

UN NUEVO MODELO DE GESTIÓN DEL RIEGO DEL CULTIVO DE LA FRESA EN LA PROVINCIA DE HUELVA

Lozano, D. (1) (P), Ruíz, N. (2), Gavilán, P. (3)

¹ Investigador contratado, IFAPA- Alameda del Obispo, david.lozano@juntadeandalucia.es

² Técnico especialista, IFAPA- Alameda del Obispo, natividad.ruiz.baena@juntadeandalucia.es

³ Investigador titular, IFAPA- Alameda del Obispo, pedrod.gavilan@juntadeandalucia.es

Resumen

La producción de fresas en la provincia de Huelva tiene dos características principales: la generación de riqueza, se crean unos 80.000 puestos de trabajo por campaña, y la localización en una zona ambientalmente sensible, casi el 75% del total de la producción se sitúa en los alrededores del Parque Nacional de Doñana. Para acometer el reto de la gestión sostenible de los recursos hídricos empleados en la producción de fresas, el IFAPA ha realizado trabajos de experimentación en fincas comerciales durante las campañas 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015. Los trabajos han abordado el cálculo de las necesidades de riego de la fresa, el análisis de la influencia del caudal de la cinta de riego, el cálculo de la duración óptima de los pulsos de riego y la generación de calendarios de riego basados en el pronóstico meteorológico. El objetivo del trabajo fue generar y transferir un modelo de gestión del riego de la fresa que integre en la programación del riego los aspectos agronómicos locales y las características estáticas y dinámicas de los sistemas de riego, incluyendo a su vez un pronóstico de las variables meteorológicas que afectan al cálculo de las necesidades de agua de la fresa.

Abstract

Strawberry production in the province of Huelva has two main features: the generation of wealth, 80,000 jobs per season, and the location in an environmentally sensitive area, almost 75% of total production is located around the Doñana National Park. IFAPA has carried out experimental works on commercial farms during the campaign 2012/2013, 2013/2014 and 2014/2015. The main objective was to address the challenge of sustainable management of water resources used in the production of strawberries. The works are related to calculation of strawberry water requirements, sensitive analysis of the irrigation tape flow, optimal duration of irrigation pulses and generation of irrigation schedules based on meteorological forecasts. The main aim of this study was to develop a management model that integrates into irrigation scheduling local agronomic parameters, static and dynamic characteristics of irrigation systems and a forecast of the meteorological variables that affect the calculation of strawberry water requirements.

1- Introducción

La fresa de Huelva genera mucha riqueza y empleo, pero la producción está localizada en su mayor parte en una zona de alto valor ecológico. El IFAPA, como organismo de I+D+F de la Junta de Andalucía, fue consciente desde hace años de que el futuro del sector fresero pasaba por una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos empleados en la agricultura. Por ello, en estos últimos cinco años ha dedicado una importante cantidad de recursos humanos y económicos a la generación de conocimiento

técnico que pueda ser transferido a los regantes para alcanzar una gestión eficiente del agua de riego (Gavilán *et al.*, 2015; Lozano *et al.*, 2016; Martínez-Ferri *et al.*, 2015).

Para regar bien cualquier cultivo es necesario: 1) conocer sus necesidades de agua (cuánto regar), 2) conocer el funcionamiento y las potencialidades del sistema de riego (cómo regar) y 3) realizar una adecuada programación de los riegos (cuándo regar). Por tanto, cualquier modelo de gestión del riego basado en criterios racionales debe considerar estos tres aspectos de forma conjunta. Para calcular las necesidades de agua del cultivo, la metodología más ampliamente aceptada y utilizada es la desarrollada por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977). Esta metodología permite conocer las necesidades de riego a través del cálculo la evapotranspiración del cultivo (ET_c). La ET_c es función de un indicador de la demanda evaporativa de la atmósfera, la evapotranspiración de referencia (ET_o), y de una variable, el coeficiente de cultivo (K_c), que integra el estado de desarrollo de la fresa y el sistema de cultivo. Además, para alcanzar un uso eficiente del agua se necesita un sistema de riego con un alto grado de control y flexibilidad en la aplicación del agua. El riego localizado tiene ambas potencialidades, por lo que, a priori, es el sistema de riego más eficiente. Sin embargo, a pesar de que la fresa en Huelva se riega en su totalidad con sistemas de riego localizado, el rango de aplicación de agua en el entorno del P.N. de Doñana varía entre 4.000 y 15.000 m³ ha⁻¹ (García-Morillo, 2015). El amplio rango de volúmenes de riego aplicado por los agricultores indica que el uso del riego localizado ‘per se’ no es garantía de un uso eficiente del agua. Igualmente advierte de que hay regantes que no utilizan el agua de riego de forma eficiente. Por ello, el objetivo de este trabajo es generar y transferir un modelo de gestión del riego de la fresa de Huelva que integre en la programación del riego los aspectos agronómicos locales, las características estáticas y dinámicas de los sistemas de riego y, a su vez, un pronóstico de las variables meteorológicas que afectan al cálculo de las necesidades de agua de la fresa.

