



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Riego hidropónico al aire libre en cultivos leñosos. Fisiología vegetal y respuesta agronómica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN Ingeniería Ambiental y Procesos Sostenibles

Autor: Maria Soledad Ruiz Fernández

Director: Jose Manuel Moreno Angosto

Codirector: Francisco Pedrero Salcedo

Isabel Abrisqueta Villena



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, Octubre de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Francisco Pedrero, su inestimable ayuda, siempre atento y con palabras de ánimo. Este trabajo habría sido imposible sin él.

Agradecer también su atención en todo momento a Isabel Abrisqueta, gracias por esas mañanas en la finca, por tu paciencia a la hora de enseñarme las técnicas.

Agradecer al resto de investigadores del CEBAS-CSIC (Marga, Salva, Emilio, Jose Manuel); gracias por todo.

A Diego Intrigliolo, por acogerme en el desarrollo del proyecto y darme la oportunidad de convertir una parte del mismo en este trabajo final de máster.

A Jose Manuel Moreno, por sus palabras siempre amables y su disponibilidad plena.

A mi familia, amigos y a ti en especial.

ÍNDICE

1. Antecedentes y estado del arte	9
1.1 Escasez hídrica a nivel mundial. Sector agrícola	9
1.2. Agricultura en hidropónico.....	10
1.2.1. Tipos de sustrato.....	14
1.2.2. Cultivos en hidropónico	17
2. Objetivos del proyecto.....	19
3. Materiales y Métodos	20
3.1. Parcela experimental.....	20
3.2. Diseño, condiciones experimentales y manejo del fertiriego	21
3.3. Análisis de Agua de riego y drenaje	23
3.4. Medidas en Suelo y sustrato	24
3.5. Medidas en planta. Estado nutricional, hídrico, intercambio gaseoso y crecimiento.....	25
4. Resultados y discusión.....	27
4.1 Agua de riego. Volumen aplicado, calidad y drenaje.....	27
4.2 Temperatura, Contenido del agua y CE en el suelo	29
4.2.1. Temperatura.....	29
4.2.2. Contenido en agua	31
4.2.3. Conductividad eléctrica	32
4.3 Medidas en planta	32
5. Conclusiones.....	41
6. Bibliografía	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los sustratos comúnmente utilizados.....	17
Tabla 2. Datos de riego, ETo y lluvia.	27

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cultivo de fresa en hidropónico	18
Ilustración 2. Ubicación de la parcela experimental en Santomera, Murcia.	20
Ilustración 3. Fotografía aérea detalle de la parcela	21
Ilustración 4. Esquema de la distribución de los tratamientos (elaboración propia).....	22
Ilustración 5. a) Plantación de árboles de mandarina en suelo directo (T1), b) árboles con saco en superficie (T2), c) árboles con saco enterrado (T3)	22
Ilustración 6. Representación de la distribución de agua de riego en los diferentes tratamientos.....	23
Ilustración 7. Recogida de drenajes: Mandarino con saco enterrado y arqueta para recolección de drenaje. Esquema del depósito recolector	24
Ilustración 8. Mediciones en suelo con Hydraprobe II.....	24
Ilustración 9. A) Equipo de medida del potencial de tallo: cámara de presión (modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp.) y b) Equipo de fotosíntesis portátil (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EEUU)	26
Ilustración 10. Detalle del procesado de las fotografías con Adobe Photoshop.....	26
Ilustración 11. CE y pH de los drenajes y agua de riego	28
Ilustración 12. Concentración media de diferentes elementos en los drenajes y agua de riego. Macronutrientes y micronutrientes en febrero (a) y junio de 2016 respectivamente (b).....	29
Ilustración 13. Evolución de la temperatura durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos	30
Ilustración 14. Detalle de oscilación térmica entre el día y la noche	30
Ilustración 15. Evolución del contenido en agua durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos	31
Ilustración 16. Evolución de la conductividad eléctrica durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos	32
Ilustración 17. Medidas de volumen de copa en dos momentos diferentes del estudio	32
Ilustración 18. Evolución del potencial hídrico durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos	33
Ilustración 19. Medidas de fotosíntesis, conductancia estomática y eficiencia del uso del agua	34
Ilustración 20. Concentración de N y C totales	35
Ilustración 21. Concentración de fósforo y azufre.....	36
Ilustración 22. Concentración de iones calcio, potasio y magnesio.....	37
Ilustración 23. Concentración de microelementos	38
Ilustración 24. Concentración de iones sodio y cloro	39

Resumen

El gran reto de la agricultura en el futuro próximo será, por una parte, la tarea de incrementar la producción con menos agua, particularmente en países con limitados recursos hídricos (Fereres y Connor, 2004), y por otra parte el uso seguro para el riego de los recursos hídricos no convencionales, sustituyendo a los recursos hídricos potables. La Cuenca del Segura (Murcia), es la única cuenca en España cuyos recursos naturales no pueden cubrir su demanda de agua. El principal uso es el agrícola, con un 84% (CHS, 2009), por esta razón, el desarrollo de nuevas técnicas de optimización y ahorro de agua en la agricultura murciana es especialmente importante.

El trasplante de un cítrico desde vivero a campo, supone todo un proceso de aclimatación al nuevo suelo y condiciones ambientales que conllevará situaciones de estrés para el plantón joven en general, y daños mecánicos en el sistema radicular, como la deshidratación de las raíces. En zonas áridas, como las de la región de Murcia, esta situación podría solucionarse proporcionando un sistema con adecuada capacidad de retención de agua.

El proyecto HIPOFRUIT nace con el principal objetivo de desarrollar un sistema semi-hidropónico para el cultivo sostenible de los frutales. En concreto se pretende desarrollar un sistema basado en bolsas de sustratos (orgánicos o inertes) colocadas sobre la superficie del suelo o semi-enterradas, permitiendo la penetración de las raíces en su interior. De este modo se persigue mantener el sistema radicular en un medio con una óptima aeración y, al mismo tiempo, una gran capacidad de retención de agua. Cabe destacar también, que el sustrato es un medio de fácil penetración, favoreciendo la proliferación de raíces más finas y frágiles de un árbol joven al ser trasplantado desde vivero.

En este ensayo se ha mostrado como los cítricos son una especie a tener en cuenta para su estudio en hidropónico debido a su gran adaptación fisiológica. Igualmente, se ha mostrado como este tipo de sistemas de cultivo requiere de un amplio conocimiento en fertirriego para evitar pérdidas de nutrientes o acumulaciones de humedad que puedan provocar estreses hídricos en la planta. La temperatura ha mostrado ser un factor importante a considerar debido a las diferencias obtenidas entre tratamientos, una mayor estabilidad de la misma, supone una mayor capacidad de absorción de iones.

La implementación de este innovador sistema no solo implicará una importante optimización en el consumo de agua y una menor contaminación del

suelo por nutrientes, sino que además permitirá incrementar la producción y su precocidad debido a la mayor capacidad de control que se tendrá sobre el medio radicular.

1. Antecedentes y estado del arte

1.1 Escasez hídrica a nivel mundial. Sector agrícola

El agua es un bien muypreciado y escaso, necesario para el desarrollo de la vida así como para numerosas actividades humanas. Las estimaciones indican que la hidrosfera contiene cerca de 1.386 millones de km³ de agua, de los cuales el agua salada de los mares y océanos representa el 97,5%, siendo inservible para usos directos agrícolas, industriales o humanos; el resto es agua dulce, un 2,5%, pero sólo un 1% se obtiene fácilmente, ya que gran parte está congelada en los glaciares, otro tanto en capas acuíferas subterráneas inaccesibles o permanece como humedad en el suelo. De este 1%, el sector agrícola es el mayor consumidor de agua, alcanzando un porcentaje que supera el 70-80% en algunas zonas áridas y semiáridas (Fereres y Soriano, 2007); este alto porcentaje no sólo es debido a que la superficie de riego en el mundo ha tenido que quintuplicarse para poder abastecer al crecimiento de la población (Dyson, 1999), sino porque la eficiencia del uso del agua en este sector sigue siendo baja (Postel, 1997). Tras el sector agrícola, le siguen el sector industrial con el 22% y el consumo doméstico, comercial y de otros servicios urbanos municipales que utilizan el 8% (CEDEX, 2002).

La población mundial actualmente ronda los 7 billones de habitantes, pero se estima que en 2050 esta cifra supere los 9,1 billones (ONU, 2005). Además el sector industrial cada vez requiere un mayor volumen de agua. Se estima que en el periodo 2000-2050 el uso industrial aumente en un 400% a costa de disminuir el porcentaje de agua destinado al riego (PNUMA, 2000). Ante esta situación muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que ha provocado la sobreexplotación los recursos hídricos superficiales y subterráneos, creando un fuerte impacto en el medioambiente. Todas estas circunstancias están creando una crisis del agua a nivel mundial.

En España los recursos hídricos se distribuyen de manera desigual, siendo la Cuenca Mediterránea la más deficitaria. En el caso de la Región de Murcia este déficit de agua es debido principalmente al clima semiárido, con escasas precipitaciones (200 - 300 mm/año) distribuidas irregularmente en el tiempo y en el espacio y una demanda evapotranspirativa muy alta, por lo que la Cuenca del Segura es la única del territorio nacional español con déficit hídrico estructural (CARM, 2007). El regadío constituye, con diferencia, el principal uso del agua en

cuanto a volúmenes de recursos hídricos consumidos, y es el motor básico que ha contribuido al desarrollo socioeconómico de la Región de Murcia (CARM, 2007). Los principales cultivos de regadío en dicha región son frutales, destacando los cítricos, limonero y naranjo, con un 30,9 y 19,6% respectivamente (ESYRCE, 2010). La Región de Murcia produce más del 52% de la producción total de pomelo de toda España (CARM, 2009).

La Región de Murcia ocupando el 3% de la superficie total de la península, consume el 3,4 % del agua total disponible en España (INE, 2008) y es capaz de producir el 20% de las exportaciones de frutas y hortalizas de toda España (FEPEX, 2010). Para conservar esta agricultura de vanguardia se hace necesario pensar en nuevas estrategias de riego, selección de cultivos adaptados a las condiciones locales, un manejo aun más eficiente del agua y hacer un uso adecuado de los recursos hídricos no convencionales para poder hacer frente a esta situación de escasez de agua (Pedrero, 2011).

1.2. Agricultura en hidropónico

El suelo es un recurso natural que corresponde a la capa superior de la corteza terrestre. Contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan. El suelo es vital, ya que el ser humano depende de él para la producción de alimentos, la crianza de animales, la plantación de árboles, la obtención de agua y de algunos recursos minerales, entre otras cosas.

Sin embargo, cada año la erosión de los suelos y otras formas de degradación de las tierras provocan una pérdida de entre 5 y 7 millones de hectáreas de tierras cultivables (Hidrohuerto, 2014).

En los países subdesarrollados, la creciente necesidad de alimentos y leña han tenido como resultado la deforestación y cultivo de laderas con mucha pendiente, lo que ha producido una severa erosión de las mismas.

Para complicar aún más el problema, hay que tener en cuenta la pérdida de tierras de cultivo de primera calidad debido a la industria, los pantanos, la expansión de las ciudades y las carreteras. La erosión del suelo y la pérdida de las tierras de cultivo y los bosques reducen además la capacidad de conservación de la humedad de los suelos y añade sedimentos a las corrientes de agua, los lagos y los embalses.

Por estos motivos, la superficie cultivada de cultivo sin suelo o hidropónico, ha experimentado una creciente expansión en los últimos años.

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, usando un medio inerte, al cual se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales para la planta, para su normal desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo se les denomina a menudo cultivo sin suelo, mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico.

Los métodos de cultivo hidropónico se están usando con éxito para producir plantas fuera de estación en invernaderos y para cultivar plantas donde el suelo o el clima no son adecuados para una especie determinada; también se utilizan en zonas muy áridas, en suelos pobres o en aquellos susceptibles al ataque de parásitos.

Existen diferentes tipos de sistemas en cuanto a cultivo hidropónico, los cuales son expuestos a continuación (Hidrohuerto, 2014).

- Sistemas de inundación y drenaje → Consiste en situar las plantas en bandejas o mesas capaces de contener la solución nutritiva durante el riego. Las plantas a su vez están contenidas en macetas con sustrato.

El sistema funciona de una manera sencilla, se dispone de la solución nutritiva en un depósito del que es bombeada durante el riego. Esta inunda entonces las bandejas o mesas y entra así en contacto con las plantas durante un intervalo de tiempo suficiente para que la planta se nutra y el sustrato ejerza su capacidad de retención. Tras esto se procede al drenaje de las bandejas recogiendo la solución de nuevo en el depósito hasta el siguiente riego o inundación.

Es un sistema muy sencillo y muy fácil de mantener y montar. Sin embargo, no es muy eficiente, pues al secarse la solución nutritiva van quedando restos de nutrientes en forma de sales sobre el

sustrato y periódicamente hay que lavar el sustrato con agua fresca que se desecha.

