



## RESPUESTA PRODUCTIVA DE LA CHUFA A DISTINTAS ESTRATEGIAS DE RIEGO Y TIPOS DE PLANTACIÓN

*Pascual-Seva, N.(1), San Bautista, A.(2), López-Galarza, S.(3), Maroto, J.V.(4), Pascual, B.(5)*

<sup>1</sup> Profesora Ayudante Doctor, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Departamento de Producción Vegetal, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. [nupasse@prv.upv.es](mailto:nupasse@prv.upv.es).

<sup>2</sup> Profesor Titular de Universidad, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Departamento de Producción Vegetal, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. [asanbau@prv.upv.es](mailto:asanbau@prv.upv.es).

<sup>3</sup> Catedrático de Universidad, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Departamento de Producción Vegetal, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. [slopez@prv.upv.es](mailto:slopez@prv.upv.es).

<sup>4</sup> Catedrático de Universidad, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Departamento de Producción Vegetal, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. [jmaroto@prv.upv.es](mailto:jmaroto@prv.upv.es).

<sup>5</sup> Catedrático de Universidad, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Departamento de Producción Vegetal, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. [bpascual@prv.upv.es](mailto:bpascual@prv.upv.es).

### Resumen

La chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.) es una planta cultivada para el aprovechamiento de sus tubérculos en la obtención de la horchata. En el presente trabajo se aborda el estudio de su respuesta productiva a distintas estrategias de riego y tipos de plantación. El riego se realiza por surcos, con manejo del mismo en base al contenido volumétrico de agua del suelo (CVAS), mediante el uso de sensores de capacitancia. Las estrategias de riego ensayadas correspondían a iniciar el riego cuando el CVAS alcanzaba valores correspondientes al 45% y al 60% de la capacidad de campo. Respecto a los tipos de plantación, frente al tradicional cultivo en caballones se ha ensayado la plantación en mesetas con dos y tres líneas de plantas. Con las estrategias que suponen el mantenimiento de un mayor CVAS se ha incrementado el rendimiento y el peso unitario de los tubérculos, sin afectar a la eficiencia en el uso del agua de riego. Con respecto a la utilización de mesetas se han obtenido mayores valores del rendimiento y de la eficiencia en el uso del agua de riego, debido esto último especialmente al ahorro en la lámina de agua de riego aportada.

### 1- Introducción y Objetivos del trabajo

La chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.) es una planta cultivada en *L'Horta Nord* de Valencia para el aprovechamiento de sus tubérculos en la obtención de la bebida denominada horchata. En la actualidad la superficie dedicada a este cultivo está cercana a 500 ha, con un rendimiento medio de 19.2 t·ha<sup>-1</sup>.

En los países desarrollados la agricultura utiliza aproximadamente el 70% del consumo total de agua dulce, por lo que se considera que estas necesidades son muy elevadas en relación a otros sectores. Hasta la actualidad no se han presentado problemas graves en el abastecimiento de agua de riego en el cultivo de la chufa, siendo probablemente ésta la causa de que se desconozcan las dosis de riego aportadas al cultivo, la eficiencia de aplicación, y la cuantificación de la respuesta productiva de la planta a diferentes aportes hídricos.

En el presente trabajo se aborda el estudio de la respuesta productiva de la chufa a distintas estrategias de riego y tipos de plantación. Se muestran dos estudios realizados en paralelo; en uno se analiza la respuesta del cultivo al riego a distintas estrategias de riego por superficie, en el otro se analiza el comportamiento del cultivo de la chufa en distintas estrategias de plantación.