2- Materiales y métodos

2.1 Descripción del lugar de los ensayos

Los ensayos se realizaron en cuatro fincas comerciales de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) de la provincia de Huelva: ‘Corralizas’, ‘La Antena’, ‘Álamo’ y ‘Cuínes’. Todas ellas localizadas cerca de la Aldea de El Rocío (Almonte, Huelva) (longitud 6°29’ Oeste, latitud 37°07’ Norte y 75 m s.n.m.) (Figura 1). El clima de la zona es Csa (clasificación de Köppen-Geiger) con un valor medio de lluvia anual de 467 mm. Los valores medio, máximo y mínimo de temperatura anual son 17.8, 36.5 y 14.1°C, respectivamente. Los suelos de las cuatro fincas comerciales tienen un alto contenido en arena (Tabla 1).

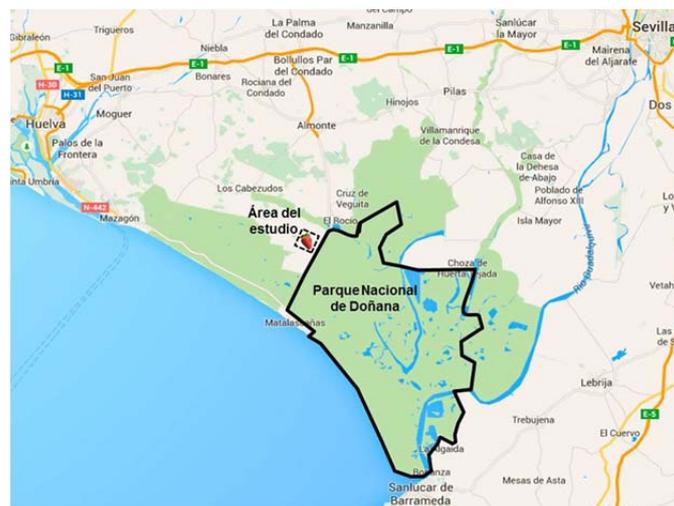


Figura 1. Localización de los ensayos de producción de fresa en el entorno del P.N. de Doñana, Almonte, Huelva.

Tabla 1. Composición de los suelos en las fincas donde se realizaron los ensayos.

Finca	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
Corralizas	90	10	0
La Antena	92	4	4
Álamo	90	5	5
Cuínes	92	4	4

2.2 Descripción de los ensayos.

Toda la información referente a los años y las fincas donde se realizaron los ensayos, las variedades empleadas, las fechas de plantación, forzado del cultivo, inicio y fin de cosecha, así como la dimensión de los túneles invernadero, el número de lomos por túnel, la distancia entre lomos y entre plantas y los tratamientos, puede verse en la Tabla 2. Cada ensayo tuvo tres tratamientos y cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Cada repetición se realizó en un túnel completo, lo que permitió comparar la producción del tratamiento con la producción de la finca. Todos los ensayos tuvieron dos filas de plantas por lomo y camas sobre las que se plantó la fresa de 0.6 m de base, 0.5 m en parte alta y 0.5 m de altura. A excepción del ensayo de cintas de riego, el caudal de la cinta de riego empleada en los ensayos fue de $5 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-1}$. En todos los ensayos, salvo en el de fertilización (Finca 'Cuínes', 2014/2015), el agricultor decidió sobre todas las tareas agronómicas a realizar a excepción del riego, controlado en todos los ensayos por los autores de este trabajo.

Tabla 2. Características de los ensayos de las campañas 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015.

Año	Variedad	Finca	Fechas de campaña				Sistema de cultivo			Tratamientos			
			Plantación	Forzado	Cosecha Inicio	Cosecha Final	Túnel (m ²)	Lomos/Túnel	Distancia Lomos (m)	Distancia Plantas (m)	T1	T2	T3
12/13	<i>Sabrina</i>	Corralizas	09/10	10/11	09/01	06/06	70x6.6	6	1.1	0.25	100 ET _c	1.25 T1	1.5 T1
12/13	<i>Antilla</i>	Antena	15/10	19/11	20/01	12/06	51x7.2	6	1.2	0.25	100 ET _c	1.25 T1	1.5 T1
13/14	<i>Sabrina</i>	Corralizas	11/10	11/11	08/01	14/05	70x6.6	6	1.1	0.25	5 min	10 min	15 min
13/14	<i>Sabrina</i>	Antena	12/10	09/11	16/01	15/05	51x7.2	6	1.2	0.27	5 min	10 min	15 min
13/14	<i>Antilla</i>	Álamo	22/10	17/11	02/02	12/05	51x6.6	5	1.2	0.25	2.5 l/h/m	3.8 l/h/m	5 l/h/m
14/15	<i>Fortuna</i>	Cuínes	12/10	10/11	18/12	29/05	56x7.2	6	1.2	0.27	CEfinca	1.25 T1	1.5 T1
14/15	<i>Victory</i>	Álamo	19/10	18/11	19/12	26/05	60x6.6	6	1.1	0.25	Gel 60kg/ha	Gel 40kg/ha	Sin Gel
14/15	<i>Victory</i>	Corralizas	16/10	15/11	17/12	27/05	70x6.6	6	1.1	0.25	Prono Semanal	Prono Diario	0.9 T1