- Sistema de goteo con recogida de la solución nutritiva → En este sistema se cultiva sobre sustrato. Se trata de colocar unos canales de recogida con una pendiente mínima de 2%, en el que se sitúan los contenedores de cultivo, o bolsas a los que se les hace llegar un latiguillo de goteo, que está injertado en una tubería principal por la cual es bombeada la solución nutritiva, es como en la agricultura convencional, con la diferencia de que el sobrante es drenado por gravedad, recogido y conducido al depósito principal para su reutilización.

Hay una variante de este sistema en el que no se recupera el sobrante sino que se ajusta el riego para desperdiciar el mínimo de solución nutritiva.

Es un sistema que está muy extendido en plantas de ciclo largo (desarrollo, floración, fructificación) y cada día es más eficiente.

- DWC (Deep Water Culture) → Este sistema es el que descende de la hidroponía que se realizaba en la antigüedad, es muy sencillo y muy fácil de manejar.

Son piscinas, que pueden estar en el suelo o elevadas con diferentes profundidades, sobre las que se sitúan planchas de poliestireno expandido. Sobre estas planchas se alojan las plantas con las raíces directamente sumergidas en la solución nutritiva, cuya oxigenación es indispensable, contenida en las piscinas.

Es un sistema especialmente dedicado a la producción de vegetales de ciclo corto, es decir hortalizas de hoja.

- NFT (Nutrient Film Technic) → Las plantas se disponen en tubos o canales de PVC (específico para este fin), por los que, por medio de bombas y conducciones, se hace discurrir una película de solución nutritiva con la que se regarán las raíces de las plantas, que estarán contenidas en los canales o tubos.

Es un sistema muy eficaz pero requiere de un alto grado de atención: la dependencia energética es total, un fallo en el bombeo puede terminar con miles de plantas en pocas horas.

- Acuaponía → Es una disciplina mixta entre el cultivo hidropónico y la acuicultura de agua dulce. La acuicultura genera muchos problemas de contaminación por la cantidad de nitratos y nitritos que producen los peces en sus ciclos alimenticios. Se basa en alimentar las plantas con los desechos que producen los peces, así como purificar el agua haciéndola pasar por las raíces de las mismas, que consumirán gran parte de los nitratos producidos en las heces de los peces.

La acuaponía es una técnica muy extendida en países como EEUU y Australia, donde los productos vegetales producidos por esta técnica gozan de la consideración de productos Orgánicos, lo que aquí en España llamamos Ecológico.

- Aeroponía → Se trata de regar las plantas por medio de nebulizadores que harán llegar la solución nutritiva a la raíz en forma de micro gotas saturadas de oxígeno, provocando un desarrollo radicular y aéreo superior a cualquier otro sistema.

Como ventajas principales cabe destacar el alto nivel de oxígeno disuelto en la solución nutritiva, el mejor control de la temperatura de la solución nutritiva, así como la capacidad de producir algunas plantas que no se podrían producir con éxito en otros sistemas hidropónicos como las patatas. También tiene inconvenientes, como es que necesitas bombas más potentes, que aumentarán el consumo eléctrico, requiere un exhaustivo control de los emisores o nebulizadores, que por causa de sus pequeños orificios tenderán a obstruirse por la acumulación de sales, haciendo menos efectivo el sistema e incluso anulando uno o varios emisores por obstrucción. Todo esto hace que no sea un sistema ampliamente instaurado en lo comercial.

Las ventajas que posee el cultivo hidropónico, por tanto, son (La Bioguía, 2012):

- Provee a las raíces en todo momento de un nivel de humedad constante, independiente del clima o de la etapa de crecimiento del cultivo.
- Reduce el riesgo por excesos de irrigación.
- Evita el gasto inútil de agua y fertilizantes.
- Asegura la irrigación en toda el área radicular.
- Reduce considerablemente los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo.
- Aumenta los rendimientos y mejora la calidad de producción.

1.2.1. Tipos de sustrato

El sustrato constituye el lecho que sirve de sostén y soporte para el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Cumple un papel fundamental en la consecución del éxito del cultivo y por tanto existen unas propiedades generales que debe reunir un sustrato para ser adecuado para el cultivo hidropónico/semi-hidropónico, las cuales se detallan a continuación:

- Debe ser estéril o permitir su esterilización → Carente de actividad biológica, para ello es necesaria una adecuada desinfección.
- Sus propiedades físicas han de ser inalterables en un plazo corto de tiempo → Esto determina si se mantiene con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo de la velocidad de disgregación y descomposición del material, que deberá ser lo más lenta posible.
- Debe permitir una buena oxigenación → La aireación/oxigenación del sustrato se da a través de los poros del mismo y es la fundamental para el buen desarrollo radicular.
- Debe tener una gran capacidad de drenaje → No es conveniente que se produzcan encharcamientos. Si es necesaria por parte de la planta una gran cantidad de agua habrá que recurrir al aumento de la frecuencia de riego.

-
- Debe poseer una buena capacidad de retención de la humedad → En cantidad adecuada y en forma homogénea. Es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen.
 - Su manejo ha de ser fácil → Debe ser liviano, de bajo costo y estar disponible.

De entre todas ellas, se puede seleccionar la capacidad de retención de la humedad como la más significativa, pues de ello depende que la planta sea capaz o no de utilizar el agua como medio de obtención de los nutrientes necesarios.

Los sustratos entonces, pueden clasificarse en tres grandes grupos:

Sustratos inorgánicos → Entre ellos encontramos la familia de las gravas (partículas de más de 2mm de diámetro) y las arenas.

- Piedra pómez: Es un material de origen volcánico, con una capacidad de retención de la humedad buena. Es posible obtenerla en diferentes granulometrías y posee además una buena estabilidad física y durabilidad. Desde el punto de vista biológico es completamente estéril.

- Grava: Las partículas de éste sustrato se obtienen del triturado de materiales procedentes de depósitos naturales o canteras cuyas características ofrecen condiciones para el cultivo de plantas. Tienen una excelente capacidad de drenaje pero sin embargo su capilaridad es mala, por lo que no presentan homogeneidad en cuanto a la distribución horizontal. Requiere una alta frecuencia de riego.

- Roca volcánica: Material rojizo, de origen volcánico, con características similares a la piedra pómez. Posee partículas muy pequeñas que deben ser eliminadas antes de su uso como sustrato, mediante lavados, para evitar el encharcamiento en medio del cultivo.

- Escoria de ladrillo y teja: Se trata de sustratos obtenidos de la expansión de materiales arcillosos. Dada su buena capacidad de retención de humedad y su gran porosidad tienden a degradarse, perdiendo su estabilidad física, produciendo así encharcamientos.

- Carbón vegetal: Este material tiene posee características ventajosas para ser utilizado como sustrato para cultivos sin suelos. Posee una retención de humedad parecida a la que presenta la piedra pómez, buena estabilidad y excelente oxigenación. El único inconveniente es su baja capilaridad.

- Arena: Las arenas utilizadas en este tipo de cultivos son las procedentes de los ríos. Este material tiene que cumplir con unas condiciones; deben proceder de ríos no contaminados, no debe tener niveles altos de carbonato de calcio (estos alteran la solución nutritiva) ni estar mezcladas con materiales arcillosos.

Sustratos orgánicos → Es España, este tipo de sustratos suelen ser importados desde otros países.

- Fibra de coco: Es un sustrato excelente, por su buena capacidad de retención de la humedad; aportando grandes ventajas para la mezcla de otros sustratos. Para que se mantenga estable químicamente ha de tener una alta relación C/N.

- Cascarilla de arroz: Generalmente este sustrato se suele utilizar mezclado con gravas para favorecer la oxigenación. Tiene poca capacidad de retención de humedad, pero esto hace que sea el más lento de los sustratos orgánicos en descomponerse. Es necesario un proceso previo de desinfección química.

- Cascarilla pergamino de café: Buen material para combinar con otros sustratos e implementar su oxigenación. Su vida es muy corta, se descompone fácilmente, lo cual es una desventaja.

- Aserrines: El aserrín y la viruta de madera son otra de las posibles opciones dentro de los sustratos disponibles. Tienen alta capacidad de retención de la humedad pero necesitan un proceso de desinfección de sustancias tóxicas.

- Turba: Este material procede, generalmente, de Canadá. Sus características son similares a las de la fibra de coco, lo que lo convierte en una excelente opción.

Sustratos sintéticos → Forman parte de los mismos las espumas.

- Espuma de poliestireno: Se utiliza como material de relleno, para oxigenar y aliviar el peso de los sustratos.

- Espuma de poliuretano: Se emplea en la confección de semilleros y es mezclado con otros sustratos livianos.

El sustrato debe reunir una serie de características que ofrezcan excelentes condiciones para el desarrollo de la planta como hemos dicho anteriormente, sin embargo, no siempre un sustrato posee en conjunto estas propiedades. El conocimiento de las mejores propiedades inherentes a un sustrato permite seleccionar mezclas de materiales diferentes en busca de reunir propiedades y condiciones que en conjunto ofrezcan las características buscadas en el sistema de cultivo.

En la tabla I se muestra un resumen de las características de los sustratos comúnmente utilizados.

Tipo de Sustrato	Retención de la humedad	Estabilidad	Oxigenación	Capilaridad
Arena de río	Buena	Excelente	Buena	Media
Piedra pómez	Buena	Buena	Buena	Regular
Roca volcánica	Buena	Regular	Media	Regular
Aserrín	Excelente	Regular	Bajo	Buena
Cáscara de arroz	Baja	Regular	Buena	Mala
Cáscara de café	Baja	Mala	Buena	Mala
Fibra de coco	Excelente	Buena	Bajo	Buena

Tabla 1. Características de los sustratos comúnmente utilizados

1.2.2. Cultivos en hidropónico

A través de la hidroponía es posible cultivar distintas hortalizas y plantas aromáticas; algunos ejemplos de verduras son: acelgas, alcachofas, ajos, berenjenas, betabeles, brócolis, calabazas, cebollas, chícharos, coles, coliflores, ejotes, jitomates, pepinos, rábanos, tomates, zanahorias, todas las variedades de lechugas y distintos tipos de chiles.

Además de verduras, este método permite cultivar frutos rojos como: arándanos, fresas, frambuesas y zarzamoras. La granada, maracuyá, melón, papaya, piña, plátano y sandía, también forman parte de las frutas que se pueden obtener por esta técnica.



Ilustración 1. Cultivo de fresa en hidropónico

Con la hidroponía también se pueden producir plantas aromáticas y/o medicinales como: albahaca, ajeno, anís, cilantro, eneldo, hierbabuena, hinojo, jengibre, lavanda, manzanilla, mejorana, orégano, perejil, romero, tomillo y valeriana, la cuales son otra opción para cultivar en casa y una alternativa natural para disminuir los efectos de distintas afecciones del organismo.

Sin embargo, es una técnica novedosa en cuanto a su uso en frutales cítricos. Tanto es así que los estudios al respecto son muy escasos.

2. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto de investigación HIPOFRUIT, es desarrollar un sistema semi-hidropónico para el cultivo sostenible de frutales. En concreto se pretende desarrollar un sistema basado en bolsas de sustratos (orgánicos o inertes) colocadas sobre la superficie del suelo o semi-enterradas, permitiendo la penetración de las raíces en su interior. De este modo se persigue mantener el sistema radicular en un medio con una óptima aeración y, al mismo tiempo, una gran capacidad de retención de agua. La implementación de este innovador sistema en la práctica habitual de explotaciones intensivas de cultivos leñosos tipo frutales, no solo implicará una importante optimización en el consumo de agua y una menor contaminación del suelo por nutrientes al reducir el drenaje, sino que además permitirá incrementar la producción y su precocidad debido a la mayor capacidad de control que se tendrá sobre el medio radicular.

Por lo tanto, el objetivo principal del TFM fue la evaluación y seguimiento de los efectos en el desarrollo vegetativo de la implementación de sustratos del sistema semi-hidropónico, en superficie y enterrado, en el cultivo de mandarina, en comparación con el desarrollo en suelo tradicional.

3. Materiales y Métodos

3.1. Parcela experimental

La parcela en la que se desarrolla el proyecto se encuentra situada en la finca experimental “Tres Caminos” del CEBAS-CSIC, ubicada en el campo de La Matanza, término municipal de Santomera, Murcia: 38° 06' 31.2" N; 1° 02' 13.7" W, a una altura media sobre el nivel del mar de 152 m. La finca tiene una pendiente media del 5.49 % y está convenientemente aterrizada. Posee una superficie total de 32 ha, con diferentes cultivos de frutales, predominantemente cítricos, en riego por goteo. Dispone así mismo de dos embalses reguladores situados uno en la cota más alta, 167 m, y otro a 152 m. El suelo de la parcela experimental es de tipo Calcisol esquelético, con un perfil A-C, en el que en el horizonte A es un epipedon ócrico bastante profundo (50 cm) a partir del cual empieza el horizonte C con acumulación de CaCO₃. Lo más característico es la abundante pedregosidad en todo el perfil, pero sobre todo a partir de los 15 cm (% p/p en gravas > 80%) por lo que se incluye en el subgrupo esquelético.