## 2- Materiales y Métodos

### 2.1- Cultivo

Los experimentos se llevaron a cabo en tres campañas sucesivas (2006, 2007 y 2008) en parcelas cercanas al campus de la Universitat Politècnica de València (39° 29' N and 0° 20' W), representativas de las parcelas de la zona de cultivo. De acuerdo con la clasificación agroclimática de Papadakis (Elías y Ruíz, 1977), el clima es subtropical Mediterráneo, con veranos cálidos y secos, con una precipitación anual media de 450 mm distribuida de manera irregular a lo largo del año, ocurriendo especialmente en otoño. La textura del suelo oscila entre francoarenosa y arenosa. El agua de riego procedía de la acequia de Rascanya, procedente del río Turia ( $CE = 1.38 \text{ dS m}^{-1}$ ; SAR (ajustado) = 1.21; pH = 7.2). Debido a la normativa de distribución de agua, el riego de las parcelas sólo era posible de lunes a jueves. Las prácticas culturales seguidas fueron las habituales en la zona (Pascual et al., 1997). El abonado de fondo consistió en el aporte de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  de estiércol de ovino (57.2% materia seca; 60.9 materia orgánica) y  $90 \text{ g m}^{-2}$  de abono complejo 15:15:15 (N:  $P_2O_5$ ;  $K_2O$ ) el día antes de la plantación. El abonado de cobertera consistió en  $3.12 \text{ g m}^{-2}$  de N en forma de  $NO_3K$ , aplicado durante los dos primeros riegos del mes de julio en cada año.

En el primer estudio la plantación se realizó el 12 de abril de 2006, 8 de mayo en 2007 y 11 de abril en 2008; en el segundo estudio la plantación tuvo lugar el 12 de abril de 2006, el 9 de mayo de 2007 y el 10 de abril de 2008.

### 2.2-Manejo del riego

El contenido volumétrico de agua del suelo (CVAS) se monitorizó mediante sensores de capacitancia ECH2O EC-5, con software ECH2O Utility (Decagon Devices Inc., Washington, USA) conectados a un datalogger Em50 (Decagon Devices Inc., Washington, USA). Se colocó un sensor por estrategia de riego, en posición horizontal a 10 cm de profundidad (desde la cima del caballón). Los riegos se planificaron en base a la evolución de los valores del CVAS, ensayándose dos estrategias, H1 y H2. La estrategia H1 consistía en regar cada vez que el CVAS alcanzaba un valor igual al 45% de la capacidad de campo (CC), mientras que en la estrategia H2 se regaba al alcanzar el 60% de la CC. Las variaciones del CVAS fueron utilizadas para determinar in situ los valores correspondientes a la CC (Thompson et al., 2006) en cada parcela y experimento. El manejo de cada riego se realizó siguiendo el criterio del agricultor (de reconocida experiencia). El caudal se midió con un caudalímetro modular área-velocidad ISCO modelo 2150 (Teledyne ISCO Inc., Lincoln, Nebraska, USA) con software Flowlink 4.1 ISCO para Windows (ISCO 2150; Teledyne ISCO Inc., Lincoln, Nebraska, USA; fotografía 2.5). La precipitación fue registrada con pluviómetro (Decagon Devices Inc., Washington, USA) instalado junto al campus de la Universidad Politècnica de Valencia.

En la estrategia H2 se determinó la velocidad de infiltración antes de cada riego mediante un infiltrómetro de surco, construido según la metodología desarrollada por

Boundurant (1957). Los datos obtenidos en cada determinación se ajustaron mediante regresión potencial, obteniéndose los parámetros  $k$  y  $a$  de la ecuación de Kostiakov ( $z = k t^a$ ). El perfil del surco en cada riego se determinó con un perfilómetro construido según Walker y Skogerboe (1987), instalándose antes de cada riego y determinándose el perfil y el perímetro humedecido mediante la representación gráfica y la utilización del software AUTOCAD Map 3D 2010 (Autodesk, 2010), a partir de fotografías tomadas durante el riego (Walker y Skogerboe, 1987). En cada riego, y en 3 surcos en cada riego, se registraron los tiempos de avance y de recesión en cinco puntos del surco, que permitían, por una parte, determinar, las curvas de avance y de recesión reales y por otra estimar los indicadores del riego mediante la utilización del modelo de WinSRFR 3.1 (ALARC, 2009). Con la utilización de este programa, partiendo del parámetro  $a$  de la ecuación de Kostiakov, del caudal de entrada, del tiempo de aplicación, del coeficiente de Manning estimado en cada determinación, y de la lámina neta deseada, se determinaron la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución.