Campaña 2012/2013

Conocer las necesidades de agua de la fresa en las condiciones de cultivo de Huelva fue el objetivo principal de este primer año de ensayos. Para calcular las necesidades de riego de la fresa es necesario conocer la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Para obtener valores reales de ET_c se realizaron dos ensayos. La ET_c se obtuvo mediante un balance de agua en el suelo. El drenaje se midió usando lisímetros de drenaje. El cálculo de la ET_c se realizó por diferencia entre el agua aplicada a través del riego y el agua drenada en los lisímetros. Los cálculos se hicieron con un balance quincenal. Se instaló un lisímetro de 1.4 x 0.30 x 0.62 m por tratamiento. Uno de los ensayos se realizó en la finca 'Corralizas', con la variedad *Sabrina*, y el otro en la finca 'La Antena', con la variedad *Antilla*. El primer tratamiento (T1_100ET_c) aplicó una dosis de riego suficiente para satisfacer las necesidades de agua del cultivo. La dosis de riego a aplicar se obtuvo a partir de datos de ET_o obtenidos de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (Gavilán *et al.*, 2008) y de coeficientes de cultivo tomados de la

bibliografía existente (Hanson y Bendixen, 2004; Allen *et al.*, 1998). El tratamiento T2_1.25T1 y el tratamiento T3_1.5T1 aplicaron un 25% y un 50% más que T1 respectivamente.

Campaña 2013/2014

Conocer la influencia del sistema y la programación del riego en la producción final de fresa fue el objetivo del segundo año de ensayos. Las características principales del sistema de riego son: el tipo de gotero, el caudal de la cinta de riego, la presión de trabajo, la topografía y el tamaño de la unidad de riego. Por otro lado, la programación del riego en cultivos hortícolas y suelos muy arenosos se ve condicionada en gran medida por la duración del pulso de riego, pues la duración del pulso de riego afecta a la uniformidad de distribución del agua y a la frecuencia de aplicación del riego (Lozano *et al.*, 2014).

Para conocer la influencia del caudal de la cinta de riego en la producción de fresa se realizó un ensayo en la finca 'Álamo' con la variedad *Antilla*. El ensayo tuvo tres tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Cada tratamiento se regó con una cinta de riego de diferente caudal. El primer tratamiento (T1_2.5lhm) se regó con una cinta de riego de 2.5 l h⁻¹ m⁻¹, mientras que en el segundo (T2_3.8lhm) y tercer tratamiento (T3_5lhm) se usaron cintas de 3.8 y 5 l h⁻¹ m⁻¹, respectivamente.

Para conocer la influencia de la duración del pulso de riego sobre la producción, se plantearon dos ensayos. Los tratamientos T1_5min, T2_10min y T3_15min regaron con pulsos de riego de 5, 10 y 15 minutos respectivamente. Todos los tratamientos aplicaron la misma dosis diaria de riego. La dosis de riego se calculó midiendo la cobertura del cultivo y utilizando la relación entre cobertura y coeficiente de cultivo obtenida el año anterior (Lozano *et al.*, 2016). Las eficiencias de aplicación utilizadas garantizaron que el riego no fuera deficitario.

Además, en la finca 'Álamo' se realizaron evaluaciones de la uniformidad de distribución del agua de riego. La metodología empleada para la realización de la evaluación está descrita en Lozano *et al.* (2014). El indicador utilizado fue la uniformidad de distribución del menor cuarto, (Merriam y Keller, 1978):

(1)

donde:

$V_{25\%}$: media del volumen recogido en la cuarta parte de los goteros que aplican menos agua
: media del volumen recogido en todos los goteros evaluados

Campaña 2014/2015

Durante la campaña 2014/2015 se realizaron dos ensayos de producción para evaluar la programación del riego con pronóstico meteorológico en base semanal. Un ensayo tuvo lugar en la finca 'Álamo' y otro en la finca 'Cuínes'. En la finca 'Álamo' se ensayaron tres tratamientos para probar la efectividad del gel H-3 HIDROMAX®. En los tratamientos T1_Gel60 y T2_Gel40 se aplicó al suelo el gel H-3 HIDROMAX® en concentraciones de 60 y 40 kg ha⁻¹ respectivamente. En el tratamiento T3_SinGel no se aplicó gel. En la finca 'Cuínes' se ensayaron tres tratamientos con diferentes dosis de fertilización basadas en conductividad eléctrica (CE). El primer tratamiento tuvo la misma CE que la finca (T1_CEFinca), el segundo tratamiento tuvo un 25% más CE que la finca (T2_1.25T1) y el tercer tratamiento tuvo un 50% más CE que la finca (T3_1.5T1).

Igualmente, durante la campaña 2014/2015, se realizó un ensayo de producción de fresa para evaluar el pronóstico meteorológico en base semanal frente a otras opciones de programación del riego. El primer tratamiento tuvo una programación del riego con pronóstico meteorológico en base semanal (T1_Semanal), el segundo tratamiento tuvo una programación del riego con pronóstico meteorológico en base diaria (T2_Diario) y el tercer tratamiento aplicó un 90% del agua programada para T1 (T3_0.9T1).