La textura es franco-arcillosa. El contenido en agua útil y la densidad aparente corresponden a 106 mm/m y 1.5 mg/m³ respectivamente. La conductividad hidráulica a saturación es de 8 cm/h. El material vegetal utilizado en este proyecto es mandarina (*Citrus reticulata*) de variedad ClemenRubí o Prim 23 de un año de edad (Abril de 2015) a un marco de plantación de 2 x 5 m. Esta variedad se originó por mutación espontánea y fue descubierta en los años 90 en Loriguilla (Valencia).

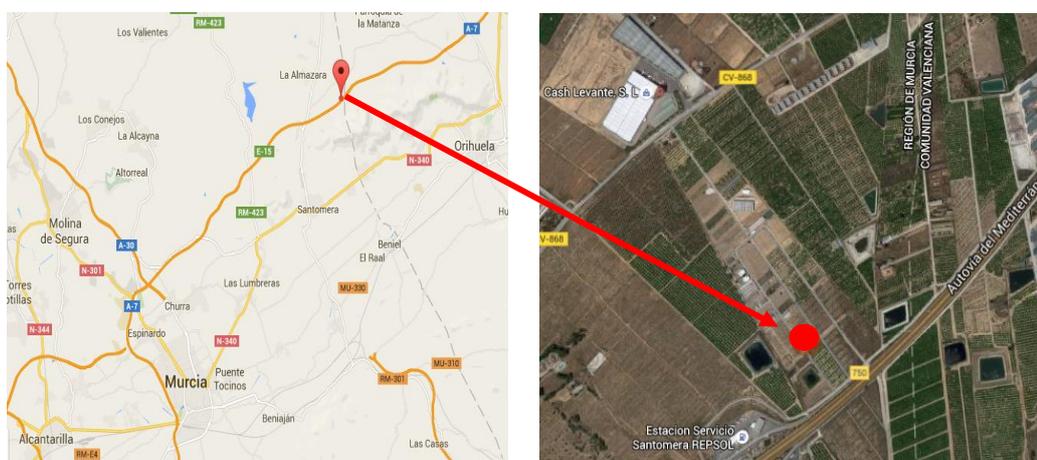


Ilustración 2. Ubicación de la parcela experimental en Santomera, Murcia.



Ilustración 3. Fotografía aérea detalle de la parcela

3.2. Diseño, condiciones experimentales y manejo del fertiriego

El diseño agronómico correspondió a un único lateral de riego por hilera de árboles con 10 goteros integrados por árbol, 1 L h^{-1} , ubicados cada 20 cm. Las labores de cultivo consistieron en la programación y manejo del agua de riego y los fertilizantes, control de enfermedades, plagas y malas hierbas, cosecha y poda.

Las dosis de riego fueron programadas mediante la ETc semanal, estimada como la evapotranspiración de referencia (ET_o), calculada con la metodología de Penman-Monteith (Allen y col., 1998) y un coeficiente de cultivo mensual (Castel y col., 1987). Se aplicó el coeficiente de correlación de cobertura propuesto por Fereres y Goldhamer (1990).

El agua de riego utilizada procede del trasvase tajo-segura mezclada con agua de pozo según la época del año ($CE = 1 \text{ dS/m}$) que en diferentes periodos se mezcla con agua de pozo de mayor salinidad ($CE = 1.5\text{-}2 \text{ dS/m}$).

En Abril de 2015, se establecieron tres tratamientos diferenciados por el siguiente criterio:

- T1: Tratamiento control. Árboles sin la influencia de un saco de sustrato.
- T2: Tratamiento de saco en superficie. Los sacos están dispuestos en la superficie del suelo junto al tronco del árbol siguiendo la línea de goteros.
- T3: Tratamiento de saco enterrado. Los sacos se encuentran enterrados a una profundidad de 30cm siguiendo la línea de goteros

Los tratamientos fueron distribuidos según un diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento. Cada hilera constaba de

18 árboles donde se repartían los tres tratamientos. En total hay 25 árboles en suelo sin saco (T1), 41 árboles con saco en superficie (T2) y 24 árboles con saco enterrado (T3) (Ilustración 4). Se emplearon sacos de fibra de coco de 40 L de volumen, con una capacidad de retener agua de aproximadamente 12 L. El volumen de riego y la dosis de fertilizantes por árbol son los mismos para todos los tratamientos. En la ilustración 5 se puede observar los tres tratamientos utilizados en la experiencia.

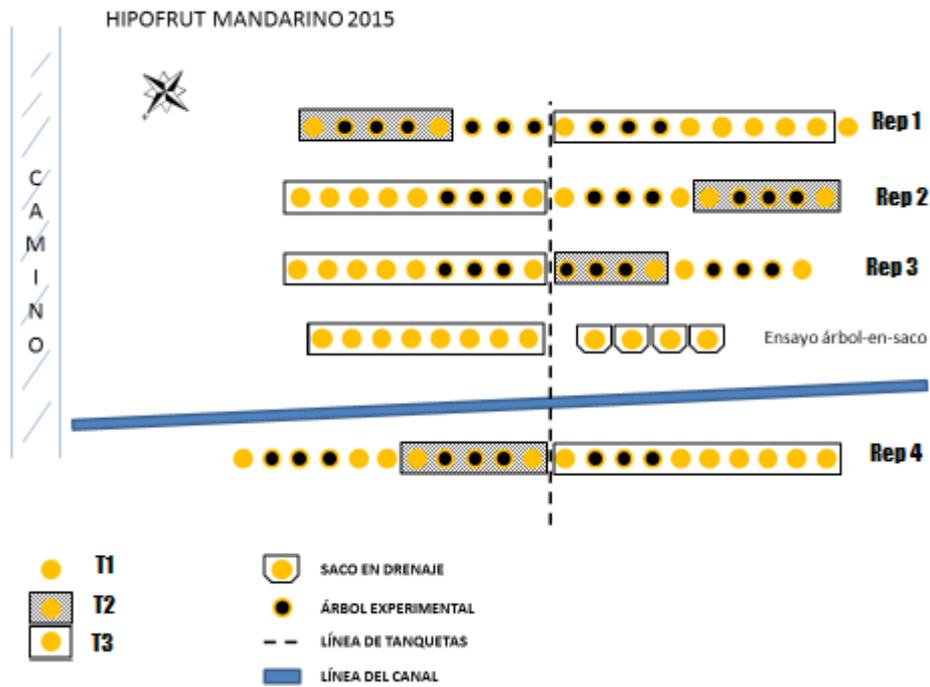


Ilustración 4. Esquema de la distribución de los tratamientos (elaboración propia)

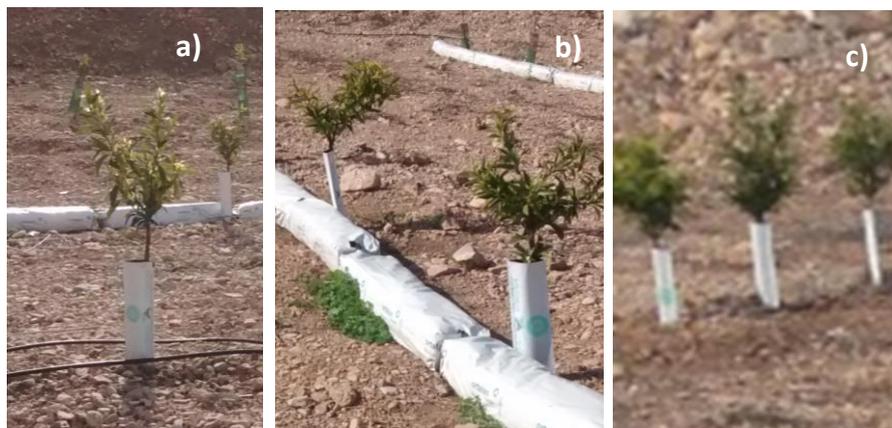


Ilustración 5. a) Plantación de árboles de mandarina en suelo directo (T1), b) árboles con saco en superficie (T2), c) árboles con saco enterrado (T3)

Los tratamientos con saco (T2 y T3) tienen la manguera de góteros introducida a lo largo de ellos de manera que el agua de riego se vierte directamente al sustrato de fibra de coco. Para permitir un drenaje adecuado de los sacos y la colonización radicular, se realizan dos aperturas cuadrangulares por saco en la parte ventral, en el T2, y por el lateral más cercano a la planta para el caso del T3 (Ilustración 6 b) y c)).

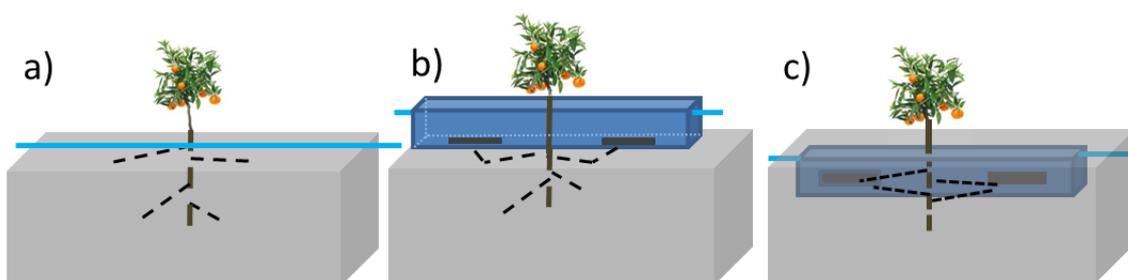


Ilustración 6. Representación de la distribución de agua de riego en los diferentes tratamientos

3.3. Análisis de Agua de riego y drenaje

Mensualmente se recogieron muestras de agua, para caracterizar la calidad del agua de riego. Las muestras se recogieron en botellas de vidrio estériles, fueron transportadas directamente al laboratorio y almacenadas a 5 °C antes de ser procesadas.

Las concentraciones de: Na, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Ni, Cd, Cr, Cu, Pb y Zn se determinaron mediante espectroscopia de emisión de plasma acoplada (ICP-OES ICAP 6500 Duo Thermo, Inglaterra), aniones (cloruros, nitratos, fosfatos y sulfatos) fueron analizados por cromatografía de intercambio iónico (Metrohm, Suiza), el pH con un pHmetro modelo Crison-507 (Crisom Instruments S.A. Barcelona, España), conductividad eléctrica (CE).

Para el control de los drenajes se han colocado depósitos recolectores de drenaje en la parcela, tanto en el caso de los árboles con saco enterrado (ver figura abajo), como en los árboles en saco directo y sobre bandeja, donde sabemos que podemos contabilizar todo el drenaje. Para el control de la solución del riego, igualmente se han colocado depósitos recolectores de riego en los tratamientos con saco.

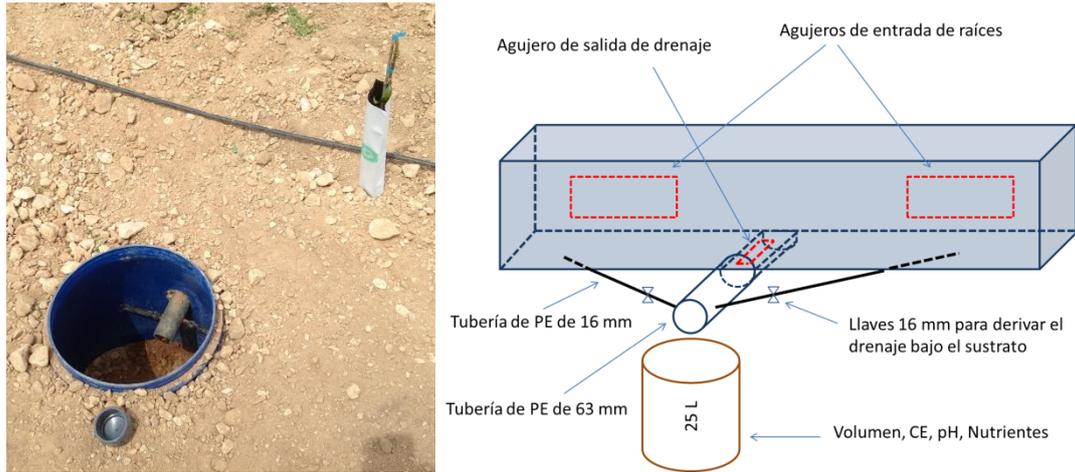


Ilustración 7. Recogida de drenajes: Mandarino con saco enterrado y arqueta para recolección de drenaje. Esquema del depósito recolector

3.4. Medidas en Suelo y sustrato

Con el fin de evaluar las condiciones en las que se desarrollan las raíces, tanto dentro del saco como en el suelo, se instalaron 3 sensores HYDRAPROBE II (Stevens, Portland, OR, EEUU) por tratamiento, a 30 cm de profundidad y a 30 cm del tronco. En el caso de T2 y T3, los sensores fueron instalados a esa profundidad dentro de los sacos, y en el caso del T1, se instalaron directamente en el suelo. Los sensores fueron conectados a un CR1000 (Campbell Sci, Inc., Utah, EEUU) que toma medidas de temperatura, humedad y CE cada 2 minutos y graba una media cada 30 minutos. Al CR1000 se le ha instalado un modem CINTERION (Gemalto, Nevada, EEUU), para recoger los datos vía GSM.



