



Advances in Water in Agrosience

Water productivity associated to the planting system in young Nadorcott mandarin plants

Productividad del agua asociada al sistema de plantación en plantas jóvenes de mandarina Nadorcott

Produtividade hídrica em relação ao sistema de plantio em plantas jovens de tangerineira Nadorcott

Otero, Á. ; Goñi, C. ; Grasso, R. ; Machado, D. ; Rivas, C. F. 

¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Salto, Uruguay

Editor

Lucía Puppo 
Universidad de la República,
Montevideo, Uruguay

Received 29 Apr 2023
Accepted 23 Aug 2023
Published 06 Feb 2024

Correspondence

Álvaro Otero
aotero@inia.org.uy

Abstract

The main goal of citriculture in Uruguay is to increase yield, quality, and improve sustainability and efficiency of natural resources. Today, it is not possible to conceive an efficient citrus production system without the use of irrigation technologies. The aim of this work was to evaluate the irrigation water efficiency and growth conditions of different plantation systems focused on speeding up production and the improvement of water use efficiency. An experiment was installed in Nadorcott mandarin with two planting densities (909 and 1220 pl. ha⁻¹), and three plantation designs: ridges covered with white plastic cloth; uncovered ridges, and flat planting at ground level. At the end of the evaluation period, the volume of the trees planted in the covered ridges doubled those in the flat (1 m³). The trees on the flat design consistently produced fewer fruits and lower yield than those on ridges. Covered ridge showed the best performance. Soil water content remained higher and soil temperature lower in covered ridges. Overall, trees planted on ridges with or without plastic mulch allowed a better water use efficiency, and the lower soil temperature promoted a better environment for tree growth.

Keywords: citrus, mulching, planting system, water productivity

Resumen

El principal objetivo de la citricultura en Uruguay es incrementar el rendimiento, la calidad, mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos naturales. Actualmente no es posible concebir un sistema eficiente de producción de cítricos sin el uso de tecnologías de riego. El objetivo de este trabajo fue incorporar el concepto de productividad del agua al comparar diferentes sistemas de plantación enfocados en acelerar la producción. Para ello se instaló un experimento en mandarina Nadorcott con dos densidades de plantación (909 y 1220 pl. ha⁻¹) y tres diseños de plantación: camellones cubiertos con tela plástica blanca; camellones descubiertos y plantación plana a nivel del suelo. Al final del período de evaluación, el volumen de los árboles plantados sobre los camellones cubiertos duplicó al de los plantados en plano (1 m³). Los árboles en el sistema en plano consistentemente produjeron menos frutos y con menor rendimiento que las plantas sobre los camellones. El diseño de plantación en camellón cubierto mostró el mejor desempeño. El contenido



de agua del suelo se mantuvo más alto y la temperatura del suelo más baja en los camellones cubiertos. En general, los árboles plantados en camellones con o sin cubierta plástica permitieron una mejor productividad en el uso del agua y la temperatura más baja del suelo, creando mejores condiciones de crecimiento del árbol.

Palabras clave: cítricos, *mulching*, productividad del agua, sistema de plantación

Resumo

A citricultura no Uruguai tem como objetivo imediato aumentar o rendimento, a qualidade, melhorando a sustentabilidade e a eficiência dos recursos naturais. Atualmente não é possível conceber um sistema eficiente de produção de citros sem o uso de tecnologias de irrigação. O objetivo deste trabalho foi incorporar o conceito de produtividade hídrica na comparação de diferentes sistemas de plantio com foco na aceleração da produção. Para isso, foi instalado um experimento em tangerineira Nadorcott com duas densidades de plantio (909 e 1220 pl. ha⁻¹) e três desenhos de plantio: camalhões cobertos com lona plástica branca; camalhões descobertos e plantação plana ao nível do solo. Ao final do período de avaliação, o volume de árvores plantadas em camalhões cobertos dobrou em relação às plantadas planas (1 m³). As árvores no sistema plano produziram consistentemente menos frutos e rendimentos mais baixos do que as plantas nos cumes. O delineamento de plantio em camalhões cobertos apresentou o melhor desempenho. O teor de água no solo permanece u mais alto e a temperatura do solo mais baixa nas camalhões cobertas. Em geral, as árvores plantadas em camalhões com ou sem cobertura plástica permitiram maior produtividade no uso da água e menor temperatura do solo, criando melhores condições para o crescimento das árvores.