Productividad del riego

La productividad del riego de los veinticuatro tratamientos planificados en los ocho ensayos de producción se evaluó utilizando el siguiente indicador (Pereira *et al.*, 2012):

3. Resultados y discusión

3.1 Campaña 2012/2013

Los ensayos realizados durante la campaña 2012/2013 permitieron la determinación de las necesidades de riego de la fresa de Huelva con mayor precisión. En primer lugar, se probó con éxito la metodología para el cálculo de la ET_o bajo plástico desarrollada por Fernández *et al.* (2010) para los invernaderos de Almería. En segundo lugar, se obtuvieron coeficientes de cultivo adaptados a las condiciones de Huelva, con valores máximos, 1.1, notablemente superiores a los descritos en la bibliografía a fecha del ensayo, 0.7 (Hanson y Bendixen, 2004), 0.85 (Allen *et al.*, 1998). Así mismo, se calculó la ET_c para las variedades *Sabrina*, 441 mm, y *Antilla*, 352 mm, en una campaña de 240 días utilizando lisímetros de drenaje. Por último, se estableció una relación entre el K_c y el porcentaje de cobertura que permite el cálculo del coeficiente de cultivo en futuras campañas independientemente de la fecha de siembra o la variedad cultivada (Figura 2).

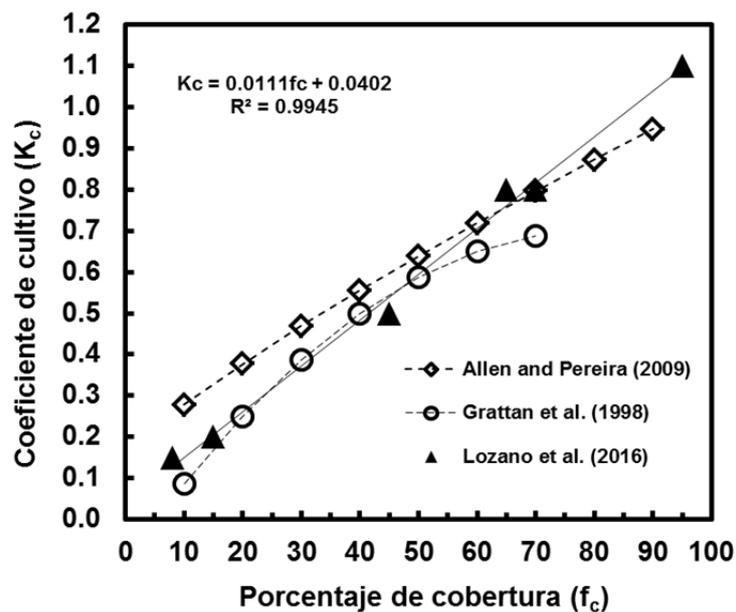


Figura 2. Relación entre el coeficiente de cultivo (K_c) y el porcentaje de cobertura (f_c) obtenido por Lozano *et al.* (2016), Allen y Pereira (2009) y Grattan *et al.* (1998).

Los resultados de los ensayos indican que el exceso de riego aplicado en los tratamientos T2_1.25T1 y T3_1.5T1 no tuvo ningún beneficio en términos de aumento de la producción (Figura 3a,b). De hecho, las producciones de todos los tratamientos de la campaña 2012/2013 alcanzaron el potencial de producción de la finca. La variedad *Sabrina* en la finca 'Corralizas' alcanzó producciones de 78 t ha^{-1} (Figura 3a). La variedad *Antilla* en la finca 'La Antena' alcanzó producciones de 50 t ha^{-1} (Figura 3b). Las diferencias de producción entre los dos ensayos fueron consecuencia, principalmente, de la diferente variedad empleada. Aunque la cosecha comenzó a mediados de enero, la duración de la campaña fue de 240 días (Tabla 2). Esta mayor duración hizo que los valores de producción máximos de *Sabrina* y *Antilla* se alcanzaran en la campaña 2012/2013.

