



Oxifertirrigación con nanoburbujas en limonero temprano: estado hídrico, intercambio gaseoso y su relación con la precocidad de la cosecha (resultados preliminares)

Juan Miguel Robles^{1*}, Francisco Miguel Hernández¹, Juan Antonio Palazón¹

Eva María Arques¹, Elisa Isabel Morote¹, Laura campana¹, Pablo Botía¹, Josefa María Navarro¹

¹Equipo de Riego y Fisiología de Estrés. Departamento de Bioeconomía, Agua y Medioambiente, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA), Calle Mayor s/n, 30150. La Alberca (Murcia). *e-mail: juanm.robles@carm.es

INTRODUCCIÓN

El limonero para mercado en fresco es un cultivo clave en el sureste español, con la Región de Murcia como principal zona productora. El riego por goteo subterráneo, aunque eficiente, puede favorecer excesos de humedad y reducir la aireación y el oxígeno (O₂) en la zona radicular. Esta limitación de oxígeno puede comprometer el funcionamiento del sistema radicular y afectar al desarrollo del cultivo, la precocidad y el rendimiento final. El **objetivo de este estudio** fue evaluar la oxifertirrigación con nanoburbujas, aplicada en periodos específicos del ciclo fenológico, para incrementar el contenido O₂ en la zona radicular y analizar su efecto sobre el estado hídrico e intercambio gaseoso del cultivo y su posible relación con la precocidad de cosecha.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal, sistema de cultivo y tratamientos

Árboles adultos de limonero temprano var. 'Fino 49' injertado sobre *Citrus macrophylla* Wester en riego por goteo subterráneo, bajo cultivo de no laboreo

- 1) SUB-Control: Riego al 100 % ETC, sin oxigenación del agua de riego
- 2) SUB-ROC: (Riego Oxigenado Controlado): Riego al 100 % de la ETC, con oxigenación del agua mediante nanoburbujas aplicada en dos periodos específicos del ciclo fenológico, floración y fase II de crecimiento del fruto

Contenido O₂



Equipo portátil multifunción (Hanna mod. HQ 40d)

Estado hídrico del cultivo



Medida del potencial hídrico de tallo al mediodía (Ψ_{tallo}) con cámara de presión



Medidas realizadas

Parámetros de intercambio gaseoso

Sistema portátil de fotosíntesis (Licor-6800) obteniendo los valores de fotosíntesis (A_{CO2}), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E_{hoja})