Palavras-chave: cítricos, *mulching*, produtividade hídrica, sistema de plantio

1. Introducción

La citricultura de Uruguay se enfrenta a cambios inminentes relacionados con la preferencia de los consumidores y la concientización en el cuidado del ambiente, impulsando así el desarrollo de nuevos sistemas más sustentables y eficientes en el uso de los recursos renovables, la biodiversidad y la salud. La innovación dentro de estos sistemas de producción pasa por la identificación de puntos clave de mejora en el uso de los recursos naturales involucrados en todo el proceso de producción. El manejo del suelo con diferentes cubiertas (*mulching*) es una técnica conocida y ampliamente utilizada en los cultivos hortofrutícolas a nivel mundial⁽¹⁾ que mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo⁽²⁻⁴⁾, y promueve el crecimiento del sistema radicular de las plantas y el de las comunidades de la microflora del suelo⁽⁵⁻⁷⁾. Se ha reportado que las coberturas han mejorado la productividad de mandarinas y arándanos⁽⁸⁻¹⁰⁾, generando mejores condiciones para la planta⁽¹¹⁾. La cobertura de la superficie del suelo con residuos vegetales modifica la temperatura del suelo⁽¹²⁾, pero como contraparte estos residuos vegetales podrían ocasionar la inmovilización de nutrientes⁽¹³⁾. Las coberturas también contribuyen a disminuir las fluctuaciones térmicas en la capa superior del suelo y acelerar el desarrollo del cultivo⁽¹⁴⁾. La cobertura a su vez afecta la evaporación del suelo al reducir la cantidad de energía disponible sobre la superficie del mismo, aislando la superficie de la transferencia de calor por radiación y

convección, y aumentando —según el material usado— el albedo de la superficie del suelo. En las coberturas se utiliza una amplia variedad de materiales orgánicos (vegetales) o inorgánicos tales como láminas de plástico, grava o piedras pequeñas⁽¹⁵⁾.

El potencial de rendimiento (expresado por unidad de superficie) es aquel logrado por un cultivo manejado sin limitantes de agua y nutrientes, con un control efectivo de los estreses biótico y abiótico⁽¹⁶⁻¹⁷⁾. La brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzado puede aumentar en un escenario de falta o mal uso del agua. En este sentido, es necesario desarrollar tecnologías que, en un escenario de escasez de agua, permitan maximizar el rendimiento en función del agua utilizada por el cultivo.

El concepto de eficiencia en el uso del agua o, específicamente, productividad del agua, definida como el rendimiento o el ingreso neto por unidad de agua utilizada por el cultivo⁽¹⁸⁾, motiva el diseño de nuevas tecnologías de riego⁽¹⁹⁻²⁰⁾ orientado a la reducción del impacto ambiental del cultivo.

SIMDualKc es un modelo de balance hídrico del suelo que permite la simulación del contenido de agua del suelo incorporando datos locales y diferentes estrategias de planificación del riego⁽²¹⁾. Una de las fortalezas del modelo es la partición del coeficiente del cultivo simple (Kc) en dos de sus componentes básicos: el componente del cultivo (Kcb) y el componente de la evaporación (Ke)⁽²²⁾.



Tiene la posibilidad de modelar el efecto de diferentes coberturas en las distintas distancias de plantación, delimitando la evaporación del suelo (K_e) al área de los orificios de plantación sobre la cobertura y al área entre las filas fuera de la cobertura⁽²³⁾.

El presente trabajo evalúa la eficiencia del uso del agua de riego y las condiciones de crecimiento de las plantas cítricas en diferentes sistemas de plantación orientados al aumento de la precocidad de la producción.

2. Materiales y métodos

El ensayo se plantó en INIA Salto Grande (-31°16'49,8''; -57°53'54,0'') sobre un suelo Argisol dústico abrupto de la unidad cartográfica Salto, en mandarina cv Nadorcott (*Citrus reticulata* Blanco) injertada sobre el portainjerto 79AC (*Citrus reshni* Hort. Ex Tan. x *Citrus paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) en noviembre de 2016, con la primera cosecha comercial en mayo de 2019.