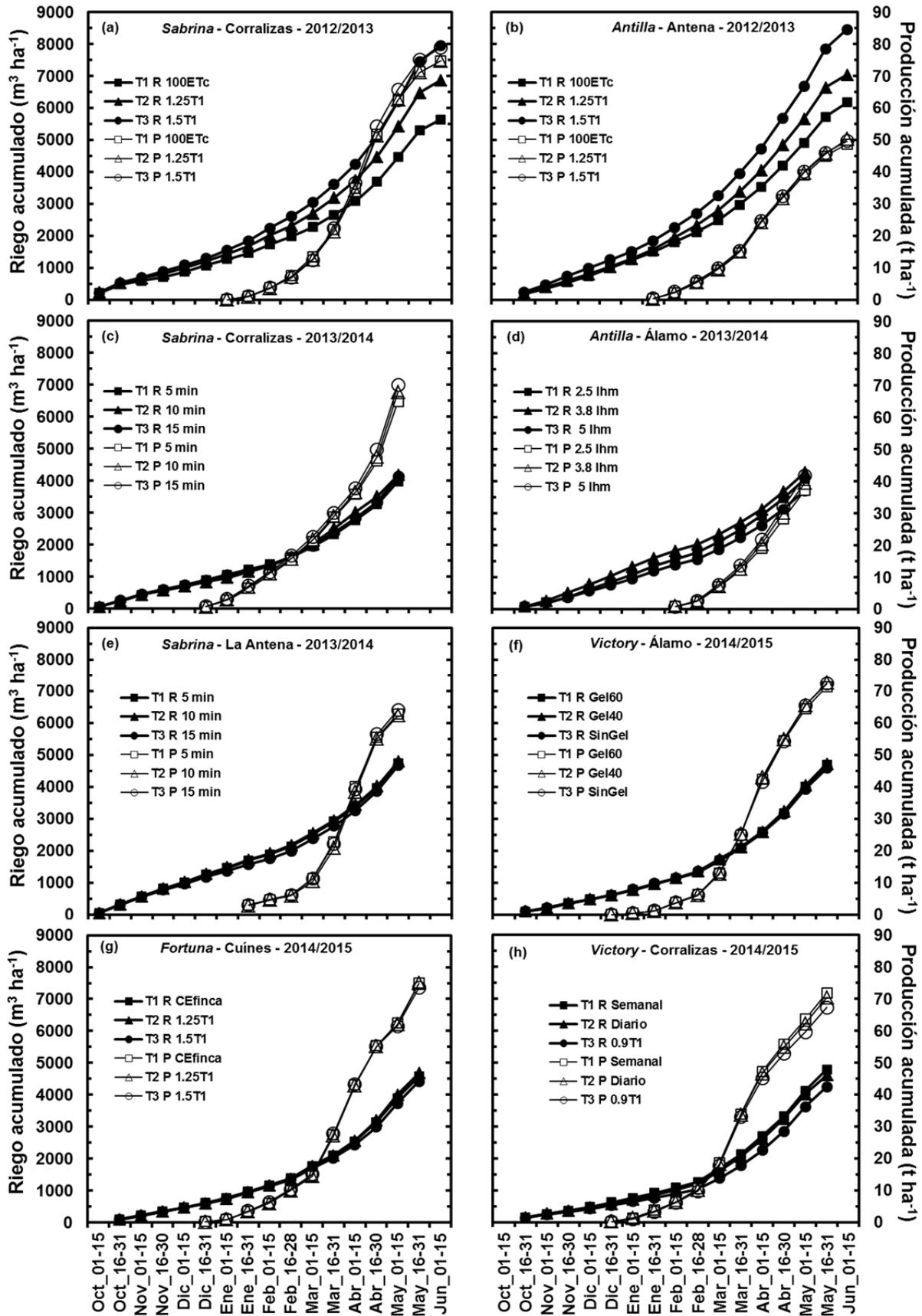


Figura 3. Riego (R) y producción (P) en base quincenal de los ocho ensayos realizados durante las campañas 2012/2013 (a,b), 2013/2014 (c,d,e) y 2014/2015 (f,g,h)

3.2 Campaña 2013/2014

Los ensayos de producción de la campaña 2013/2014 se caracterizaron por emplear menores dosis de riego que en 2012/2013. Aunque la duración de la campaña 2013/2014 fue sensiblemente menor a la 2012/2013 (Tabla 2), la menor dosis de riego empleada en todos los tratamientos (Figuras 3c,d,e), se debió fundamentalmente a una mejora en la programación del riego fruto del conocimiento adquirido durante la campaña anterior. Sin embargo, estas menores dosis de riego alcanzaron los valores de producción potencial de las fincas en la campaña 2013/2014. La variedad *Sabrina* en la finca 'Corralizas' alcanzó producciones de 70 t ha⁻¹ (Figura 3c). La variedad *Antilla* en la finca 'Álamo' alcanzó producciones de 41 t ha⁻¹ (Figura 3d). La variedad *Sabrina* en 'La Antena' alcanzó producciones de 64 t ha⁻¹ (Figura 3e). Igualmente, las diferencias de producciones entre ensayos se debieron a las diferentes variedades y densidades de plantación (Tabla 2). *Sabrina* tuvo en ambas fincas producciones en torno a los 1000 g planta⁻¹. Sin embargo, la menor densidad de plantación en la finca 'La Antena' respecto a la finca 'Corralizas', hizo que en términos de producción por superficie plantada se alcanzarán mayores producciones en la finca 'Corralizas'.

Por otro lado, los ensayos realizados durante la campaña 2013/2014 permitieron determinar la influencia de la duración del pulso del riego y del caudal de las cintas de riego sobre la producción de fresas. La duración del pulso de riego óptimo en las condiciones de producción de Huelva está condicionada por los diferentes valores de uniformidad de distribución del agua de riego. A igualdad del resto de factores (presión, tamaño de la unidad de riego, topografía), cada cinta de riego tiene asociada una uniformidad de distribución del agua en función de la duración del pulso de riego. Esto es debido, fundamentalmente, a la influencia de los tiempos de llenado y vaciado de las tuberías. A menor duración del pulso de riego menor es la uniformidad de distribución, tal y como se ve en la Figura 4.