Ilustración 8. Mediciones en suelo con Hydraprobe II

3.5. Medidas en planta. Estado nutricional, hídrico, intercambio gaseoso y crecimiento

Se realizaron análisis foliares a lo largo del ciclo fenológico, el 7 de julio de 2015 para saber el estado inicial de los árboles, el 13 de enero del 2016, y el 6 de abril de 2016. Se tomaron veinte hojas de muestra de cada repetición por tratamiento, de plantas aleatorias. Para la preparación de la muestra, se lavaron con detergente (Alconox 0,1%) y agua corriente, posteriormente se limpiaron con una solución de HCl al 0,005% y finalmente fueron lavadas con agua destilada; se escurrieron al aire en un filtro de papel y se secaron en un horno durante dos días a 65°C. Se molieron las hojas una vez secas y se procedió a su disolución con ácido nítrico y perclórico (2:1) (Thomson, 1982), otra parte de la muestra (0,25g) se disolvió en agua regia HCl/HNO₃. La concentración de macro-elementos, oligoelementos y metales pesados se determinaron por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-ICAP 6500 DUO Thermo, Inglaterra). Los aniones fueron analizados mediante cromatografía iónica con un cromatógrafo Metrohm (Suiza) después de usar una proporción de disolución patrón de 1:2,5 (w:w).

En el primer muestro se cogieron hojas de todas las repeticiones (tres árboles por repetición) para obtener una sola muestra. En los muestreos sucesivos, se han cogido hojas de tres árboles por repetición, y en cuatro repeticiones, por tanto, un total de 4 muestras por tratamiento.

El potencial de tallo (Ψ_{tallo}), se midió con una periodicidad quincenal durante toda la temporada, en los dos árboles centrales de cada repetición, es decir, cuatro árboles por tratamiento. En cada árbol las medidas se realizaron en dos hojas maduras cercanas al tronco. Las hojas se cubrieron con una bolsa de papel de aluminio, por lo menos dos horas antes de su medición (McCutchan y Shackel 1992). El potencial de tallo se midió al mediodía solar (12:00 h GMT), utilizando una cámara de presión (modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, California, EEUU) (ilustración 9), y siguiendo las recomendaciones de Turner (1988).

La tasa neta de asimilación de CO₂ (P_n) y la conductancia estomática (G_s) se midieron con un equipo de fotosíntesis portátil (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EEUU) (ilustración 9). Se realizaron medidas de intercambio gaseoso cada dos semanas durante el período fenológico y semanales durante el periodo de riego

deficitario, entre las horas 08:00-10:00 h GMT, en días claros. Las mediciones se realizaron en dieciséis hojas sanas y maduras por tratamiento (dos hojas por árbol, ocho árboles por tratamiento), expuestas al sol, en las posiciones cubierta exterior y en el tercio medio del árbol.

Para tener control del crecimiento de la copa se realiza una foto cenital y dos laterales a los árboles (dos por tratamiento y repetición, excepto a los árboles en saco en cuyo caso se les realizan a tres por tratamiento). Las fotografías se realizan siempre con una referencia de área conocida para poder tratarlas después con Adobe Photoshop. Se cuantifican los píxeles del área de referencia y después los de la copa en cada fotografía y después se realizan la extrapolación para obtener la cuantía del área de la copa (Ilustración 10). Se obtienen tras esto datos estadísticos (media y desviación típica por tratamientos y repeticiones).



Ilustración 9. A) Equipo de medida del potencial de tallo: cámara de presión (modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp.) y b) Equipo de fotosíntesis portátil (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EEUU)

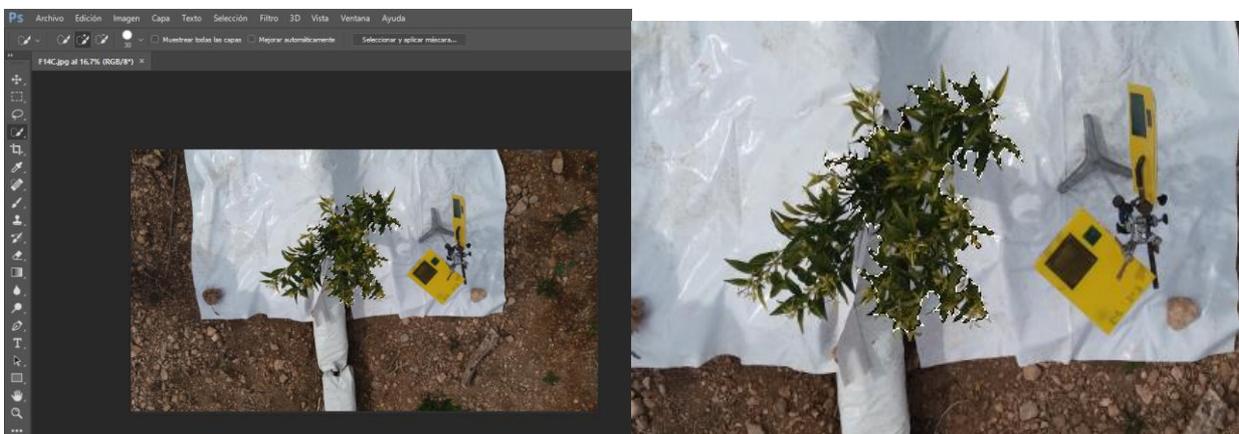


Ilustración 10. Detalle del procesado de las fotografías con Adobe Photoshop

4. Resultados y discusión

4.1 Agua de riego. Volumen aplicado, calidad y drenaje.

En la tabla 2 se recoge desde la fecha de plantación, el volumen de riego aplicado por igual en los tres tratamientos, al igual que los datos de ETo y Lluvia utilizados para la estima de la ETc con la metodología de Penman–Monteith (Allen et al., 1998), y el coeficiente de cultivo mensual (Castel et al., 1987).

	Riego aplicado (mm)	ETo (mm)	Lluvia (mm)
Jun	49,3	168	21,8
Jul	52,8	176,9	0
Ago	78,4	144,1	1
Sep	46,1	98	94,6
Oct	33,6	67,3	6,4
Nov	6,9	53,4	23,2
Dic	1,9	32,2	3
Ene	16,4	53,4	6,8
Feb	29,1	73,4	5,1
Mar	35,9	103,5	19,8
Abr	36,8	115,4	25
May	39,6	150,4	16,4
Jun	47,3	180,5	1,4
Total	474,1	1416,5	224,5

Tabla 2. Datos de riego, ETo y lluvia.

El agua de riego utilizada se caracterizó por un pH elevado, en torno a 8, y una conductividad eléctrica que varía entre 2.6 dSm⁻¹ y 1.2 dSm⁻¹, en función de si el agua del trasvase Tajo-Segura es mezclada en mayor o menor proporción con agua de pozo salina. El agua aporta Ca, Mg, y S, SO₄²⁻, Na y Cl dependiendo de la mezcla realizada. Los sacos de cultivo, en nuestro caso la fibra de coco, parte con altas concentraciones de K y Cl, y en menor cantidad Na. Hasta mediados de mayo del 2016 se han utilizado un total de 24 g de N, 11.5 g de P y 22,7 g de K, por árbol. Se han utilizado los fertilizantes hidrosolubles; nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico y fosfato monoamónico, que se han aportado al árbol a través del agua de riego.

Para obtener más información sobre el volumen de agua de riego necesario para limpiar los sacos, se realizó una recogida y análisis de la CE y pH, tanto del

agua de riego como del drenaje en sacos, viéndose claramente como a partir de marzo de 2016, se comenzaron a obtener valores satisfactorios (ilustración 11).

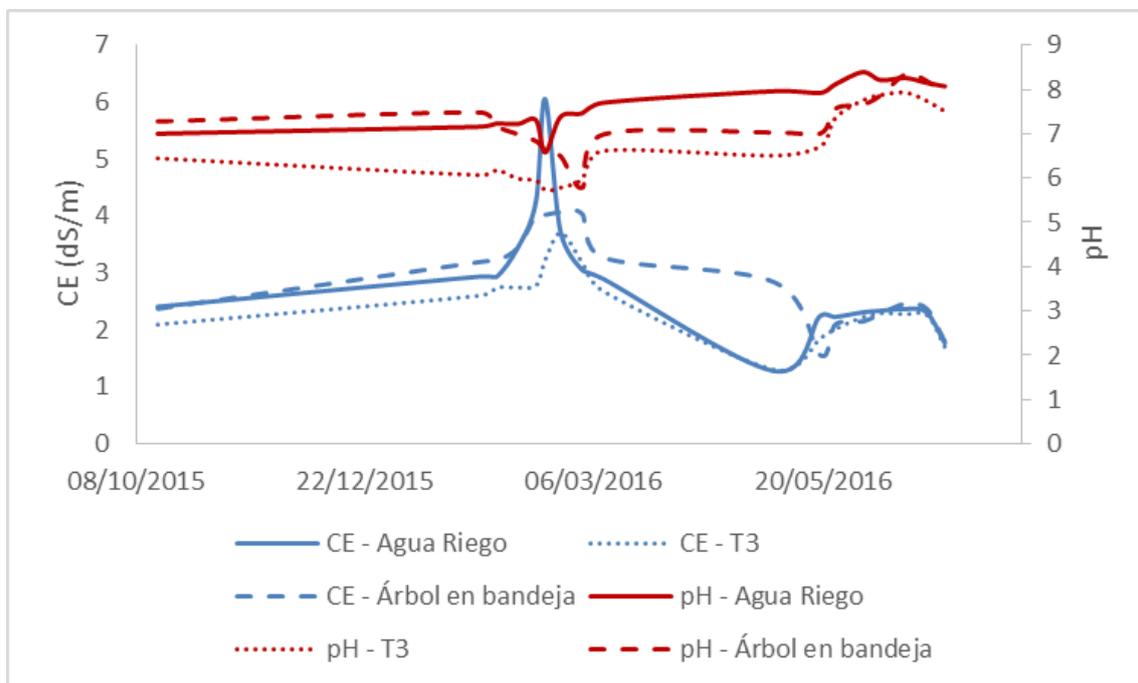
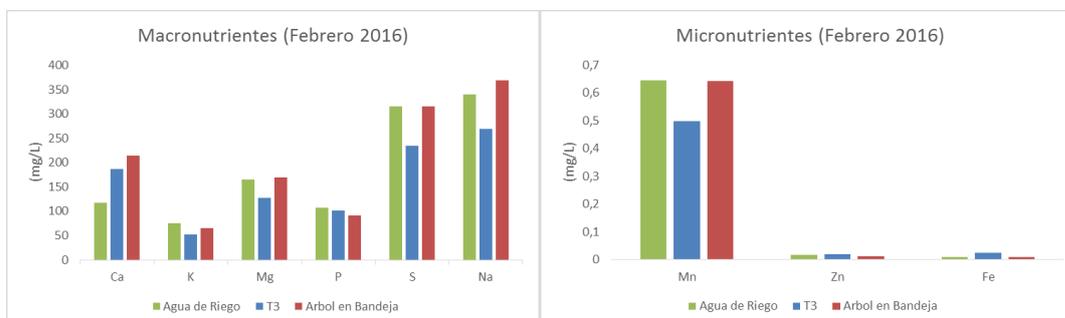


Ilustración 11. CE y pH de los drenajes y agua de riego

Con respecto a la absorción de nutrientes, se realizaron análisis de macro y micro nutrientes en el agua de riego, en el drenaje de saco enterrado (T3) y saco sobre bandeja. Para ver el efecto del suelo, se realizaron análisis en los dos periodos diferenciados climáticamente, febrero y junio. Se observó como en la época fría hubo un lavado prácticamente del 100% de los macro y micro nutrientes en el saco sobre bandeja y una pequeña asimilación (en torno al 20%) en el saco enterrado (Ilustración 12 a).



En el periodo más cálido, la tendencia fue similar, incluso hubo una mayor pérdida de nutrientes en el tratamiento de saco enterrado, debido posiblemente al mayor volumen de agua aplicado (ilustración 12 b).

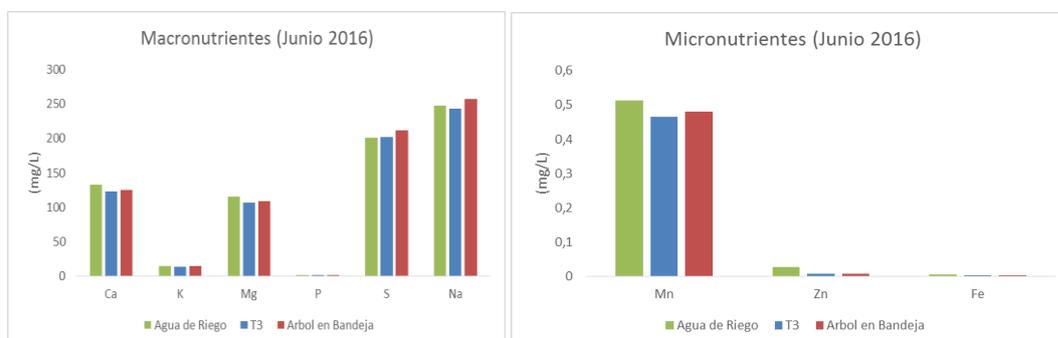


Ilustración 92. Concentración media de diferentes elementos en los drenajes y agua de riego. Macronutrientes y micronutrientes en febrero (a) y junio de 2016 respectivamente (b).