Se evaluaron dos factores: dos densidades de plantación: 2x5,5 m y 1,5x5,5 m, equivalente a 909 y 1220 pl. ha⁻¹, respectivamente, y tres sistemas de plantación: camellones cubiertos de tela plástica blanca (Camellón cubierto); camellones sin cubrir (Camellón), y en plano a nivel del suelo como testigo (Plano). La altura del camellón fue de 0,50 m al comienzo del ensayo (disminuyendo a 0,40 m luego de 6 años), aportando el horizonte A y parte del B de la entrefila a la línea de plantación para formar el camellón. La cobertura de tela plástica blanca (polipropileno UV masterbatch, Agrisoil N100) tiene un peso de 100 g.m⁻², con un diámetro de orificio de 0,2 mm y con una permeabilidad al agua de 15 L.m⁻².s⁻¹, según los fabricantes. El sistema de riego consistió en una doble línea con emisores cada 0,20 m de 1 L. h⁻¹, con un coeficiente de uniformidad superior al 95%⁽²⁴⁾. Se regó y aplicó la solución del fertilizante a través del sistema de riego cada 3 y 4 días desde octubre a abril, excepto los días de lluvia y el siguiente. En octubre de cada año se iniciaba el período de riego con una lámina suficiente para completar todo el perfil hasta capacidad de campo. Se siguió el criterio de agotamiento permitido del suelo (P) del 60% del agua disponible (AD) en los primeros 0,50 m del suelo. El valor de P fue ajustado diariamente cuando la ET_c diaria fue mayor a 5 mm, como es propuesto por Allen y otros⁽²⁵⁾. Se utilizó la solución base de fertilizantes recomendada por Shumann y otros⁽²⁶⁾, con la partición mensual de

nutrientes sugerida por Goñi y otros⁽²⁷⁻²⁸⁾, equivalente a 162 Kg de N, 81 Kg P₂O₅ y 122 Kg de K₂O promedio anual por hectárea en los últimos cuatro años. El monitoreo del contenido del agua y la temperatura del suelo se realizó con sensores de capacitancia FDR 5TE y 10HS (METER, EE. UU.) en cada tratamiento a 0,10 (5TE), 0,30, 0,45 y 0,60 m de profundidad. El registro se realizó cada 30 min.

Cada sensor FDR (5TE y 10HS) fue previa e individualmente calibrado en el laboratorio siguiendo el protocolo sugerido por los fabricantes⁽²⁹⁾, a partir de muestras de los diferentes horizontes edafológicos del suelo. Cada dos años, los sensores fueron extraídos del suelo, chequeada su calibración y vueltos a instalar en el suelo o reemplazados. Las plantas fueron podadas anualmente y el manejo fue el convencional aplicando las prácticas agrícolas recomendadas para asegurar la sanidad del cultivo.

El contenido volumétrico de agua del suelo a capacidad de campo (Θ_{CC}) y el punto de marchitez permanente (Θ_{CMP}) fueron determinados de muestras imperturbadas del suelo en ollas de presión (Soilmoisture, EE. UU.) a 0,01 MPa y 1,5 MPa, respectivamente. Se seleccionaron 5 sitios para la toma de muestras en profundidad en plano y 5 sitios en los camellones previo a la aleatorización de la colocación de la tela plástica sobre los mismos. Las muestras fueron tomadas cada 0,1 m hasta los 0,50 m, luego de 0,50 a 0,70 m por la uniformidad de este horizonte. El valor promedio de los 5 sitios de Θ_{CC} y Θ_{CMP} en cada profundidad obtenido del perfil en plano y en los camellones fue incorporado como dos suelos diferentes en el modelo de balance hídrico (Cuadro suplementario 1).