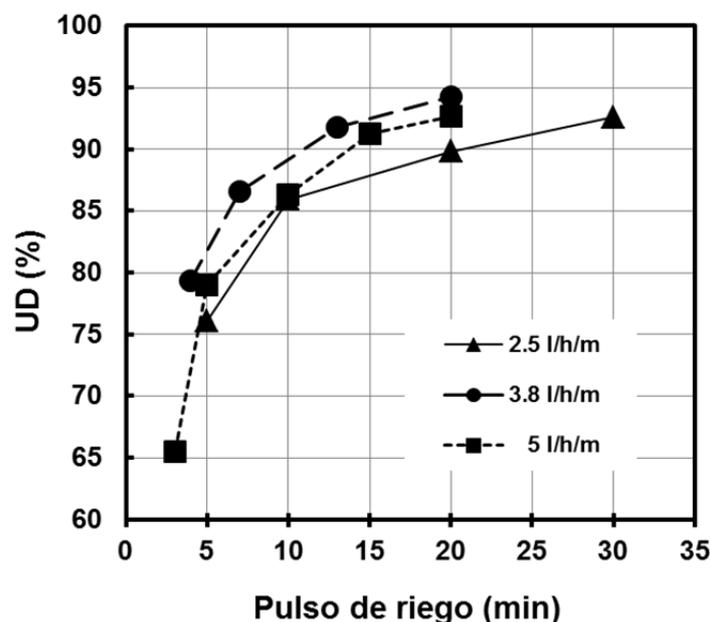


Figura 4. Uniformidad de distribución, *UD* (%), en función de la duración del pulso de riego (min) para cintas de riego con caudales de 2.5, 3.8 y 5 l h⁻¹ m⁻¹

La evaluación de la *UD* en el ensayo de la variedad *Antilla* en la finca 'Álamo' durante campaña 2013/2014, ha permitido generar una herramienta de evaluación de la duración óptima del pulso del riego. La *UD* para un sistema de riego localizado se considera excelente si es superior al 95% y buena si está en el rango del 85% al 95%, no siendo aceptables valores inferiores al 85%. En todos los casos, un aumento del tiempo de riego supuso un incremento de la *UD* (Figura 4). Un tiempo de riego igual o superior a 10 minutos

fue el umbral mínimo requerido para los tres tipos de cintas ($UD > 85\%$). Valores de UD superiores al 90% se obtuvieron cuando la duración mínima de los riegos para las cintas de 5, 3.8 y 2.5 $l\ h^{-1}\ m^{-1}$ fue de 15, 13 y 20 minutos respectivamente. Para tiempos de riego inferiores a 5 minutos, la UD descendió notablemente. A la vista de los resultados de la Figura 4, no parece razonable regar con pulsos de riego inferiores a 10 minutos, siendo recomendable una duración del pulso del riego en torno a 15 minutos. Una mayor duración del pulso de riego tiene poca o nula ventaja en términos de UD para cualquier tipo de cinta de riego y, sin embargo, aumenta notablemente el riesgo de drenaje de agua y fertilizante, especialmente en suelos arenosos como los de las fincas donde se realizaron los ensayos (Tabla 1).

Los valores medios de producción de los dos ensayos con tratamientos de diferente duración del pulso del riego, parecen confirmar la idoneidad del pulso de 15 minutos frente a menores duraciones. El ensayo de la variedad *Sabrina* en la finca 'Corralizas' tuvo pérdidas de producción, respecto al riego de 15 minutos, del 7% y 3% para los riegos de pulsos con duración de 5 y 10 minutos (Figura 3c). El ensayo de la variedad *Sabrina* en la finca 'La Antena' tuvo pérdidas de producción, respecto al riego de 15 minutos, del 2% y 3% para los riegos de pulsos de riego de 5 y 10 minutos respectivamente (Figura 3e). Las pérdidas de producción corresponden a valores medios obtenidos por tratamiento.

El ensayo de producción con cintas de riego de diferente caudal parece confirmar que la cinta de 5 $l\ h^{-1}\ m^{-1}$, la más usada en Huelva, es la mejor opción, al menos, en suelos muy arenosos. El ensayo con cintas de diferente caudal se llevó a cabo con la variedad *Antilla* en la finca 'Álamo'. Los volúmenes suministrados a cada tratamiento no fueron todo lo similares que hubiéramos deseado (Figura 3d). El tratamiento que menos agua recibió fue el de la cinta de 5 $l\ h^{-1}\ m^{-1}$. Sin embargo, fue este tratamiento el que alcanzó un mayor valor de producción final media (Figura 3d). El incremento en producción media respecto al tratamiento regado con cintas de 2.5 $l\ h^{-1}\ m^{-1}$ fue de un 11%, mientras que respecto al regado con la cinta de 3.8 $l\ h^{-1}\ m^{-1}$ fue de un 5%. Aunque en este trabajo no se presenta un análisis estadístico de significación, un descenso en la producción de más de un 10% habiendo aplicado una mayor dosis de riego, parece desaconsejar el uso de este tipo de cintas en, al menos, suelos muy arenosos, como es el caso de la finca 'Álamo' (Tabla 1).

