl⁻.

Al igual que el rendimiento, la calidad de los frutos tanto externas, como internas, depende de muchos factores, en el caso específico de los frutos cítricos, se ha señalado que el manejo adecuado del riego tiene una importancia decisiva en este aspecto, atendiendo principalmente a las etapas fenológicas en que se hacen restricciones en el abastecimiento hídrico al cultivo [20].

Referencias bibliográficas.

- [1] Consoli, S., O'Connell, N., Snyder, R., 2006. Measurement of Light interception by navel orange orchard canopies: case study of Lindsay, California. *J. Irrig. Drain. Eng.* 132, 9–20.
- [2] Yonemoto, Y., Matsumoto, K., Furukawa, T., Asakawa, M., Okuda, H., Takahara, T. Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of 'Dhirakawa Satsuma' mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Sci. Hortic.* 102: 295–300, 2004.
- [3] Intrigliolo, D.S. y Castel, J. R. Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. ***Agric. Water Manage.*** 83: 173 – 180, 2006 .
- [4] Velez, J. E., Intrigliolo, D. S. y Castel, J.R. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. ***Agricultural Water Management.*** 90: 197-204, 2007.
- [5] Etxeberria, E., González, P. y Pozueto-Romero, J. Sucrose Transport into Citrus Juice Cells: Evidence for an Endocytic Transport System. ***J. Amer. Soc. Hort. Sci.*** 130 (2): 269-274, 2005.
- [6] Barry, G. H., Castle, W. S. y Davies, F. S. Rootstocks and Plant Water Relations Affect Sugar Accumulation of Citrus Fruit Via Osmotic Adjustment. ***J. Amer. Soc. Hort. Sci.*** 129 (6): 881-889, 2004.
- [7] Kaufmann, M. R. Water potential components in growing citrus fruits. ***Plant Physiol.*** 46: 145-149, 1970.
- [8] Walker, R.R., Munns, R. y Tonnet, M. L. Xylem chloride and sodium concentrations of salt treated citrus plants, En: Beilby, M.J., Walker, N.A., Smith, J.R. (Eds.), *Membrane Transport in Plants and Fungi*. University of Sydney, Sydney, pp. 490-494, 1990.
- [9] Moya, J. L., Gómez-Cadenas, A., Primo-Millo, E. y Talón, M. Chloride absorption in salt-sensitive Carrizo citrange and salt-tolerant Cleopatra mandarin citrus rootstocks is linked to water use. ***Journal of Experimental Botany.*** 54 (383): 825-833, 2003.
- [10] García -Sánchez, F. Jifon, J. L., Carvajal, Micaela y Syvertsen, J. P. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. ***Plant Science.*** 162: 705-712, 2002.
- [11] Cuin, T. A., Miller, A. J., Laurie, S. A. y Leigh, R. A. Potassium activities in cell compartments of salt-grown barley leaves. ***Journal of Experimental Botany.*** 54 (383): 657- 661, 2003.

- [12] Tester, M. y Davenport, R. Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. ***Annals of Botany***. 91:503-527, 2003.
- [13] Burke, S., Mulligan, M. y Thornes, J.B. Optimal irrigation efficiency for maximum plant productivity and minimum water loss. ***Agric. Water Manage.*** 40: 377–391, 1999.
- [14] Barragan, J. y Wu, I.P. Optimal scheduling of a microirrigation system under deficit irrigation. ***J. Agric. Eng. Res.*** 80 (2): 201–208, 2001.
- [15] Alva, A.K., Paramasivam, S., Graham, W.D. y Wheaton, T.A., Best nitrogen and irrigation management practices for citrus production in sandy soil. ***Water, Air, Soil Pollut.*** 143: 139–154, 2003.
- [16] Morimoto, T., Ouchi, Y., Shimizu, M. y Baloch, M.S. Dynamic optimization of watering Satsuma mandarin using neural networks and genetic algorithms. ***Agric. Water Manage.*** 93:1–10, 2007.
- [17] González-Altozano P. y Castel J. R. Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. ***Span. J. Agric. Res.*** 1(2):81–92, 2003.
- [18] Hutton, R. J., Landsberg, J. J. y Sutton, B. G. Timing irrigation to suit citrus phenology: a means of reducing water use without compromising fruit yield and quality? ***Aust. J. Exp. Agric.*** 47(1): 71–80, 2007.
- [19] Pérez-Pérez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M. y Botía, P. Response of sweet orange c.v 'Lane late' to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. ***Irrig Sci.*** 26:519–529, 2008.
- [20] Treeby, M.T., Henriod, R. E., Bevington, K. B., Milne, D. J. y Storey, R. Irrigation management and rootstock effects on navel orange (*Citrus sinensis*) L. Osbeck) fruit quality. ***Agricultural Water Management.*** 91: 24 – 32, 2007.