2.1 Cálculo del balance hídrico

El balance de agua en el suelo se simuló utilizando el modelo SIMDualKc⁽²¹⁾⁽³⁰⁾ con base en los datos diarios climáticos de la Estación Experimental de INIA Salto Grande⁽³¹⁾, en el balance se utilizó la precipitación total diaria registrada, las características del suelo original (plano) y modificado (camellones), las características del *mulch* (Cuadro suplementario 1) y las láminas de agua utilizadas en el riego. El volumen de agua del riego aplicado se registró dos veces por semana con caudalímetros (0,1 L) en cada tratamiento (3 parcelas). Se realizó el balance para 0,50 m de profundidad efectiva de las raíces, donde se encuentra la mayor cantidad de raíces de los cítricos en los suelos de Uruguay⁽¹⁴⁾⁽³²⁾. Al inicio del balance se consideró el perfil del suelo completo de agua. Con un criterio

de $P=0,60$ con reposición de la lámina hasta CC. El escurrimiento superficial fue estimado a través del método de la curva número (CN) para el caso de árboles frutales con cobertura, en una condición de agua del suelo (II) y una textura del suelo media⁽³³⁻³⁴⁾. El valor utilizado de CN fue de 68. La percolación profunda fue estimada a través del contenido de agua del perfil y las propiedades hídricas del mismo⁽³⁵⁾.

La evapotranspiración del cultivo ajustada (ETcajust) se calculó diariamente siguiendo la ecuación 1. El coeficiente K_s ⁽²⁵⁾ se calculó siguiendo la ecuación 2. Se utilizaron los siguientes valores: $K_{cb_{inicial}}$ 0,75 (agosto-setiembre), $K_{cb_{medio}}$ 0,75 (diciembre) y $K_{cb_{final}}$ 0,75 (marzo), de un cultivo con una cobertura activa del suelo que tiene un 50% de cobertura vegetativa. Los valores $K_{cb_{medio}}$ y $K_{cb_{final}}$ fueron ajustados en función de las condiciones climáticas diarias, cuando HR_{min} era distinta de 45% o cuando el valor del viento a 2 m fuera mayor o menor a $2,0 \text{ m s}^{-1}$ ⁽²⁵⁾. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo-Penman-Monteith) se siguió el procedimiento de FAO-56⁽²⁵⁾. Se utilizó un P del 60% del AD en el perfil hasta 0,50 m. También se incluyó en el modelo el efecto en el balance hídrico de la pastura verde en la entrefila, así como el efecto del plástico blanco en el balance del camellón cubierto (Cuadro suplementario 2).

$$ETc_{ajst} = ETo * [Kcb + Ke] * Ks \quad Ec 1$$

Donde:

ETo es la evapotranspiración de referencia, Kcb es el coeficiente del cultivo basal, Ke es el coeficiente de evaporación y Ks es el coeficiente de estrés.

$$Ks = \frac{ADT - Dr}{(1-p) ADT} \quad Ec 2$$

Donde:

Ks: coeficiente de estrés, máximo valor 1.

Dr: Agotamiento de agua en la zona radicular (mm).

ADT: Agua disponible total en la zona radicular (mm).

p: Fracción de ADT hasta donde el cultivo no sufre estrés hídrico (umbral de riego).

2.2 Evaluaciones en las plantas

El contenido de nutrientes en la hoja (N, P y K) fue medido cada año a través del muestreo foliar en el mes de abril; muestreando 100 hojas por parcela de la parte central del brote de la primavera anterior⁽³⁶⁾. Las hojas fueron lavadas 3 veces con agua destilada y puestas a secar en estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante.

Anualmente después de la cosecha en junio, se evaluó el vigor de las plantas, a través del volumen de la copa (dos medidas del diámetro ecuatorial del árbol, altura total y altura de la base de la copa sobre el nivel del suelo). En el momento de la cosecha se midió el color externo del fruto con un colorímetro Minolta CR400, realizando tres disparos en cada fruto, en la zona ecuatorial de este. Se evaluaron 20 frutos por árbol en todas las plantas del experimento. Se calculó el índice de color de los cítricos (ICC), donde $ICC = (a^* / (L^* \times b^*)) \times 1000$, siendo a^* , b^* y L^* , parámetros del espacio de color del colorímetro Minolta (CIE)⁽³⁷⁾.

2.3 Productividad del agua

Para calcular la productividad del agua se utilizó el rendimiento promedio por parcela (kg.planta^{-1}). Se proyectó el rendimiento en Mg.ha^{-1} ajustando cada tratamiento por el espaciamiento entre plantas. El agua de riego fue medida por caudalímetros en cada tratamiento y en función del espaciamiento y la disposición del sistema de riego se calculó la lámina total de riego aplicada en cada tratamiento. La relación de productividad se realizó con base en el agua de riego aplicada, la precipitación y la suma de ambas para cada parcela.