3.3 Campaña 2014/2015

En esta campaña el objetivo principal fue validar un nuevo modelo de gestión del agua de riego de la fresa en la provincia de Huelva. Al conocimiento adquirido sobre el desarrollo de la fresa (Lozano *et al.*, 2016) y el comportamiento del sistema de riego en función de la duración del pulso del riego, se le sumó en esta campaña un método de pronóstico meteorológico de los valores de ET_o basado en los trabajos de Gavilán *et al.* (2015). Los datos necesarios para la realización del pronóstico meteorológico de ET_o se obtuvieron de la página web de la AEMET (<http://www.aemet.es>).

Los tres ensayos de producción de la campaña 2014/2015 validaron la programación del riego basada en este nuevo modelo de gestión. Los dos ensayos que utilizaron la programación del riego con pronóstico meteorológico en base semanal, alcanzaron los valores potenciales de producción de la finca en la campaña 2014/2015. La variedad *Victory* en la finca 'Álamo' alcanzó producciones de 72 $t\ ha^{-1}$ (Figura 3f). La variedad *Fortuna* en la finca 'Cuínes' alcanzó producciones de 75 $t\ ha^{-1}$ (Figura 3g). En el ensayo de la variedad *Victory* se demostró que el gel H-3 HIDROMAX®, con supuestas propiedades de aumento de la capacidad de retención de la humedad en el suelo, no tuvo efecto alguno sobre la producción de fresas a dosis de riego de 4.500 $m^3\ ha^{-1}$ (Figura 3f). Igualmente, en el ensayo con la variedad *Fortuna*, el incremento de la dosis de fertilizante no tuvo ningún efecto sobre la producción (Figura 3g).

Finalmente, el ensayo de la variedad *Victory* en la finca 'Corralizas' mostró varios resultados interesantes. En primer lugar, el riego aplicado en el tratamiento que usó el pronóstico meteorológico en base semanal (T1_Semanal) fue superior en 150 $m^3\ ha^{-1}$ (un 3.5%) al riego aplicado en el tratamiento con pronóstico meteorológico en base diaria

(T2_Diario), teniendo ambas producciones similares en torno a las 70 t ha^{-1} (Figura 3h). Por tanto, para su aplicación en finca, la mayor dificultad en la programación y aplicación del agua de riego con pronóstico meteorológico en base diaria, parece no compensar el volumen de ahorro de agua. En segundo lugar, mostró el buen ajuste de los parámetros del modelo de programación del riego, pues el tratamiento deficitario que aplicó un 90% de la dosis de riego del tratamiento T1_Semanal (T3_0.9T1), sufrió una pérdida de producción del 6% respecto a dicho tratamiento (Figura 3h). Esta caída en el rendimiento demuestra que el riesgo de incurrir en pérdidas de producción cuando disminuimos la dosis de riego por debajo de los cálculos realizados con el nuevo modelo de gestión es alto.

3.4 Evolución del agua de riego aplicada

Los volúmenes de riego aplicados en los ensayos se han ido ajustando a las necesidades reales de agua de la fresa a lo largo de los tres años de ensayos. Bien es verdad que el valor final del volumen de riego aplicado está condicionado en buena parte por la duración de la campaña de riego. No es igual terminar la campaña el 15 de mayo que el 15 de junio, pudiendo estos 30 días significar un incremento del riego de unos $1500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Sin embargo, un indicador certero de esta evolución lo podemos encontrar en el riego aplicado hasta mediados de febrero. Hasta esa fecha, las necesidades del cultivo son bajas y muy parecidas, independientemente de la campaña y de la variedad de fresa. A fecha 15 de febrero, en la campaña 2012/2013 el agua aplicada en los ensayos fue de 1733 y $1955 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en la campaña 2013/2014 el agua aplicada en los ensayos fue de 1363, 1751 y $1825 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y en la campaña 2014/2015, con el modelo de programación ajustado en todos sus parámetros, el riego aplicado a fecha 15 de febrero fue de 888, 1131 y $1141 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lo que refleja una notable evolución en términos de ahorro del agua de riego aplicada.

Otro indicador que muestra la evolución de la gestión del riego hacia un uso más eficiente del agua es la productividad del riego. El valor de productividad del riego se ha incrementado campaña a campaña independientemente de la variedad de fresa, si bien *Antilla* tiene un menor potencial productivo que *Sabrina*, *Fortuna* y *Victory* (Figura 5).