### 2.3- Estrategias de plantación

La plantación de las mesetas de dos (m) y tres (M) líneas de plantas se realizó con una “sembradora” de tres líneas adaptada a un tractor (en m eliminando una de las salidas de los tubérculos y recortando posteriormente la meseta con la sembradora trabajando en vacío), mientras que para la plantación de los caballones (C) se utilizó un motocultor y una sembradora tradicionales. Las mesetas se realizaron con una anchura tal que permitiera la recolección de los tubérculos con las cosechadoras existentes; concretamente la anchura en la parte alta de la meseta era de 90 cm (120 cm entre ejes) en M y de 50 cm (80 cm entre ejes) en m. En C, los caballones se distanciaron a 60 cm. Las dosis de plantación correspondientes a estos marcos fueron:  $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (M y m), y  $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (C). Los tubérculos se depositaron a aproximadamente 8 cm de profundidad y distanciados a unos 10 cm en las filas, distanciadas a su vez (en m y M) a 30 cm.

La estrategia de riego seguida fue la equivalente a H2. Con el objetivo fundamental (además de conocer la evolución del contenido de humedad del suelo) de comprobar si con el riego se llegaba a humedecer la zona central de la meseta M, se instalaron, horizontalmente a la profundidad de 10 cm, 2 sensores de capacitancia (ECH<sub>2</sub>O EC-5, Decagon Devices Inc., Washington, USA) con software ECH<sub>2</sub>O Utility (Decagon Devices Inc., Washington, USA) conectados a un *datalogger* Em50 (Decagon Devices Inc., Washington, USA), uno en la línea central de una meseta M y el otro en un C. En cada riego se regaban simultáneamente las mesetas y los caballones, con los mismos caudales (totales y unitarios) y tiempos de aplicación.

### 2.4- Diseño experimental y análisis estadístico

En ambos estudios, el diseño experimental fue en bloques al azar, con tres repeticiones. Los resultados han sido analizados mediante análisis de la varianza, utilizando el programa estadístico Statgraphics 5.1 plus (Statistical Graphics Cooperation, 2005). Cuando un efecto ha resultado significativo ( $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ ) se ha realizado la separación de medias mediante el test LSD a  $p \leq 0.05$ .

## 3- Resultados y discusión

### 3.1- Respuesta del cultivo a las estrategias de riego

En base a las evoluciones de los contenidos de humedad registrados, se determinó el valor de la CC en cada estrategia y experimento, cuyos valores, coincidentes en las dos estrategias de cada experimento, fueron  $0.28$ ,  $0.27$  y  $0.28 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$  en 2006, 2007 y 2008.

En la estrategia H1 se realizaron 11 riegos en cada experimento, con láminas de agua de riego durante todo el ciclo de cultivo de 937, 1008 y 1200 mm en 2006, 2007 y 2008, respectivamente, mientras que en H2 se realizaron 14, 15 y 13 riegos en 2006, 2007 y 2008,

con aportes de 1041, 1201 y 1320 mm. La lluvia supuso unos aportes de 158, 498 y 438 mm, durante los ciclos de cultivo de 2006, 2007 y 2008, respectivamente, siendo la precipitación anual promedio en la zona de 450 mm. Las lluvias registradas en la primavera de 2008 condujeron a la realización de pocos riegos en este período, mientras que las lluvias otoñales de 2007 y 2008 indujeron valores de CVAS mayores que en 2006 en otoño.