2.4 Diseño y análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela estaba constituida por 21 o 18 plantas dependiendo de la distancia entre ellas, dispuestas en tres filas por parcela. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico InfoStat⁽³⁸⁾, con un análisis de bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y diferencia de medias con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados

Para todas las variables estudiadas no se encontró interacción significativa entre el factor sistema de plantación y densidad de plantación. El vigor de la planta medido a través del volumen del árbol fue significativamente mayor en las plantas sobre los camellones, siendo las plantas sobre el camellón



cubierto las que tuvieron mayor vigor. A los cuatro años desde plantación (2016-2020) el volumen del árbol fue de 94% superior en el camellón cubierto con respecto al testigo en plano (2,02 m³ vs 1,04 m³); mientras que las plantas en camellones sin cubrir alcanzaron un 65% más de volumen (1,72 m³) que las plantas testigo. Las plantas con densidades menores (909 pl. ha⁻¹) registraron a los cuatro años desde la plantación un leve pero significativo aumento del tamaño de la copa (1,7 m³) respecto a las plantas en densidades más altas (1220 pl. ha⁻¹) (1,5 m³).

El nivel foliar de N, P, K, Ca y Mg se mantuvo todos los años dentro de niveles normales-altos en los tratamientos⁽³⁹⁾, no encontrándose diferencias entre los sistemas de plantación, a excepción del K, donde en 3 años el nivel foliar en los camellones cubiertos fue menor que en el camellón o en plano (0,95, 1,22 y 1,24%; 0,85, 1,11 y 1,20%; 0,77, 0,95, y 1,09%, respectivamente, para camellón cubierto, camellón y plano, durante 2019, 2020 y 2021).

Nadorcott es una variedad precoz y el número de frutos por planta es determinante en el rendimiento

final. Las plantas sobre los camellones cubiertos registraron mayor número de frutos y en consecuencia mayor rendimiento por planta y por hectárea (Cuadro 1), alcanzando rendimientos promedio al 6.º año luego de la plantación de 48,5 Mg. ha⁻¹, en comparación con el sistema en plano, que registró 31,6 Mg. ha⁻¹. El sistema en camellones cubiertos registra un incremento en la producción acumulada respecto al sistema en plano en las primeras 4 cosechas del 60%, y el sistema en camellones sin cubrir un 34%, evidenciando un adelanto significativo en la precocidad productiva.

Dentro del rango de densidades de plantación evaluadas, las plantas en densidades más altas registraron menor cantidad de frutos y rendimiento por planta, sin embargo, el rendimiento por hectárea en ambas densidades fue similar en las cuatro cosechas iniciales (Cuadro 1).

En dos de las cuatro cosechas, los frutos de las plantas en los camellones cubiertos registraron un índice de color (ICC) leve, pero significativamente superior que en el plano (Cuadro 2).

Cuadro 1. Número de frutas y peso total de frutos por planta promedio y rendimiento promedio (Mg.ha⁻¹) de los sistemas de plantación y densidad en los últimos 4 años de producción

Sistema	Densidad	N° frutas por planta				Peso total de fruta (Kg.planta ⁻¹)				Rendimiento (Mg.ha ⁻¹)				
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019-2022
Camellón Cubierto		126,4 a	131,7 a	343,0 a	429,9 a	17,1 a	16,0 a	38,3 a	46,1 a	18,0 a	16,9 a	40,2 a	48,5 a	123,6 a
Camellón		121,4 a	133,1 a	247,8 b	347,7 ab	16,0 a	14,6 a	28,6 b	39,8 a	16,9 a	15,3 a	29,9 b	41,7 ab	103,8 b
Plano		70,8 b	70,4 b	215,8 b	295,9 b	10,3 b	8,1 b	25,2 b	30,0 b	10,9 b	8,5 b	26,5 b	31,6 b	77,5 c
	Densidad 1212 pl.ha	102,3 ns	103,1 b	229,4 b	327,3 b	13,9 ns	11,9 ns	25,7 b	35,1 b	16,8 ns	14,5 ns	31,1 ns	42,6 ns	105,0 ns
	Densidad 909 pl.ha	110,7	121,5 a	314,9 a	392,1 a	15,1	13,9	36,6 a	42,5 a	13,7	12,6	33,2	38,7	98,3