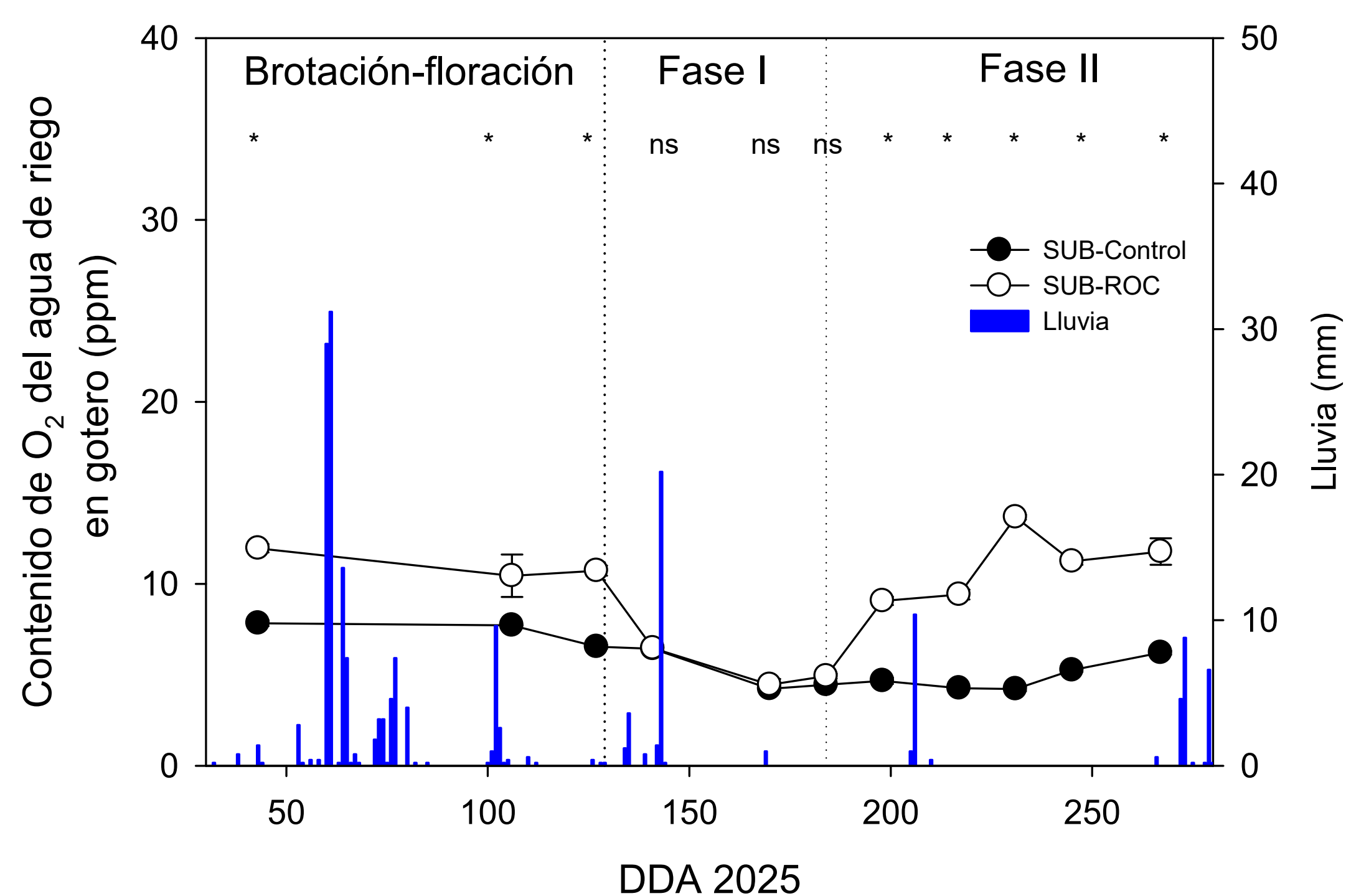
Producción



La cosecha se evaluó mediante dos cortes. Se contabilizaron y pesaron todos los frutos por árbol. La eficiencia productiva (EPUA) se calculó como la relación entre la cosecha total obtenida y el volumen total de riego aplicado

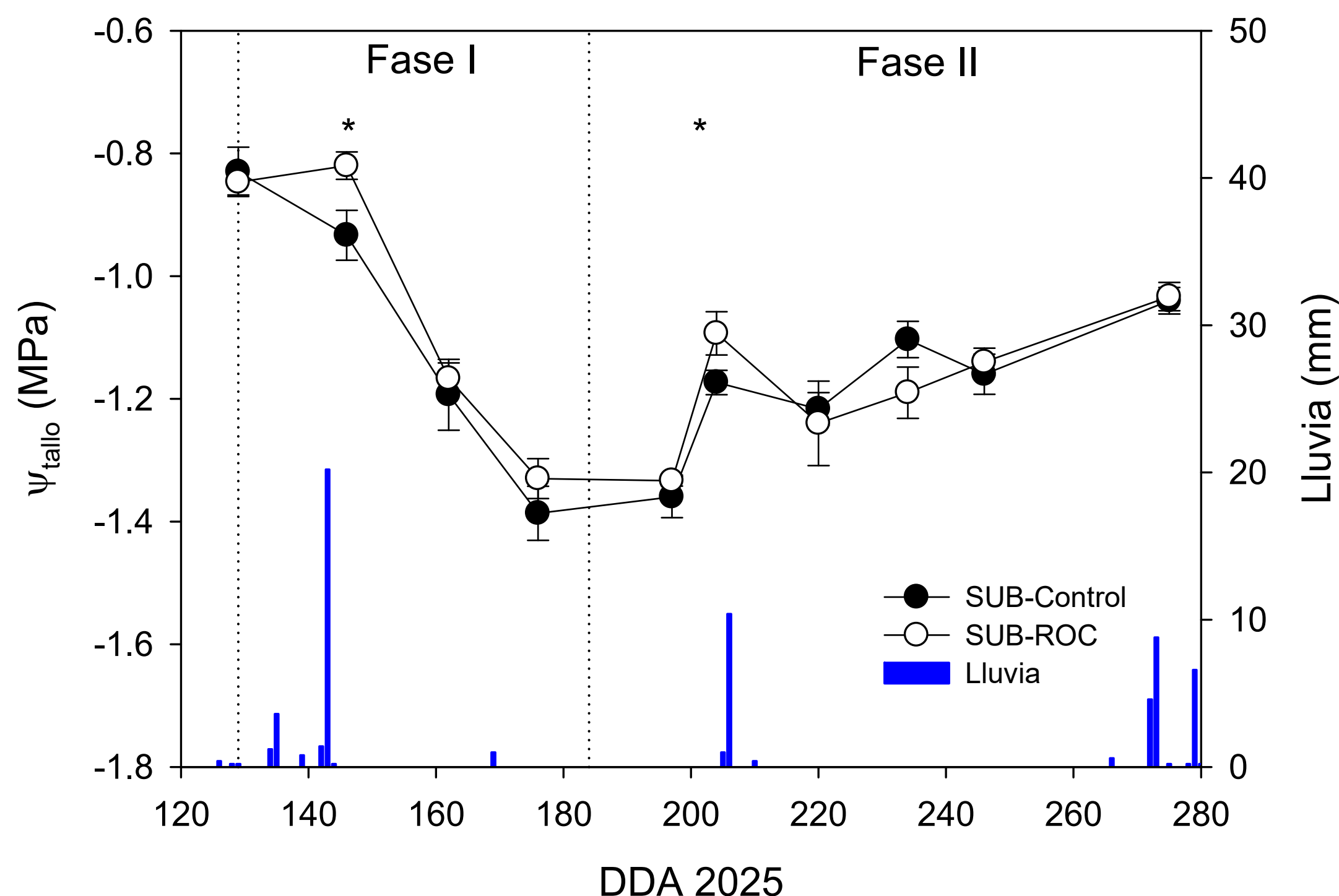
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Evolución del contenido de O₂ del agua de riego