Los rendimientos medios obtenidos en la recolección (tabla 1) estuvieron comprendidos entre 1.82 y 2.41 kg·m<sup>-2</sup>, que son del mismo orden o superior al considerado como un buen rendimiento por los agricultores en la zona de producción (2.0 kg·m<sup>-2</sup>). Existieron diferencias (p≤0.05) entre los rendimientos medios obtenidos en los tres experimentos, correspondiendo el mayor valor a 2008 y el menor a 2006, que precisamente se realizaron en la misma parcela; en este sentido, es habitual la obtención de diferentes rendimientos tanto en años distintos en una misma parcela, como en un mismo año en parcelas muy próximas (Pascual et al., 1997). También resultó significativa la estrategia de riego (p≤0.01), con un mayor rendimiento en H2 (p≤0.05), que supuso un mayor aporte hídrico, lo que concuerda con los resultados obtenidos en experimentos paralelos realizados en riego localizado (Pascual-Seva et al., 2015) y que a su vez están de acuerdo con los resultados obtenidos en patata por Shock et al. (1998) y con lo indicado por Fereres (2008) en el sentido de que el rendimiento está estrechamente relacionado con la cantidad de agua aportada. El peso unitario se vio afectado tanto por la estrategia de riego (p≤0.05) como por el año experimental (p≤0.01), resultando significativa su interacción (p≤0.01). Del análisis de esta interacción se deduce que únicamente existieron diferencias entre los pesos unitarios de las dos estrategias, a favor de H2 en 2007 y 2008. Los valores de obtenidos en este estudio son similares a los obtenidos en riego localizado (Pascual-Seva et al., 2015). La eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR) no se vio afectada por la estrategia de riego, pero sí por el año de experimentación (p≤0.01), obteniéndose los valores mínimos (1.77 kg·m<sup>-3</sup>) y máximos (1.93 kg·m<sup>-3</sup>) en 2007 y 2008 respectivamente (en ambos casos con la estrategia H1). En cada campaña el incremento del riego supuso un incremento en el rendimiento (p≤0.01), manteniéndose prácticamente constante la EUAR.

**Tabla 1. Efecto del año de experimentación y de la estrategia de riego en el rendimiento en tubérculos, en el peso unitario de los tubérculos y en la eficiencia del uso del agua de riego (EUAR).**

	Rendimiento (kg·m <sup>-2</sup> )	Peso unitario (g)	EUAR (kg·m <sup>-3</sup> )
Año de experimentación (AE)			
2006	1.82 c	0.60 c	1.84 ab
2007	1.95 b	0.64 b	1.77 b
2008	2.41 a	0.66 a	1.91 a
Estrategia de riego (ER)			
H1	1.94 b	0.62 b	1.84
H2	2.18 a	0.64 a	1.84
ANOVA			
Parámetros(g.l.)			
Porcentaje de la suma de cuadrados			
AE (2)	74.3 **	61.6 **	41.6 *
ER (1)	17.1 **	11.7 **	0.1 ns
AE x ER (2)	2.3 ns	16.9 **	2.6 ns
Residual (12)	6.4	9.9	55.7
Desviación estándar	0.09	0.01	0.09

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según el test LSD (p≤0.05); ns: no significativa; \*: Nivel de significación p≤0.05; \*\*: Nivel de significación p≤0.01

Respecto al análisis de la bondad del riego en la estrategia H2, al determinar las funciones de infiltración de Kostiaikov, todos los valores determinados del parámetro *a*, están

dentro del rango 0.40 – 0.69. Todos los coeficientes de determinación obtenidos en los ajustes son elevados (superiores a 0.83), y con niveles de significación  $p \leq 0.01$ . El valor medio del caudal de entrada de los riegos de los experimentos de 2006, 2007, 2008 fue 0.98, 1.60, y 1.91  $L \cdot s^{-1}$ , respectivamente. En ningún caso se observó que se produjera erosión a causa de la velocidad alcanzada por el agua con los caudales utilizados.