Medias en las columnas seguidas de diferente letra son significativamente distintas, Test de Tukey (p<0,05)

Cuadro 2. Color externo de los frutos en la cosecha en los sistemas de plantación y densidad, expresado como índice de color de los cítricos (ICC) en las últimas cuatro cosechas

Sistema	Densidad	2019	2020	2021	2022
Camellón cubierto		9,4 ns	10,8 a	10,8 a	9,5 ns
Camellón		9,5	10,0 ab	10,0 b	9,7
Plano		9,4	9,7 b	10,3 b	9,1
	Densidad 1212 pl.ha ⁻¹	9,4 ns	10,2 ns	10,2 ns	9,4 ns
	Densidad 909 pl.ha ⁻¹	9,5	10,1	10,5	9,5

Medias en las columnas seguidas de diferente letra son significativamente distintas, Test de Tukey (p<0,05)

Temperatura del suelo. En todos los años de evaluación la temperatura del suelo en los primeros

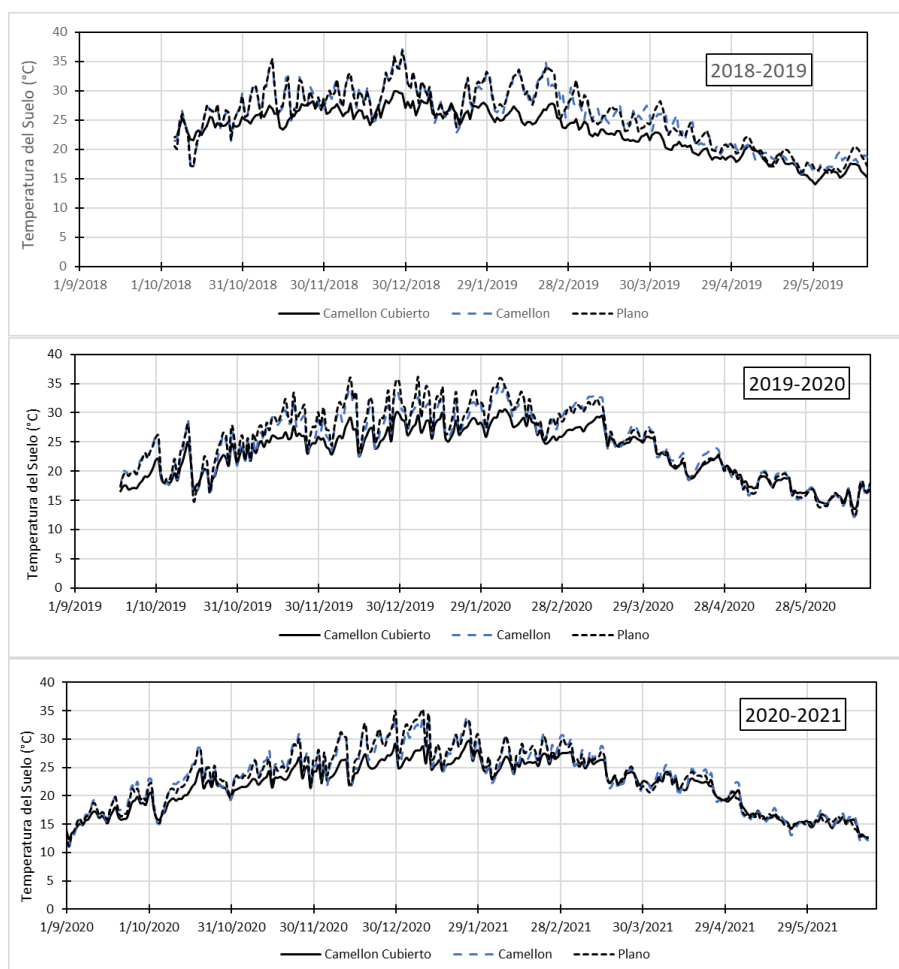
0,10 m fue significativamente menor en los camellones cubiertos que en los camellones y en plano.