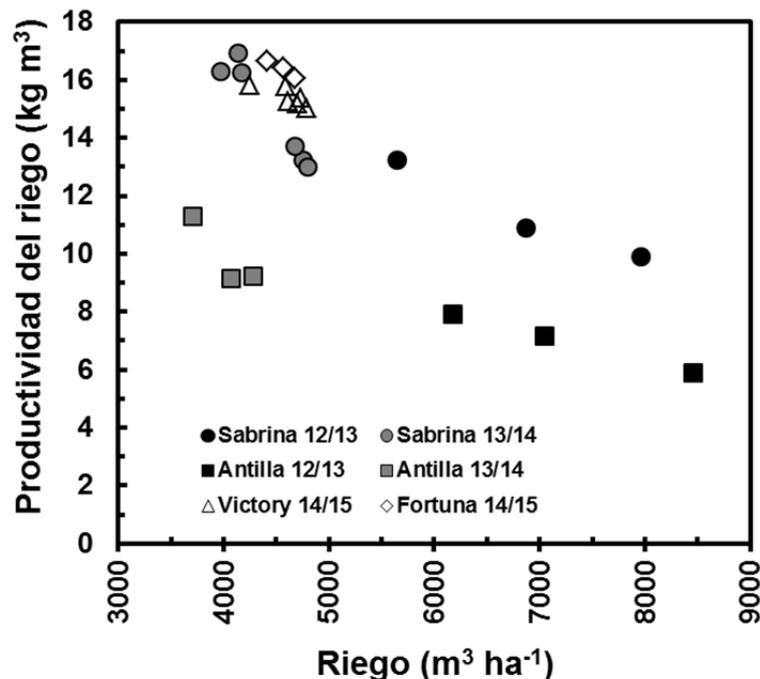


Figura 5. Productividad del riego (kg m^{-3}) en las campañas 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015 en las variedades de fresa *Sabrina*, *Antilla*, *Victory* y *Fortuna*.

4. Conclusiones

Los ensayos de producción del IFAPA en fincas comerciales han permitido desarrollar un nuevo modelo de gestión del riego de la fresa en la provincia de Huelva. Estos ensayos de producción han permitido conocer los valores de los coeficientes de cultivo de la fresa adaptados a las condiciones de Huelva, proponiendo una relación entre el grado de cobertura del cultivo y el valor del coeficiente de cultivo. Igualmente, la evaluación de la uniformidad de distribución del agua de riego en unidades de riego de fincas comerciales, así como la posterior validación de su efecto en ensayos de producción, ha permitido recomendar duraciones de pulso de riego en torno a 15 minutos. El ensayo de cintas de riego con distintos caudales parece confirmar que la elección mayoritaria de los agricultores, cintas de $5 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ es acertada. Los ensayos de producción de la última campaña, 2014/2015, han descartado tanto la influencia del Gel H-3 HIDROMAX® en el aumento de la producción de fresas, como la necesidad de aumentar la concentración de nutrientes en el fertirriego con respecto a lo tradicionalmente aportado por los agricultores de la zona. Finalmente, estos trabajos han incluido en la programación del riego todo el conocimiento generado en las dos campañas anteriores y, además, han validado un modelo de pronóstico de la evapotranspiración de referencia para el cálculo de las necesidades de riego de la fresa. El IFAPA realiza actualmente labores de transferencia del conocimiento generado. Igualmente se encuentra en fase de experimentación de este nuevo modelo de gestión del riego a escala de finca comercial en varias explotaciones de la provincia de Huelva.

Agradecimientos

Estos trabajos han sido financiados por los proyectos TRANSFORMA PP.TRA.TRA2010.1 (Sistema de Asistencia al Regante), PP.TRA.TRA2013.1 (CONECTA-SAR), cofinanciados con fondos FEDER y por el proyecto P09-RNM5069 financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen la colaboración de las empresas Frutas Borja SL y Surexport Compañía Agraria SL.

5. Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy. 300(9), D05109.
- Allen, R.G., Pereira, L.S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of groundcover and height. *Irrigation Science*, 28, 17–34
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 24. FAO, Rome, Italy, Hsiao. TC, 519-570.
- Fernández, M.D., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J.C., Granados, M.R., Gallardo, M., Fereres, E. (2010). Measurement and estimation of plasticgreenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 28, 497–509.
- García-Morillo, J., Martín, M., Camacho, E., Díaz, J. R., Montesinos, P. (2015). Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation. *Agricultural Water Management*, 151, 43-51.
- Gavilán, P., Estévez, J., Berengena, J. (2008). Comparison of standardized reference evapotranspiration equations in Southern Spain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1), 1-12.
- Gavilán, P., Ruiz, N., Lozano, D. (2015). Daily forecasting of reference and strawberry crop evapotranspiration in greenhouses in a Mediterranean climate based on solar radiation estimates. *Agricultural Water Management*, 159, 307-317.
- Grattan, S.R., Bowers, W., Dong, A., Snyder, R.L., Carrol, J.J., George, W. (1998). New crop coefficients estimate water use of vegetables row crops. *California Agriculture*, 52, 16–21.

Hanson, B., Bendixen, W. (2004). Drip irrigation evaluated in Santa Maria Valley strawberries. *California Agriculture*, 58, 48-53.

Lozano, D., Ruiz, N., Gavilán, P. (2016). Consumptive water use and irrigation performance of strawberries. *Agricultural Water Management*, 169, 44-51.

Lozano, D., Ruiz, N., Gavilán, P. (2014). Evaluación en campo de cintas de riego por goteo de diferente caudal en un cultivo de fresa. *Agricultura*, 978, 778-781.

Martínez-Ferri, E., Soria, C., Ariza, M.T., Medina, J.J., Miranda, L., Domínguez, P., Muriel, J.L. (2015). Water relations, growth and physiological response of seven strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa* Duch.) to different water availability. *Agricultural Water Management*, 164, 73-82.

Merriam, J.L, Keller, J. (1978) Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management. *Dept. Agricultural and Irrigation Engineering. Utah St. University, Logan, Utah.*

Pereira, L. S., Cordery, I., Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39-51.