Con el programa WinSRFR 3.1 se consiguió una adecuada modelización de los riegos, obteniendo los respectivos valores de eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución. Los valores medios de la eficiencia de aplicación conseguidos en todos los experimentos, fueron bajos: 35.4, 30.7 y 25.6%, respectivamente en los experimentos de 2006, 2007 y 2008 (considerando, en cada experimento, todos los riegos excepto el primero, por tener un comportamiento muy diferente). Las eficiencias de aplicación conseguidas en los primeros riegos fueron todavía más bajas, 13.3, 20.6, y 13.5%, respectivamente. Estos valores son netamente inferiores a los que pueden obtenerse en riegos por surcos según la bibliografía actual (65 – 75%; Solomon et al., 2007) y clásica [40-50% en riegos por surcos en suelos arenosos con una adecuada nivelación, y hasta 65% en suelos de textura media (Keller, 1965); 57% según el ILRI (Doorenbos y Pruitt, 1976), 55 – 70% según el USDA-SCS (Kruse y Heermann, 1977); 85-90% según (Elliot y Walker, 1982)]. No obstante, si se considera la pequeña lámina neta utilizada en estos experimentos, 22 mm, las eficiencias conseguidas son acordes con los datos presentados en la bibliografía; en efecto Keller (1965) presentó en una gráfica la relación lineal entre las eficiencias obtenidas en diferentes métodos de riego y la lámina de agua almacenada en el suelo, y concretamente en el riego por surcos en pendiente, para una lámina almacenada de 25 mm presentaba una eficiencia de aplicación del orden del 10%, es decir algo inferior a la obtenida en los primeros riegos de nuestros experimentos, y muy inferior a las obtenidas en los restantes riegos.

En cuanto a la uniformidad de distribución, se obtuvo una gran uniformidad en los resultados medios de cada experimento (excluidos el primer riego de cada experimento), 0.62 en 2006, 0.54 en 2007, y 0.61 en 2008. Los valores obtenidos en los primeros riegos de cada experimento fueron todavía más elevados, 0.93, 0.74, y 0.81, lo que es lógico, dadas los elevados aportes, 169, 114, y 164 mm.

La optimización del caudal de entrada y del tiempo de aplicación realizada con el programa WinSRFR 3.1, considera como combinación óptima la que maximiza tanto la eficiencia de aplicación como la uniformidad de distribución. Los valores medios de las eficiencias de aplicación obtenidas (exceptuando el primer riego) fueron de 83.9, 78.4, y 81.0% correspondientes respectivamente a los experimentos de 2006, 2007, y 2008. No obstante, más interesante que conocer los valores de los parámetros concretos para cada riego (porque cada evento del riego es irrepetible), es conocer las tendencias y las relaciones entre los parámetros. Por ello se ha obtenido una ecuación que relaciona el tiempo de aplicación (min) con el caudal unitario ( $L \cdot s^{-1}$ ):

$$T_a = 19.844 \cdot Q_u^{-0.9074} \quad (R^2 = 0.8807; p \leq 0.01)$$

Esta ecuación permitiría elegir el tiempo de aplicación en función del caudal de entrada disponible en cada caso, de manera, que en promedio, se maximizaría la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución. Esta expresión fue validada durante la campaña de 2011, obteniéndose valores de la eficiencia de aplicación entre 65.8 y 75.5%

### 3.2- Respuesta del cultivo a las estrategias de plantación

Se han obtenido unas diferencias muy importantes entre los valores medios de los volúmenes de agua de riego correspondientes a C (1108 mm), m (831 mm) y M (554 mm), dado que los tres tipos de plantación se regaban simultáneamente, utilizando los mismos caudales y tiempos, siendo el número de surcos por unidad de área en M (m) la mitad (el

75%) que en C, por lo que el volumen de agua aportado en el riego fue la mitad (el 75%) en M (m) que en C.