Esta pérdida de nutrientes en ambos drenajes puede deberse a diversos factores como pueden ser, la juventud de los árboles, su escaso desarrollo radicular o incluso el no efecto amortiguador y de reserva del suelo al desarrollarse el riego en sustrato.

4.2 Temperatura, Contenido del agua y CE en el suelo

4.2.1. Temperatura

Tras analizar las medidas de temperatura se observa como en los tres tratamientos ésta aumenta conforme se avanza en el tiempo, pues la toma de medidas comenzó en el mes de febrero y se dio por finalizada en junio. Además, queda patente, tal como se muestra en el gráfico a continuación, que el tratamiento que mejor amortigua los gradientes térmicos entre el día y la noche es el de saco enterrado (T3), siendo las diferencias prácticamente similares en el tratamiento del árbol en suelo (T1). El tratamiento de saco en superficie (T2), mostró las mayores oscilaciones térmicas, por lo que se refleja el poder amortiguador del suelo (ilustración 13).

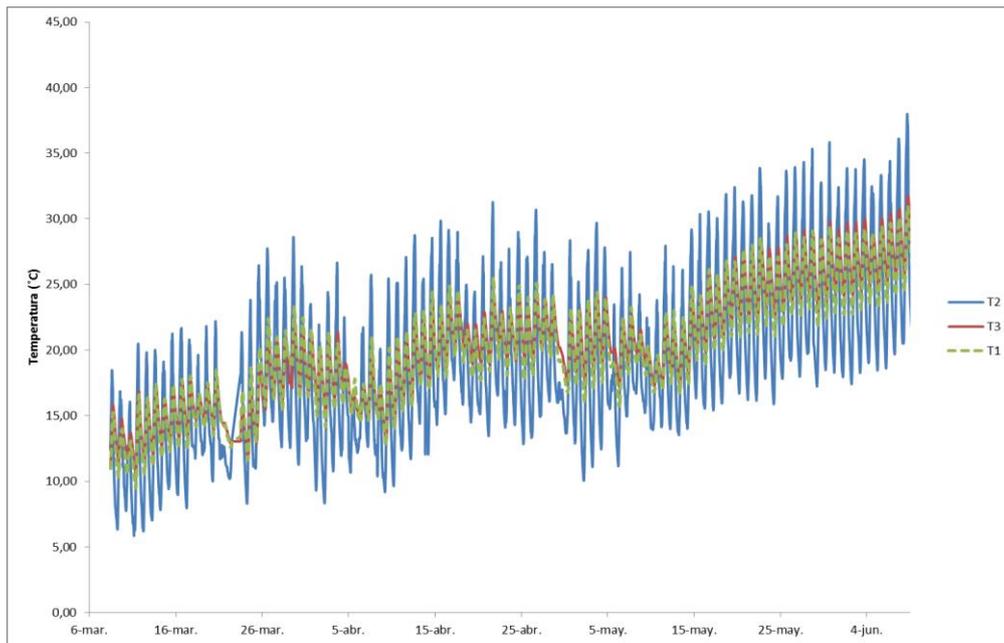


Ilustración 13. Evolución de la temperatura durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos

Los mayores valores de temperatura se obtuvieron en el tratamiento T2 (37°C). Se ha demostrado que la tasa de absorción de sales y nutrientes aumenta con la temperatura, hasta los 40°C aproximadamente, para decaer a temperaturas mayores. Hay diferencias entre especies en cuanto a la capacidad de absorber iones del medio a distintas temperaturas (Klock, 1995). Observando la evolución diaria en los tres tratamientos, se observa claramente la mayor oscilación térmica entre el día y la noche de T2 (ilustración 14).

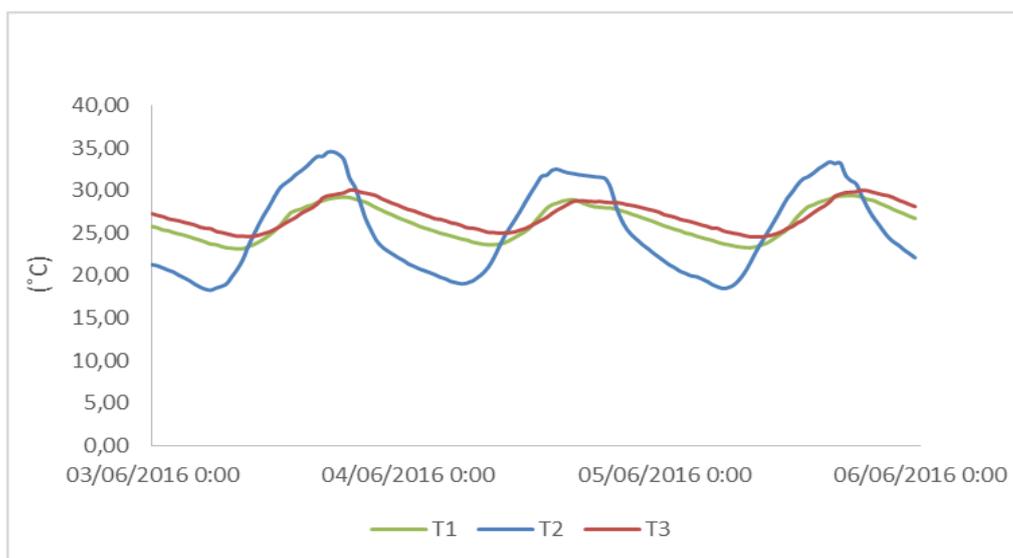


Ilustración 14. Detalle de oscilación térmica entre el día y la noche

Aunque los primeros estudios sobre el efecto de la temperatura de la zona radicular en la adquisición y asimilación de nutrientes, se remontan a los 50 (Cooper, 1973; Hagan, 1952; Miller, 1986; Nielsen, 1974), siguen existiendo numerosos factores recientemente estudiados que hacen difícil la interpretación en numerosos estudios. La respuesta de la planta a los cambios de temperatura en la zona radicular, es difícil de valorar debido a la interacción entre los múltiples cambios que sufre la planta (morfología de las raíces, crecimiento de raíz y tallo, cambios en la fotosíntesis, respiración, etc...) (Klock, 1995).

Sin embargo, hay estudios que aseguran que las raíces en cítricos, se aclimatan para controlar temperaturas superiores a los 23°C, reduciendo su metabolismo en suelos cálidos. Esto demuestra el interés de este tipo de estudios a largo plazo, conforme el sistema radicular se vaya desarrollando (Bryla y col.,2001).

4.2.2. Contenido en agua

En este caso, los valores obtenidos para el tratamiento de árbol en suelo (T1) son claramente inferiores a los obtenidos para saco enterrado (T3) y saco en superficie (T2). Estos dos últimos tratamientos presentan valores de orden más similar. Sin embargo, cabe destacar que la progresión seguida en los tres tratamientos es bastante similar en el tiempo.

En condiciones de suelo seco, la respiración radicular disminuye gradualmente desde el 6% de contenido de agua en el suelo hasta su mínimo de <2% (Bryla y col.,2001). Tras estos resultados preliminares, parece claro el efecto beneficioso de retención de agua que produce el sustrato de fibra de coco con respecto al suelo.

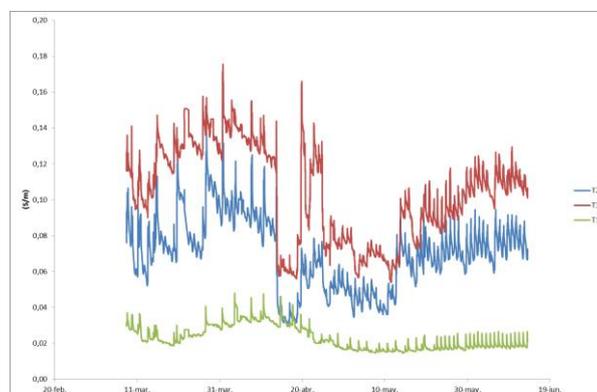


Ilustración 15. Evolución del contenido en agua durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos

4.2.3. Conductividad eléctrica

Tras un periodo inicial de estabilización de los sensores, se observó a partir de mayo, como la mayor retención de agua producida en los tratamientos en saco (T2 y T3), produjo una mayor acumulación de sales, siendo mayor en T3 (ilustración 16). Aunque los valores alcanzados no suponen un riesgo de salinización, es importante continuar monitorizando la evolución de los sacos para poder evaluar el ciclo de vida de los mismos.

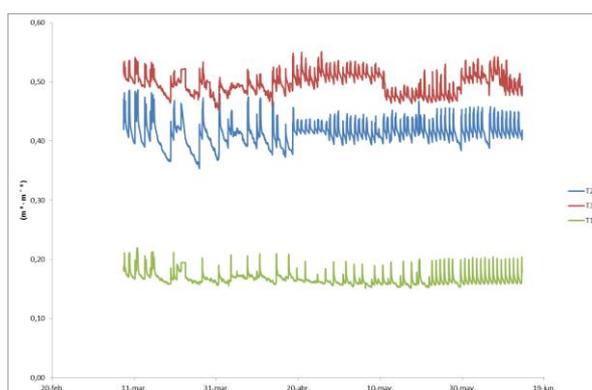


Ilustración 16. Evolución de la conductividad eléctrica durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos

4.3 Medidas en planta

4.3.1. Crecimiento y producción de biomasa

Volumen de la copa

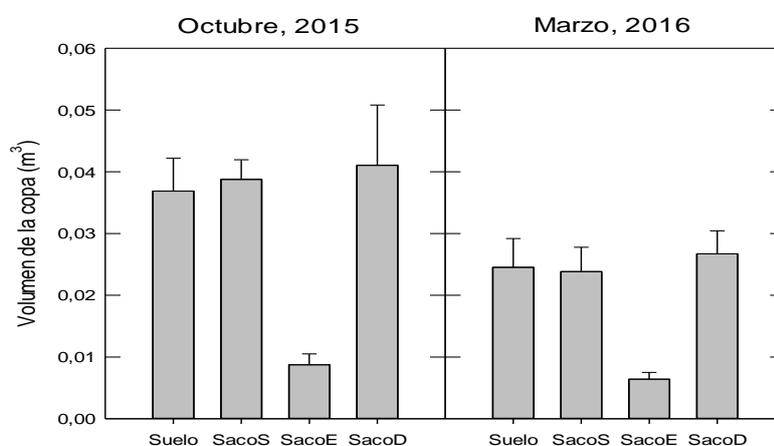


Ilustración 17. Medidas de volumen de copa en dos momentos diferentes del estudio

Las diferencias de volumen de copa reflejan el menor crecimiento de los árboles con los sacos enterrados (SacoE-T3) (ilustración 17), respecto al resto de tratamientos. La disminución del volumen de copa en marzo de 2016 respecto a octubre 2015, se debe a la poda de formación. El estrés hídrico en los cítricos inhibe el crecimiento vegetativo, produciéndose una disminución en la elongación de los brotes, en el desarrollo foliar y en del perímetro del tronco (Ortuno y cols., 2004). Esta diferencia de copa en T3, puede deberse a un estrés hídrico por exceso de agua, al ser el tratamiento con mayor humedad acumulada, aunque debido a la corta edad de los árboles, es necesario continuar con el estudio hasta que lleguen a la edad adulta.

4.3.2. Estado hídrico de las plantas

Potencial hídrico

A nivel hídrico, todos los tratamientos estuvieron bien regados, obteniendo unos valores de potencial hídrico entre -0.70 MPa and -1.10 MPa, como recoge la bibliografía (Pérez-Pérez et al., 2008). Se ha demostrado que los cítricos son capaces de restablecer de forma efectiva el balance osmótico existente entre la planta y el entorno, consiguiendo regular el potencial hídrico foliar y asegurar el flujo de agua (Bañuls y Primo-Millo, 1992;1995).

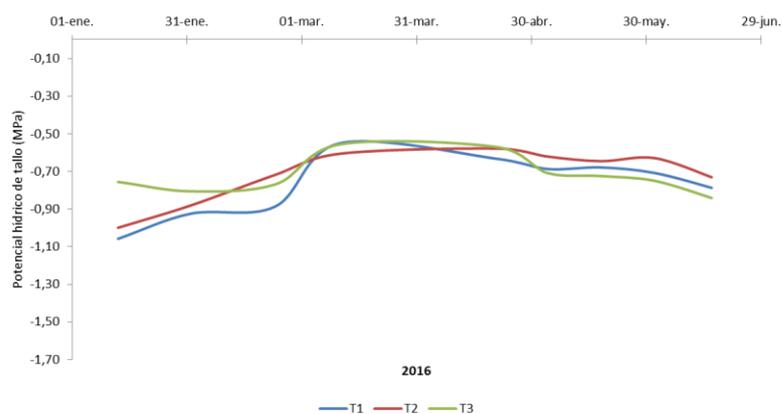


Ilustración 18. Evolución del potencial hídrico durante el periodo de estudio en los diferentes tratamientos

Fotosíntesis, conductancia estomática y eficiencia en el uso del agua

Las reducciones en los parámetros de intercambio gaseoso, están controladas por la variedad (Bañuls y cols., 1990; 1996; 1997). En la variedad estudiada, se observó cómo los tres tratamientos mostraron una tendencia similar y los valores obtenidos de Fn y Gs fueron similares a los recogidos para cítricos (Jifon and Syvertsen, 2003). A nivel de eficiencia de uso del agua, aunque T2 mostró una ligera disminución, los tres tratamientos mostraron valores similares.