Estas diferencias fueron mayores durante los meses de verano. El número de días en diciembre, enero y febrero con temperatura del suelo superior a 30 °C fue mayor en el camellón y en plano que en el camellón cubierto (Cuadro 3). Por otro lado, la temperatura del suelo en el ambiente con camellones cubiertos se mantuvo cercana de los 25 °C (Figura 1).

Cuadro 3. Número de días con temperatura del suelo (0,10 m) superior a 30 °C en los sistemas de plantación en camellón cubierto, en camellón y en plano

Período	Mes	Camellón Cubierto	Camellón	Plano
2019-2020	Diciembre	1	14	18
	Enero	0	14	19
	Febrero	4	15	17
2020-2021	Diciembre	0	9	11
	Enero	0	14	14
	Febrero	0	4	3
2021-2022	Diciembre	1	20	13
	Enero	5	16	15
	Febrero	0	10	14

Figura 1. Evolución de la temperatura del suelo 0-0,10 m en los camellones cubiertos y sin cubrir y en el suelo plano durante los períodos 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022

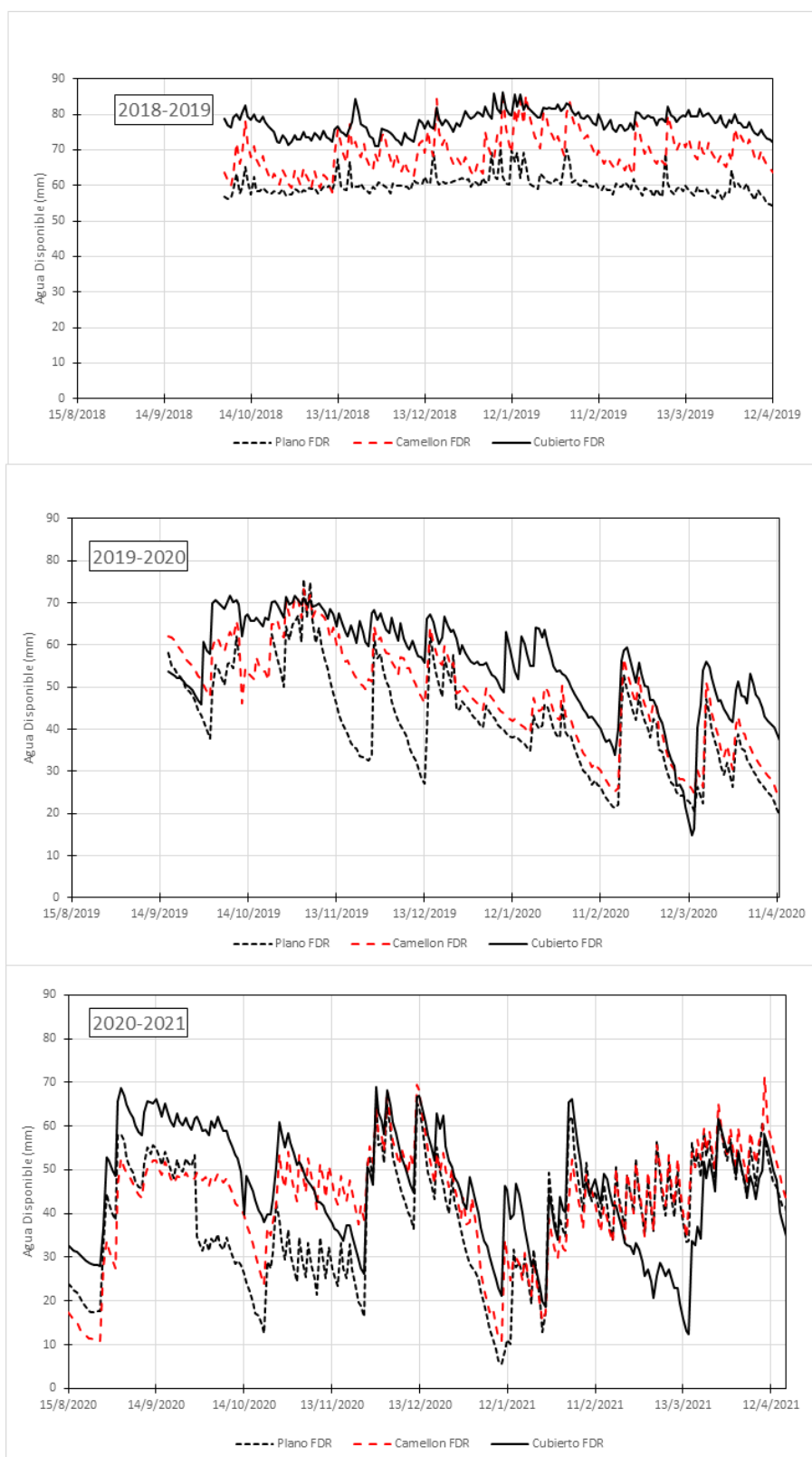


Agua en el suelo. Como mencionamos anteriormente, el suelo donde se instaló el experimento es un Argisol dístico abrupto FrA. Este suelo en sus condiciones originales (plano) tiene una capacidad de almacenaje de AD de 60,4 mm en los primeros 0,50 m del suelo. Luego de invertido el suelo, la capacidad de almacenaje de AD fue de 68,3 mm

(Cuadro suplementario 1). Hasta los 0,50 m de profundidad no hubo un cambio significativo en la capacidad de almacenaje de AD entre los dos sistemas. En el perfil de 0-0,70 m el suelo con camellones aumentó su capacidad de almacenaje de 98,3 mm de AD en relación con los 74,4 mm del suelo original.



Figura 2. Evolución del contenido de agua disponible en el suelo (mm) en los camellones y en el plano, hasta 0,5 m de profundidad



El AD en los primeros 0,50 m del suelo (mm) fue mayor en el suelo con los camellones cubiertos, mientras que el menor contenido de agua fue registrado consistentemente en el suelo plano durante los tres años (Figura 2).

La cantidad de agua de riego aplicada varió entre años y en las diferentes etapas fenológicas del cultivo (Cuadro 4), al igual que la evapotranspiración del cultivo (ET_c), aunque con menor variación en base anual. La intensidad del estrés hídrico evidenciado a través de la relación ET_a/ET_c fue calculada por ha y se utilizó el coeficiente de es-