La aplicación de nanoburbujas mediante riego oxigenado controlado (ROC) incrementó significativamente el contenido de O₂ en el agua de riego durante los periodos de brotación-floración y fase II de crecimiento del fruto.

II. Estado hídrico del cultivo



El ROC produjo mejoras puntuales del estado hídrico, especialmente en momentos específicos de cada fase, sin modificar de forma sostenida la dinámica estacional del Ψ_{tallo} .

III. Parámetros de intercambio gaseoso

F-II de 2025	A _{CO2}	g _s	E _{hoja}	A _{CO2} /E _{hoja}	A _{CO2} /g _s
SUB-Control	14,2 ± 0,97	0,16 ± 0,02	4,01 ± 0,44	3,75 ± 0,34	92,8 ± 6,4
SUB-ROC	13,9 ± 0,80	0,16 ± 0,02	3,95 ± 0,45	3,82 ± 0,47	92,2 ± 8,9
ANOVA	ns	ns	ns	ns	ns

Durante la fase II el ROC no modificó de forma significativa los valores medios de intercambio gaseoso, lo que sugiere que los posibles efectos fisiológicos del aumento de oxígeno radicular fueron puntuales y no se tradujeron en cambios sostenidos a escala de fase fenológica.

IV. Respuesta productiva

2025	Producción 1 ^{er} corte (kg árbol ⁻¹)	nº frutos árbol ⁻¹ 1 ^{er} corte	Peso medio fruto 1 ^{er} corte (g)	Producción 2 ^{er} corte (kg árbol ⁻¹)	nº frutos árbol ⁻¹ 2 ^o corte	Peso medio fruto 2 ^o corte (g)
SUB-Control	44,6 ± 5,7 b	310 ± 41 b	144,4 ± 2,6	8,1 ± 1,0	67 ± 9	123,1 ± 1,9
SUB-ROC	62,5 ± 5,2 a	443 ± 30 a	140,4 ± 6,0	14,4 ± 5,2	125 ± 50	120,7 ± 5,7
ANOVA	*	*	ns	ns	ns	ns

La mejora observada en el primer corte indica un efecto positivo del ROC sobre la precocidad de cosecha, incrementando significativamente el volumen comercializable en la primera recolección sin alterar el calibre medio del fruto.

2025	Producción acumulada (kg árbol ⁻¹)	nº frutos árbol ⁻¹ acumulados	Peso medio fruto (g)	EPUA (kg m ⁻³)
SUB-Control	52,7 ± 6,0 b	377 ± 46 b	140,6 ± 2,7	5,0 ± 0,6 b
SUB-ROC	76,9 ± 6,0 a	568 ± 57 a	137,5 ± 6,5	7,3 ± 0,5 a
ANOVA	*	*	ns	*

La mejora significativa de la producción acumulada fue causada por un aumento de la carga productiva y no debida a cambios en el peso medio del fruto. Los resultados indican que el ROC no sólo favoreció la precocidad, sino que incrementó la productividad total y mejoró la eficiencia del uso del agua bajo condiciones de riego subterráneo.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados preliminares obtenidos de una campaña, se puede concluir que la aplicación de la oxifertirrigación controlada bajo condiciones de riego subterráneo, se perfila como una herramienta prometedora para adelantar cosecha y mejorar la EPUA, aunque conviene seguir profundizando en los mecanismos fisiológicos que sustenta la respuesta.