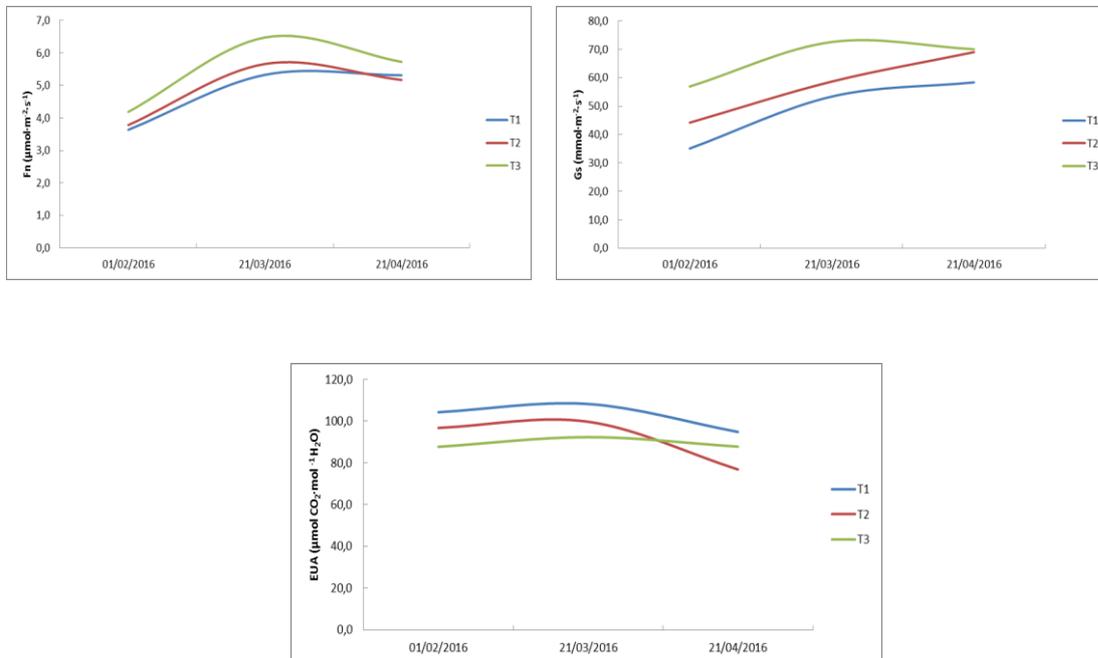


Ilustración 19. De arriba abajo, izquierda a derecha: Fotosíntesis neta (Fn), conductancia estomática (Gs) y eficiencia en el uso de agua (EUA) en tres momentos del periodo de ensayo.

Se ha demostrado en diferentes estudios realizados en cítricos, que esta especie mantiene estables sus relaciones hídricas frente a diferentes estreses abióticos (Pedrero y col 2012a; 2012b). Resultados similares pudieron verse durante la experiencia ya que, en general, no se vieron diferencias significativas en las relaciones hídricas entre los diferentes tratamientos

4.3.3. Estado nutricional de las plantas

La concentración de nitrógeno total en hoja fue muy alta (óptimo de 2.4 a 2.7 %) (Ramos, 1996). Aunque no podemos decir si hubo diferencias significativas en julio de 2015 entre tratamientos, los árboles con Saco Enterrado (T3), tenían la mayor concentración de N total. En enero y abril de 2016 la concentración era claramente mayor en los árboles plantados directamente en saco (T4, en este tratamiento, los árboles se encuentran plantados directamente en el saco de sustrato). Por su parte el carbono total no podemos decir que haya diferencias entre los tratamientos. En enero de 2016, y atendiendo a los árboles no plantados directamente en saco (T4), la relación C/N es inferior en los árboles con saco enterrado (T3), especialmente en enero del 2016. Posiblemente esta disminución es el resultado de una menor capacidad de acumular carbono en la parte aérea a favor de la raíz, y una mayor concentración de N debido a la reducción de biomasa aérea de los árboles en este tratamiento. Teniendo en cuenta que hay variaciones estacionales en la concentración de N total y la edad de los árboles, se recomienda realizar análisis foliares con una mayor periodicidad. También convendría realizar medidas de NO_3^- en hoja para completar el análisis foliar y ver en qué forma lo está absorbiendo la planta.

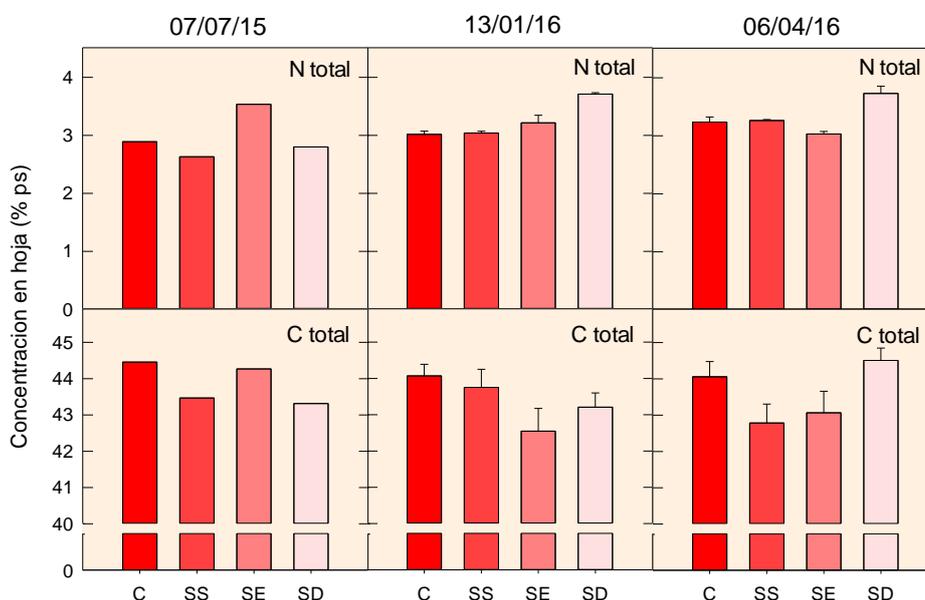


Ilustración 20. Concentración de N y C totales

Al igual que el N total, la concentración de fósforo en hojas se encuentra por encima del óptimo (óptimo 0,12-0,15%) (Ramos, 1996). En el muestreo de enero de 2016, se vuelve a repetir que en los sacos plantados directamente en saco (T4)

la concentración es mayor que en el resto de tratamientos. El azufre, ha tendido a estabilizarse ligeramente por encima de la zona de concentración óptima (óptimo 0.2-0.3%) (Ramos, 1996).

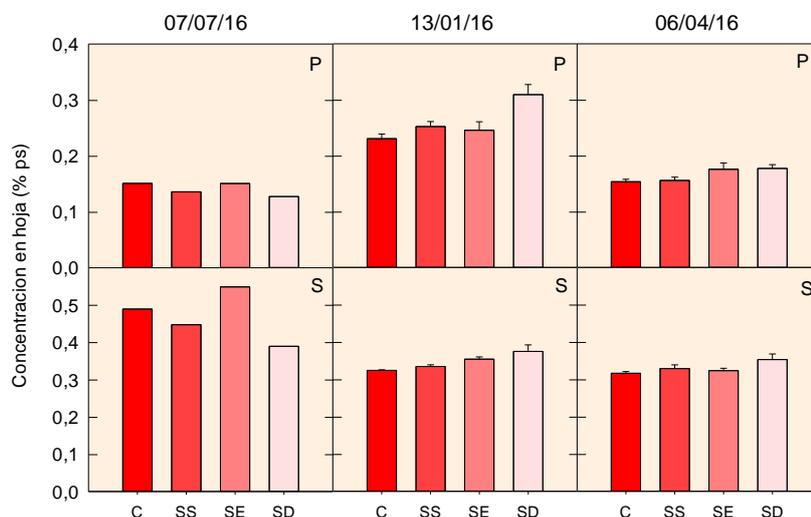


Ilustración 21. Concentración de fósforo y azufre en hoja

Las concentraciones de Ca y Mg en hoja se encuentran dentro de la zona óptima; 3-5% para el calcio, 0.25-0.45 % para el magnesio (Ramos, 1996). Como ocurre con el N total, el Ca también parece acumularse en la parte aérea de los árboles con saco enterrado (T3). Ello podría deberse a una mayor proporción Raíz/PA de éstos árboles y por tanto mayor absorción de Ca y su concentración en la parte aérea. El magnesio, tiende a acumularse en las hojas de los árboles plantados directamente en saco (T4). Por su parte el K, al igual que pasa con el N y el P, está por encima de la zona óptima (0.7-1%) (Ramos, 1996). La mayor concentración de K se encuentra en los árboles con saco en superficie (T2).

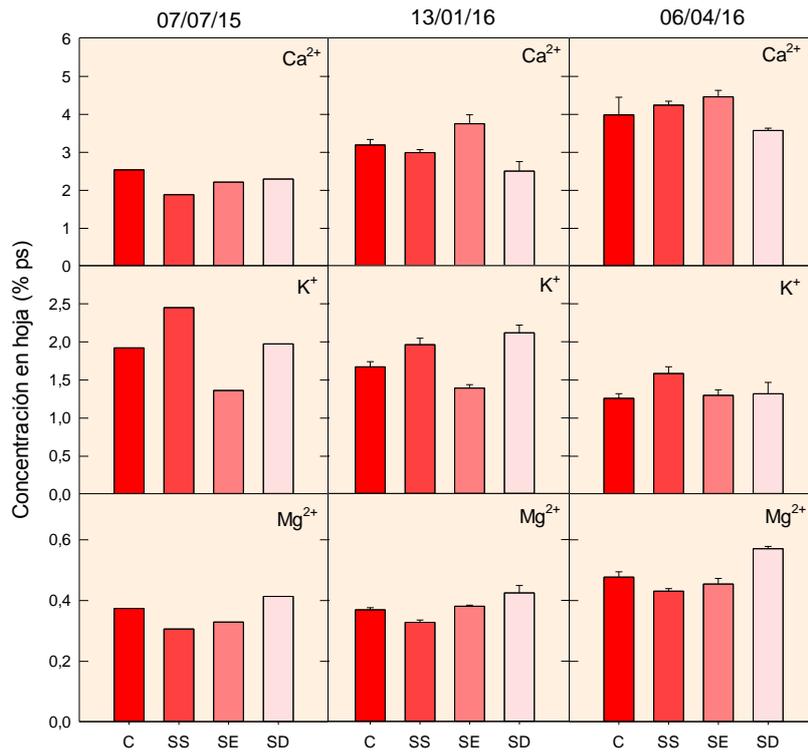


Ilustración 22. Concentración de iones calcio, potasio y magnesio en hoja

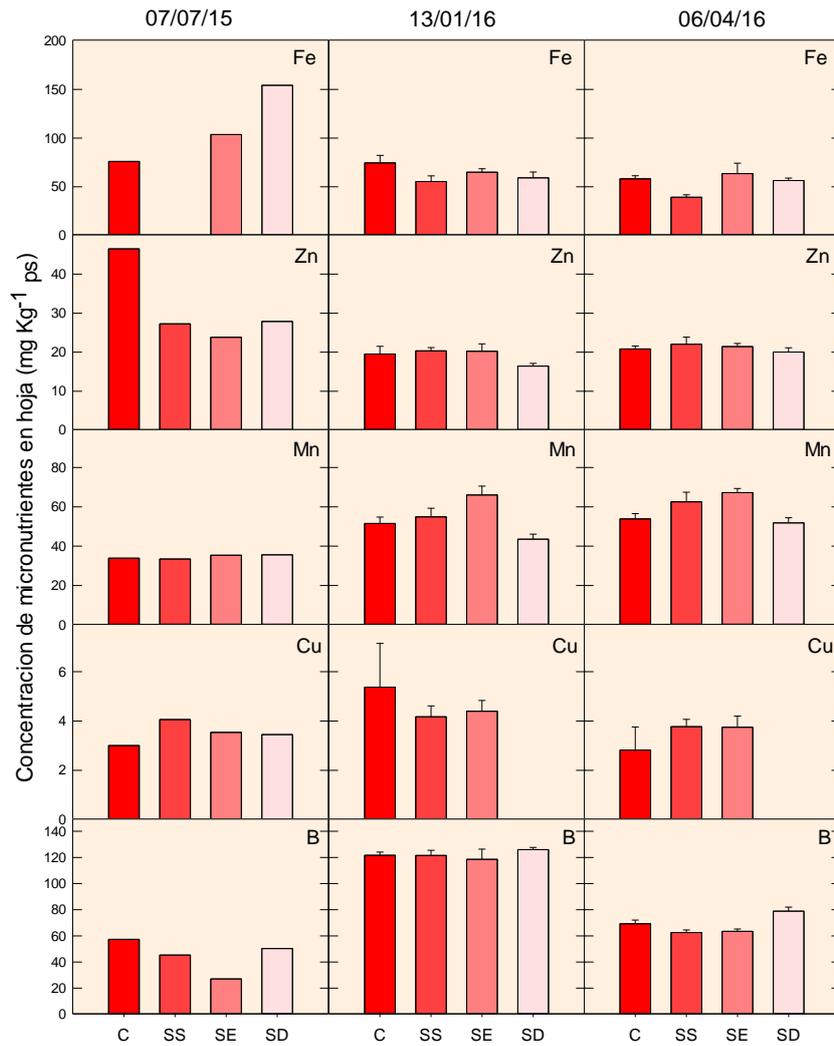


Ilustración 23. Concentración de microelementos

La concentración de microelementos, en general, se mantuvo dentro de los rangos normales para cítricos (Ramos, 1996), excepto para el boro. La concentración de boro, pese a haber disminuido en 2016, sigue estando cerca del límite de toxicidad de B en cítricos ($>100\text{mgL}^{-1}$; Legaz et al., 1995). Se ha demostrado la importancia del control de este elemento en cítricos, en zonas agrícolas con climas semi-áridos (Pedrero y col., 2014; 2015)