La cosechadora funcionó muy bien en las mesetas M, porque la anchura de estas mesetas (120 cm) estaba adaptada a las dimensiones del cabezal de la cosechadora, pero su funcionamiento en las mesetas m mejoraría estrechando el cabezal a la misma anchura de la meseta (80 cm entre ejes), o mejor todavía aumentando esta anchura a 160 cm, lo que permitiría cosechar dos mesetas por pasada, reduciendo a la mitad el número de pases de la cosechadora. También podría resultar interesante reducir la anchura de la meseta a unos 70 cm y aumentar la anchura del cabezal de la cosechadora a 140 cm.

El rendimiento fue afectado ( $p \leq 0.01$ ) por el año de experimentación, por el tipo de plantación, y por su interacción (tabla 2). El rendimiento obtenido en 2007 ( $2.20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) fue muy inferior a los obtenidos en 2006 ( $2.81 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) y en 2008 ( $2.78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ). El menor rendimiento obtenido en el experimento de 2007 puede estar relacionado con el retraso de la plantación; en este sentido Pascual et al. (2000) aconsejaron adelantar las plantaciones, porque el rendimiento se incrementa al ampliar el ciclo de cultivo adelantando la plantación. Concretamente, la plantación de 2007 se realizó con 27 y 29 días de retraso con respecto a 2006 y 2008.

**Tabla 2. Efecto del año de experimentación y del tipo de plantación [caballones (C), mesetas de dos (m) y de tres (M) líneas de plantación] en el rendimiento, el peso unitario de los tubérculos y la eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR).**

	Rendimiento ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )		Peso unitario (g)		EUAR ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	
Año de experimentación (AE)						
2006	2.81	a	0.62		3.73	a
2007	2.20	b	0.61		3.09	c
2008	2.78	a	0.64		3.33	b
Tipo de plantación (TP)						
C	2.47	b	0.61		2.23	c
m	2.80	a	0.64		3.38	b
M	2.52	b	0.62		4.55	a
ANOVA						
			Porcentaje de la suma de cuadrados			
Parámetros (g.l.)						
AE (2)	65.4	**	11.5	ns	6.9	**
TP (2)	18.1	**	8.3	ns	89.9	**
AExTP(4)	10.2	**	7.3	ns	1.6	*
Residual (18)	6.4		72.9		1.6	
Desviación estándar	0.11		0.04		0.15	

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) según el test LSD; ns: no significativa; \*: Nivel de significación  $p \leq 0.05$ ; \*\*: Nivel de significación  $p \leq 0.01$

En cuanto al tipo de plantación el rendimiento medio obtenido en m ( $2.80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) fue muy elevado en relación con los obtenidos en C ( $2.47 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) y en M ( $2.52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ). El rendimiento medio obtenido en C fue similar al máximo absoluto obtenido por los agricultores ( $2.40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), por tanto el rendimiento obtenido en m puede ser considerado como muy elevado (13.4% mayor que en C). En cuanto a la interacción, el rendimiento obtenido en m fue mayor que el obtenido en C en los tres experimentos, mientras que únicamente en 2006 fue mayor que el obtenido en M; el rendimiento obtenido en M fue mayor que el obtenido en C únicamente en 2007.

De acuerdo con Caliskan et al. (2009), para maximizar el rendimiento de tubérculos es muy importante optimizar la densidad de plantación, porque un valor excesivo de la misma provoca una competencia entre las plantas por los factores de la producción, como la radiación solar, agua y nutrientes, mientras que una densidad de plantación demasiado baja

provoca un bajo aprovechamiento de los mismos. En este estudio, el rendimiento se incrementó con la densidad de plantación, hasta un cierto nivel de la misma, al igual que ha sido citado en otras plantas cultivadas por sus tubérculos, bulbos y raíces, como patata (Caliskan et al., 2009), cebolla (Brewster y Salter, 1980) y zanahoria (McCollum et al., 1986). En el presente estudio la densidad de plantación está directamente relacionada con el tipo de plantación, mesetas o caballones, pero en varios estudios donde se han analizado por separado ambos factores, se concluye que aunque el efecto del tipo de plantación no resulta tan evidente como el de la densidad de plantación, la realización de mesetas parece prometedora en determinadas situaciones (Essah y Honeycutt, 2004), si se dispone de maquinaria adecuada (Mundy et al., 1999). No se han detectado diferencias en cuanto al peso unitario entre tipos de plantación ni entre años de experimentación. Los valores de peso unitario de los tubérculos (0.61-0.64 g) son similares a los obtenidos en resultados ya presentados en el primer estudio.

La EUAR fue afectada ( $p \leq 0.01$ ) por el año de experimentación, el tipo de plantación y por su interacción. En 2006 se obtuvo mayor EUAR ( $3.73 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) que en 2007 ( $3.09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y 2008 ( $3.33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), consecuencia del mayor rendimiento obtenido respecto a 2007 y al menor riego respecto al 2008; al analizar la interacción se observa que estas diferencias fueron significativas únicamente en C y en m. En cuanto al tipo de plantación, existieron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) entre los valores de EUAR de los tres tipos de plantación, M, m y C ( $4.55$ ,  $3.38$ , y  $2.23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , respectivamente), en las tres campañas de experimentación, debido a las grandes diferencias entre los riegos aportados en los tres tipos de plantación. Tal y como se ha indicado anteriormente, la EUAR tiende a disminuir con el incremento del riego, de acuerdo con los resultados obtenidos en el cultivo de la patata por Yuan et al. (2003) y por Shahnazari et al. (2007); probablemente una considerable proporción del volumen de agua aportado en el riego no es consumida por la evapotranspiración, y según reportaron Tolk y Howell (2003), cuando se aportan grandes volúmenes, únicamente una pequeña fracción del agua aportada es aprovechada en el incremento del rendimiento. Los valores de la EUAR obtenidos en C ( $2.23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) son superiores a los obtenidos en el estudio realizado paralelamente en riego por surcos, debido a los mayores rendimientos obtenidos en el presente estudio.

Respecto a las diferentes líneas de plantación de las mesetas, no existieron diferencias en ninguno de los parámetros analizados (datos no mostrados). Contrariamente a la creencia generalizada, en la línea central no se obtuvo un menor rendimiento, ni tubérculos más pequeños en relación a las otras dos líneas de plantación. Estos resultados coinciden con lo obtenido en el cultivo de la patata por Mundy et al. (1999) y de la zanahoria por White (1994), en el sentido de que la posición de la línea de plantación no afectó a su rendimiento.

#### **4- Conclusiones y recomendaciones**

Dentro del rango ensayado, con las estrategias que suponen el mantenimiento de un mayor contenido volumétrico del agua en el suelo se ha incrementado el rendimiento (del orden del 13%) y el peso unitario de los tubérculos (del orden del 3%), sin afectar a la eficiencia en el uso del agua de riego.

La eficiencia de aplicación obtenida con el manejo habitual de los agricultores está en torno al 30%. Se ha obtenido una relación de los valores optimizados de caudal unitario y tiempo de aplicación, con la aplicación de la cual se ha obtenido elevados valores teóricos de la eficiencia de aplicación, en torno al 70%, que han sido confirmados en la práctica.

Con respecto a la utilización de mesetas de dos y tres líneas de plantación se han obtenido mayores valores del rendimiento (hasta del 13% en el caso de las mesetas de dos líneas) y de la eficiencia en el uso del agua de riego (hasta del 104% en las mesetas de tres líneas), debido esto último especialmente al ahorro en la lámina de agua de riego aportada.