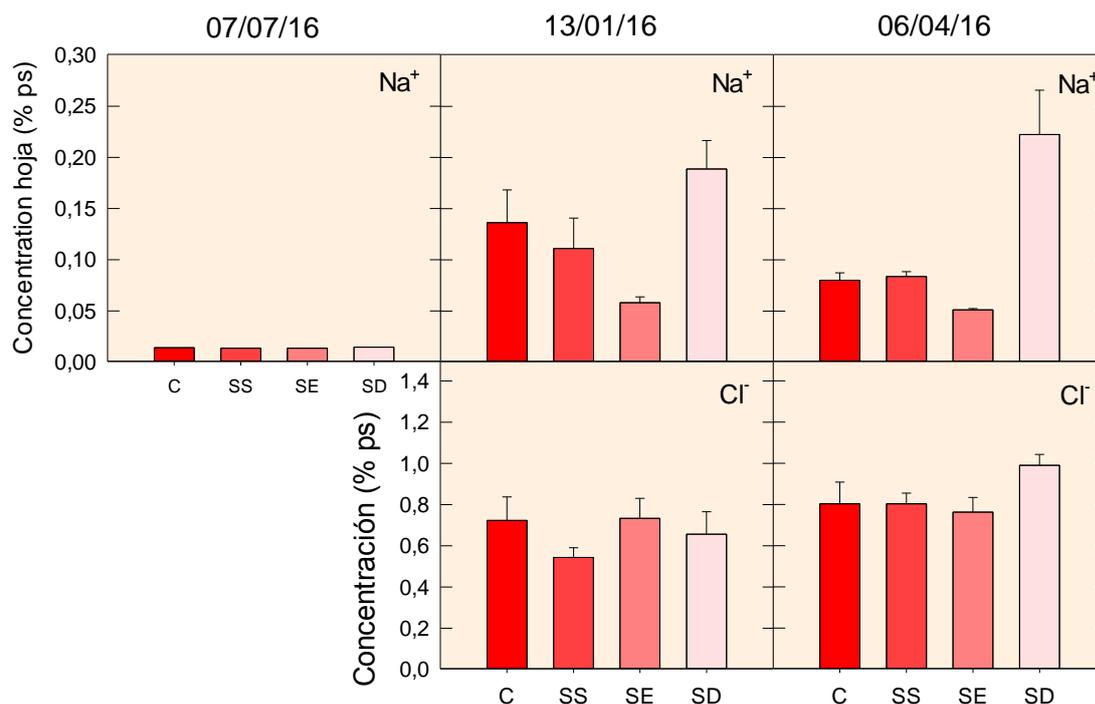


Ilustración 24. Concentración de iones sodio y cloro

Por último, indicar que las concentraciones de Na y Cl encontradas en hoja son un reflejo de la calidad del agua de riego. Ambos iones se están acumulando en las hojas de los árboles plantados directamente en saco (T4). Por su parte la concentración de Na es menor en los árboles con saco enterrado (T3), reflejando posiblemente, la menor dependencia de estos árboles del agua aportada con el riego, a favor del agua de lluvia, o la posibilidad de una interacción entre el Ca y el Na. En todos los tratamientos, es preocupante sobre todo la concentración de Cl en hoja que supera los límites de toxicidad en cítricos (< 0.6%), no siendo así para el Na (<0.5%) (Ramos, 1996).

En resumen, tras los análisis foliares realizados, parece claro un exceso de N-P-K en la parte aérea de la planta que podría deberse a la sobrefertilización, agravada ésta por las podas realizadas, que han descompensado el equilibrio entre PA y raíz. Las mayores diferencias debido a los tratamientos se encuentran entre los árboles plantados directamente en saco (T4) y el resto de los tratamientos. En general, algunos elementos como el Mg y el S tienden a incrementar su concentración en hoja en los árboles plantados directamente en saco (T4), y de forma más clara el Na y el Cl. El menor tamaño de la parte aérea de los árboles con saco enterrado (T3) y posiblemente la mayor proporción Raíz/PA de éstos árboles, podría estar detrás de la acumulación de algunos

nutrientes (N, Ca, P, Mn) en hoja en este tratamiento. Especialmente importante en zonas agrícolas como la Región de Murcia es la acumulación de elementos fitotóxicos como Na, Cl y B, debido a la baja calidad de las aguas de riego (Pedrero y col., 2015), sobre todo en etapas tempranas del cultivo.

5. Conclusiones

Se ha demostrado que el cultivo de frutales en hidropónico, supone un gran conocimiento agronómico en el manejo del fertirriego debido principalmente y entre otros factores, al suelo como elemento amortiguador y de reserva.

Entre los factores más interesantes a estudiar en este sistema de cultivo, está la temperatura ya que se han visto grandes diferencias en un sistema de cultivo y otro y dependerá mucho entre especies, en cuanto a la capacidad de absorber iones del medio a distintas temperaturas.

Por otra parte, queda patente la necesidad de la realización de estudios previos de fertirriego para obtener información del volumen de agua necesario a aplicar para evitar un lavado excesivo de nutrientes al subsuelo y contaminación de acuíferos, una salinización del sustrato y una posible fitotoxicidad en la planta.

A nivel fisiológico, se ha mostrado que los cítricos como especie a aplicar estos sistemas de cultivos, se adaptan bien a nivel fotosintético e hídrico, aunque debido a la corta edad de los árboles utilizados en el ensayo, son necesarios estudios a largo plazo para ver el efecto en árboles más adultos. Igualmente, ha quedado patente que cuando se utilizan estas técnicas en árboles pequeños, es necesario un monitoreo más intenso para evitar posibles fitotoxicidades que afecten al futuro rendimiento de la plantación.

Tras los resultados preliminares obtenidos y debido a la escasa información sobre estudios de este tipo, existe un gran interés del cultivo hidropónico de frutales, debido a la cada vez mayor falta de suelo agrícola en buenas condiciones.

6. Bibliografía

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and Smith., M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. *Irrig. Drain.* 56, FAO, Rome.
- Angelakis, A. y Spyridakys, S., 1996. The status of water resources in Minoan times: a preliminary study. Angelakis and Issar Editors, *Diachronic Climatic Impact on Water Resources in Mediterranean Region*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania.
- APHA-AWWA-WEF, 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998). 20th Ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Asano, T., 1998. Editor. *Wastewater Reclamation and Reuse*. Vol. 10. *Water Quality Management Library*. Technomic Publishing Inc. Lancaster, PA EE.UU.
- Asano, T., 2001. Water from (waste) water – The dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture). *Water Science and Technology*, Vol. 45, No 8 pag. 23-33.
- Asano, T. y Levine, A., 1996. *Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future*. *Water Science and Technology*. Vol. 33, No 10-11 pág. 1-14.
- Arrojo, P., 1998. *Perspectivas socio-económicas del uso del agua en el regadío en España*. Tecnología del Agua.
- Ayers, R. S. y Westcot, D.W., 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rome (Reprinted, 1989, 1994).
- Bailenger, J., 1979. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. *J. Amer. Med. Tech.* 41:65-71.
- Bañuls, J., Serna, M.D., Legaz, F., Talon, M. and Primo-Millo, E. 1997. Growth and gas exchange parameters and water relations of citrus plants stressed with different salts. *J. of Plant Physiol.* 150: 194–199.

-
- Bañuls, J., Primo-Millo, E. (1992) Effects of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of Citrus plants. *Physiologia Plantarum* 86:115-123
- Bañuls, J., Primo-Millo, E. (1995) Effects of salinity on some Citrus scion-rootstock combinations. *Annals of Botany* 76:97-102
- Bañuls, J., Legaz, F., Talón, M., Primo-Millo, E. (1997) Effect of salinity on uptake and distribution of chloride and sodium in some citrus scion-rootstock combinations. *Horticultural Science* 65: 715-724
- Bañuls, J., Serna, M. D., Legaz, F., Talón, M., Primo-Millo, E. (1996) Factors underlying the response to salt stresses in citrus trees. VIII Congress of the International Society of Citricultura, Sun City Resort, South Africa, p.58
- Bar-Tal, A., Feigenbaum, S. and Sparks, D.L., 1991. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. *Irrig. Sci.* 12: 27-35.
- Barty-King, H., 1992. *Water The Book, an Illustrated History of Water Supply and Wastewater in the United Kingdom.* Quiller Press Limited, London, U.K.
- Baruth, B., Genovese, G. and Montanarella, L., 2006. New soil information for the MARS Crop Yield Forecasting System. Joint Research Centre of European Commission, Ispra.
http://eusoils.jrc.it/projects/sinfo/pdf/mars_crop_yield_forecasting_system.pdf, p. 95.
- Basiouny, F. M., 1984: "The use of municipal treated effluent for peach tree irrigation", *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, nº 97, 345-347.
- Bole, J. B. y R. G. Bell., 1978: "Land application of municipal sewage wastewater: Yield and chemical composition of forage crops", *Journal of Environmental Quality*, nº 7, 222-226.
- Bouwer, H., 1992. *Agricultural and municipal use of wastewater.* Water Science and Technology.
- Bresser, E., McNeal, B.L., Carter, D.L., 1982. *Saline and Sodic Soils. Principles-Dynamics-Modeling.* SpringerVerlag. New York, NY.

-
- Bryla, D. R., Bouma, T. J. Hartmond, U. and Eissenstat D. M., 2001. Influence of temperature and soil drying on respiration of individual roots in citrus: integrating greenhouse observations into a predictive model for the field. *Plant, Cell and Environment* 24: 781–790
- Burton, T. M. y J. E. Hook, .1979: “A mass balance study of application of municipal wastewater to forest in Michigan”, *Journal of Environmental Quality*, nº 8, 589-596.
- Blancas, C.; López, J.; Castillo, A.; Cabrera J.J.; Fernández, M.P.; García-Villanova, B.; Hernández J.A.; Laguna, J.; Nogales, R.; Picazo, J., 1994.Reutilización aguas residuales. Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas. Junta de Andalucía. Consejería de Salud. Fundación Empresa Universidad de Granada. 255 pp.
- Campbell, W. F., 1983: “Alfalfa, sweet corn, and wheat responses to long-term application of municipal wastewater to cropland”, *Journal of Environmental Quality*, nº 12, 234-249.
- CARM, 2007. El Agua y la Agricultura en la Región de Murcia. Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- CARM, 2009. Estadísticas agrícolas. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia.
- Castel, J.R., Bautista, I., Ramos, C. and Cruz, G. 1987. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrig. Drain. Syst.* 3: 205-217.
- Castel, J. R. y Buj, A. 1993. Riego por goteo deficitario en naranjos adultos Salustiana durante siete años. *Revista Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, v.8, n.2, p.191-204.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2002., <http://hispagua.cedex.es>, desalación.

-
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. and Van Heek L., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 106: 307–312.
- Chapman, H.D., 1968. The mineral nutrition of Citrus. In: W. Reuther, L.D. Batchelor and H.J. Webber, eds., *The Citrus industry*, pp. 127-274.
- Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (CARM), 2007. *El Agua y la Agricultura en la Región de Murcia. Un modelo de eficiencia*.
- Cooper, A.J. 1973. *Root temperature and plant growth*. Commonwealth Agric. Bureaux, Farnham Royal, England.
- Crisosto, C.H., Day, K.R., Johnson, R.S. and Garner, D. 2000. Influence of in-season foliar calcium sprays on fruit quality and surface discoloration incidence of peaches and nectarines. *J. Am. Pomol. Soc.* 54: 118–122.
- CHS, Confederación Hidrográfica del Segura, 2009.
- Dyson, T. 1999. *World food trends and prospects to 2025*. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 96, 5929–5936.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1986. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Paper 24. FAO of the United Nations. Roma (Italia), 194 pp.
- Egea, G.; Baille, A; Nortes, P. A.; Domingo, R.; González-Real; M^a.M., 2008. *El Riego Deficitario y sus Implicaciones para una Gestión Eficiente del Agua en Explicaciones Frutícolas*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Murcia (ESAMUR). www.esamur.com
- ESYRCE, 2010. *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos en España*, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Feigin, A., I. Vaisman y H. Bielorai 1984: "Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: II Nutrient availability in soil", *Journal of Environmental Quality*, nº 13, 234-238.

-
- FEPEX, 2010. Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas Vivas.
- Fereres, E. y Connor, D.J., 2004. Sustainable water management in agriculture. In: Cabrera, E., CoBacho, R., eds. Challenges of the new water policies for the XXI century. Lisse, The Netherlands: A.A.
- Fereres, E. y Goldhamer, D.A., 1990. Deciduous fruit and nut trees. In: Irrigation of Agricultural Crops. B.A. Steward and D.R. Nielsen (Eds.), Agronomy no 30. Published by ASA, CSSA y SSA, Madison. Wisconsin. USA. 987-1017.
- Fereres, E. y Soriano, M^a A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Instituto de Agricultura sostenible, CSIC, Córdoba y Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba, España.
- Gelly, M., Recasens, I., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J., Girona, J. and Marsal, J., 2003. Effects of water deficit during stage II of peach fruit development and postharvest on fruit quality and ethylene production. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78: 324–330.
- Gil, M. I., Ferreres, F. and Tomás-Barberán, F. A., 1999. Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2213–2217.
- Girona, J., Mata, M., Arbonés, A., Alegre, S., Rufat, J. and Marsal, J., 2003. Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128: 432–440.
- González-Altozano, P. and Castel, J.R., 1999. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects, *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74 (6): 706–713.
- Grobicki, A. y Cohen, B., 1999. A flow balance approach to scenarios for water reclamation. *Water SA.* Vol. 25. No. 4.
- Hagan, R.M. 1952. Temperature and growth processes, p. 336-366. In; B.T. Shaw (ed.). *Soil physical conditions and plant growth.* Academic Press Inc., New York, N.Y.

-
- Hasek, R. F., 1986: "Water conservation and recycling in ornamentals production", Hortscience, nº 21 (1), 35-38.
- Hutchinson, D.J., 1977. Influence of rootstock on the performance of "valencia" sweet orange. Proc. Int. Soc. Citriculture Cong. (Orland). 2: 523-525.
- IEA., 2010. Reutilización de aguas regeneradas. Aspectos tecnológicos y jurídicos. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. 9: 171-193.
- INE. Instituto Nacional de Estadística.
- Jifon, J., Syvertsen, J.P., 2003. Moderate shade increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. Tree Physiol. 23, 119–127.
- Kijne, J.W., 2003. Water productivity under saline conditions. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 89–102.
- Klock, Kimberly Anne, "Root-zone temperature effects on the nutrient uptake of horticultural crops " (1995). Retrospective Theses and Dissertations. Paper 10952.
- Lapeña, L.; Escorín, V.; Cerezo, M.; Flors, V.; García, P., 2002. Riego con agua residual urbana depurada en la Plana de Castellón: Un estudio de diez años. Dpto. Ciencias Experimentales ESTCE. Área de Fisiología Vegetal. Universitat Jaume I de Castellón.
- Lazarova, V. y Bahri, A., 2005. Irrigation with Recycled Water: Agriculture, Turfgrass and Landscape, CRC Press, catalogue no. L1649, ISBN 1-56670-649-1, Boca Raton, FL, USA.
- Legaz, F., Serna, M.D., Ferrer, P., Cebolla V. and Primo-Millo, E., 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana.
- Levy, Y. y Syvertsen J.P., 2004. Irrigation water quality and salinity effects in citrus trees. Horticultural Reviews. 30: 37–82.

-
- Li GB, Li YK, Xu TW, Lio YZ, Jin H, Yang PL, Yan DZ, Ren SM, Tian ZF., 2011. Effects of average velocity on the growth and surface topography of biofilms attached to the reclaimed wastewater drip irrigation system laterals. *Irr Sci* (DOI 10.1007/s00271-011-0266-4).
- Li, S.H., Huguet, J.G., Schoch, P.G. and Orlando, P., 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phonological stages of fruit development. *J. Hortic. Sci.* 64: 541–552.
- Manafi, M. and Kneifel, M., 1989. A combined chromogenic-fluorogenic medium for the simultaneous detection of total coliforms and *E. coli* in water. *Zentralabl. Hyg.* 189; 225- 234.
- MARM. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Maas, E.V., 1993. Salinity and citriculture. *Tree Physiol.* 12: 195-216.
- Maurer, M.A., Davies, F.S., and Graetz, D. A., 1995. Reclaimed wastewater irrigation of reser Marsh grapefruit trees. Hortucultiral Sciencie Dept., Soil and Water Science Dept. University of Florida, Gainesville, Fla. 32611. *Proc.Fla. State Hort. Soc.* 108:93-99.
- McCutchan, H. and Shackel, K.A., 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 607–611.
- Miller, D. E. 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *HortScience* 21:963-970. 17. Nielsen, K. F. 1974. Roots and root temperature, pp. 293-333. IN; E.W. Carson (ed.) *The plant root and its environment.* University Press of Virginia, Charlottesville, VA
- Mitchell, P.D., Chalmers, D.J., Jerie, P.H. and Burge, G., 1986. The use of initial with holding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*111: 858–861.
- Mitchell, P.D. and Chalmers, D.J., 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*107: 853–856.

-
- Mohsen, M.S. y Al-Jayyousi, O.R., 1999. Brackish water desalination: an alternate for water supply enhancement in Jordan.
- Morgan, K.T., Wheaton, A., Parsons, L.R. and Castle, W.S., 2008. Effects of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus. *Hort. Sci.* 43(2):459–464.
- Morugán-Coronado, A., García-Orenes F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Mataix-Beneyto, J., 2011. Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. *Soil & Tillage Research* 112, 18-26.
- Naor, A., Gal, Y. and Peres, M., 2006. The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements. *Irrig. Sci.* 24: 129–135.
- Neilsen, G. M., D. S. Stevenson y J. J. Fitzpatrick, 1989a: “The effect of municipal wastewater irrigation and rate on N fertilization on petiole composition, yield and quality of Okanagan Riesling grapes”, *Canadian Journal of Plant Science*, nº 69, 1285-1294.
- Neilsen, G. M., D. S. Stevenson, J. J. Fitzpatrick y C. H. Brownlee, 1989b: “Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater”, *Hortscience*, nº 24, 249-252.
- Nicholaichuk, W., Leyshon, A.J., Jame, Y.W. and Campbell, C.A., 1988. Boron and salinity survey of irrigation projects and the boron adsorption characteristics of some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 68: 77-90.
- Olcina, C. J., 2002. Planificación hidrológica y recursos de agua no convencionales en España. Insuficiencias hídricas y Plan Hidrológico Nacional. Edición de A. Gil Olcina y A. Morales Gil. Edición digital basada en la edición, Alicante, Caja de Ahorros del Mediterráneo, Instituto Universitario de Geología, 2002. <http://cervantesvirtual.com/>.
- ONU, 2005. www.worldmapper.org/spanish/011_population_2050_es.pdf
- Oron, G.; Armon, R.; Mandelbaum, R.; Manor, Y.; Campos, C.; Gillerman, L.; Salgot, M.; Gerba, C.; Klein, I.; y Enríquez, C. 2001. Secondary wastewater

disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water Science and Technology*.

Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolas, E., Torrecillas, A. (2004) Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science* 167(2): 275-280

Oweis, T.Y., Hachum, A. and Bruggeman, A., 2004. Indigenous Water-Harvesting Systems in West Asia and North Africa. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.

Paranychianakis , N.V., Chartzoulakis, K.S. and Angelakis, A.N., 2004. Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on water relations and leaf gas exchange of Soultanina grapevines. *Environ. and Exp. Botany*. 52: 185–198.

Parsons, L.R. and Wheaton, T.A. 1996. Florida citrus irrigation with municipal reclaimed water. *Proc. Int. Soc. Citriculture*. 2:692-695.

Pedrero, F., 2011. Sustainable irrigation management with reclaimed water. Tesis doctoral. Departamento de Riego. Centro de Edafología y Biología aplicada al Segura. CEBAS-CSIC, Murcia, España. 143pp.

Pedrero, F., Allende, A., Gil, M.I, Alarcón, J.J. Effects of variations in quality of treated wastewater used in irrigation on soil chemical properties, leaf mineral status and crop production of lemon trees. *Agricultural Water Management* (2012a). 109: 54-60.

Pedrero, F., Maestre-Valero, J.F., Mounzer, O. Alarcón, J.J., Nicolás, E. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* (2014a) DOI:10.1016/j.agwat.2014.08.013

Pedrero, F., Maestre-Valero, J.F., Romero-Trigueros , C., Nortes, P., Pedrero, F., Mounzer, O., Bayona, J.M., Alarcón, J.J., Nicolás, E. Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management* (2015b) 166, 1–8p.

-
- Pedrero, F., Mounzer, O., Nicolás, E., Alarcón, J.J. Influence of irrigation with saline reclaimed water on young grapefruits. *Desalination and Water Treatment* (2012b) 51 (10-12): 2488-2496.
- Pérez-Pérez, J.G., Romero, P., Navarro, J.M. and Botía, P., 2008. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. *Irrig. Sci.* 26: 415–425.
- PHCS, Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura, 1995.
- PNUMA, 2000. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. www.pnuma.org.
- Porras, I. Manera, F.J. Conesa, A. Fernández-Zapata, J.C. Ruiz, G. Córdoba, F. Yuste, L. Pérez Tornero, O., 2010. Resultados preliminares del pomelo Flame en el campo de Cartagena. IMIDA. Departamento de Física y Arquitectura de Computadores y el Departamento de producción Vegetal y Microbiológica. Universidad Miguel Hernández, Orihuela, Alicante.
- Postel, S., 1997. *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. New York: W.W. Norton & Co.
- Qadir, M. and Oster, J.D., 2004. Crop and irrigation management strategies for saline–sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture.
- Ramos, C., 1996. El riego con aguas residuales. Aprovechamiento del agua depurada en la Comunidad Valenciana. *Sanejament d'Aigües-Generalitat Valenciana* (eds) pp. 49-63.
- Reboll, V., Cerezo, M., Roig, A., Flors, V., Lapeña, V. and García-Agustín, P., 2000. Influence of wastewater vs groundwater on young Citrus trees. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1441-1446.
- Rhoades, J. D., 1982. Soluble salts, in Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R.: *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. 2nd edn., *Agronomy No 9(2)*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp.167-178.

-
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, 60. U.S. Dept. Agric. Handbook, pp. 110-118.
- Seguí, L.A. 2004. Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis Técnico-Económico y casos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, España. 256pp.
- SIAM. Sistema de Información Agraria de Murcia. <http://siam.imida.es>
- Sopper, W. E. y L. T. Kardos., 1973: "Recycling treated municipal wastewater and sludge through forest and cropland", Pennsylvania, The Pennsylvania State University Press.
- Thompson, J.N., 1982. Interaction and Coevolution, New York, John Wiley & Sons. 179 pp.
- Turner, N.C., 1988. Measurements of plant water status by pressure chamber technique. Irrig Sci. 9: 289–308.
- UNECE, 2009. Standard concerning the marketing and commercial quality control of citrus fruit. New York and Geneva. 12 pp.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) and USAID (U.S. Agency for International Development). 2004. Guidelines for Water Reuse. Washington D.C.
- Vergés, C. 1998. El agua regenerada como nuevo producto en el mercado del abastecimiento y saneamiento de las aguas. Tecnología del Agua.
- Voutchkov, N., 2004. The Ocean: a new resource for drinking water.
- York, D. W., Holden R., Sheikh, B. and Parsons, L., 2008. Safety and Suitability of Recycled Water for Irrigation of Edible Crops. In: Proceedings of the 23rd Annual WateReuse Symposium. Dallas: WateReuse Association.
- Zapata, S. and Dufour, J. P., 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic IWide simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. J. Food Sci. 57: 506–511.
- Zekri, M. and Parsons, L.R., 1990. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. Hort. Sci. 25: 784-786.

-
- Zekri, M. and Parsons, L.R., 1992. Salinity tolerance of citrus rootstocks: effects of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant Soil*. 147: 171-181.
- Zekri, M. and Koo., R.C.J., 1993. A reclaimed water citrus irrigation project. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 106:30–35.
- Zid, E. y Grignon, C., 1985. Sodium-calcium interactions in leaves of *Citrus aurantium* grown in the presence of NaCl. *Physiol. Veg.* 23: 895-90.