## 5- Bibliografía

- ALARC (Arid Land Agricultural Research Center) (2009). WinSRFR 3.1 User Manual. U.S. Department of Agriculture - Agricultural Research Service – ALARC. Maricopa, Arizona, USA.
- Autodesk. 2010. AutoCAD Map 3D (2010). User's guide. Autodesk Inc., San Rafael, California, USA.
- Boundarant, J.A. (1957). Developing furrow infiltrometer. *Agricultural Engineering*, 38,602-604.
- Brewster, J.L. & Salter, P.J. (1980). The effect of plant spacing on the yield and bolting of two cultivars of overwintered bulb onions. *Journal of Horticultural Science*, 55,97-102.
- Caliskan, M.E., Kusman, N. & Caliskan S. (2009). Effects of plant density and yield components of true potato seed (TPS) hybrids in early and main crop potato production systems. *Field Crops Research*, 114,223-232.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. (1976). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. FAO, Roma, Italia.
- Elías, F. & Ruiz, L. (1977). Agroclimatología de España. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Elliot, R.L. & Walker, W.R. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*, 25,396-400.
- Essah, S.Y.C. & Honeycutt, C.W. (2004). Tillage and seed-sprouting strategies to improve potato yield and quality in short season climates. *American Journal of Potato Research*, 81,177-186.
- Fereres, E. (2008). The future of irrigation in horticulture. *Chronica Horticulturae*, 48,9-11.
- Keller, J. (1965). Effect of irrigation method on water conservation. *Journal of the Irrigation and Drainage*, 91,61-72.
- Kruse, E.G. & Heermann, D.F. (1977). Implications of irrigation system efficiencies. *Journal of Soil and Water Conservation*, 32,465-470.
- McCollun, T.G., Locascio, S.J. & White, J.M. (1986). Plant density and row arrangement effect on carrot yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111,648-651.
- Mundy, C., Greamer, N., Crozier, C.R. & Wilson, L.G. (1999). Potato production on wide beds: impact on yield and selected soil physical characteristics. *American Journal of Potato Research*, 76,323-330.
- Pascual, B., Maroto, J.V., López-Galarza, S., Alagarda, J. & Castell Zeising V. (1997). El cultivo de la chufa. Estudios realizados. Generalitat Valenciana, Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia.
- Pascual, B., Maroto, J.V., López-Galarza, S., San Bautista, A. & Alagarda, J. (2000). Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.): an unconventional crop. Studies related to applications and cultivation. *Economic Botany*, 54,439-448.
- Pascual-Seva, N., San Bautista, A., López-Galarza, S., Maroto, J.V. & Pascual, B. (2015). Response of nutsedge (*Cyperus esculentus* L. var *sativus* Boeck.) tuber production to drip irrigation based on volumetric soil water content. *Irrigation Science*, 33, 31-42.
- Shahnazari, A., Liu, F. Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. & Jensen, C.R. (2007). Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100,117-124.
- Shock, C.C., Feibert, E.B.G. & Saunders, L.D. (1998). Potato yield and quality response to deficit irrigation. *HortScience*, 33,655-659.
- Solomon, K.H., El-Gindy, A.M. & Ibatullin, S.R. (2007). Planning and system selection, p. 57-75. In: Hoffman, G.J., Evans, R.G., Jensen, M.E., Martin, D.L. Elliot, R.L. (eds.). Design and operation of Farm irrigation systems. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
- Statistical Graphics Corporation. (2005). Statgraphics Plus for Windows 5.1. Statistical Graphics, Rockville, Maryland, USA.



- Thompson, R.B., Gallardo, M., Agüera, Valdez, L.C. & Fernández, M.D. (2006). Evaluation of the watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. *Irrigation Science*, 24,185-202.
- Tolk, J.A. & Howell, T. (2003). Water use efficiencies of grain sorghum grow in three USA southern Great Plains soils. *Agricultural Water Management*, 59, 97-111.
- Walker, W.R. & Skogerboe, G.V. (1987). *Surface irrigation. Theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Yuan, B.Z., Nishiyama, S. & Kang, Y. (2003). Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural Water Management*, 63,153-167.