trés Ks en el cálculo de ETa. En los dos primeros ciclos productivos (2018-2019 y 2020-2021) la relación ETa/ETc fue mayor en los camellones cubiertos, seguida de los camellones y finalmente en el sistema de plantación en plano, favoreciendo mejores condiciones de crecimiento (Cuadro 4). Esta diferencia fue mayor aún en las etapas críticas del desarrollo y el crecimiento del fruto (etapas I y II), que corresponden con el inicio del crecimiento rápido y el crecimiento de media estación. Durante el período 2021-2022 estas diferencias no fueron tan marcadas, principalmente por un desperfecto en el sistema de riego de las parcelas con camellones cubiertos durante la etapa I del crecimiento del fruto, que ocasionó un riego desparejo durante ese período. Aun así, las plantas con el camellón sin cobertura alcanzaron mejores condiciones hídricas para su crecimiento respecto al sistema de plantación en plano. La evaporación

del suelo fue menor en el camellón cubierto que en el camellón y en plano durante todo el ciclo productivo desde el año 2018 al 2021 (Cuadro 4).

Productividad de agua con base en el rendimiento. El sistema en camellones (cubiertos o sin cubrir) utilizó mejor el agua de riego que el sistema de plantación en plano, duplicando el rendimiento de frutos en relación con la cantidad de agua aplicada (Cuadro 5) durante los tres años presentados. La productividad del agua con base solo en la precipitación también fue más alta en el camellón cubierto que en el camellón y en el plano, duplicando sus valores. Si comparamos los tres sistemas de plantación en función del agua total (riego y precipitaciones) utilizada, o del agua de riego o solo de la precipitación, el sistema de camellones cubiertos tuvo el doble de productividad del agua en relación con el sistema en plano.

Cuadro 4. Evapotranspiración del cultivo (ETc), cantidad de riego, relación ETa/ETc y evaporación del suelo proveniente de la precipitación y del riego en los diferentes tratamientos y etapas fenológicas del crecimiento del fruto de Nadorcott

	2018-2019			2019-2020			2020-2021		
	Plano	Camellón	Cubierto	Plano	Camellón	Cubierto	Plano	Camellón	Cubierto
ETc (mm)									
Inicio de la brotación	180	180	160	171	171	155	170	171	160
Etapa I de crecimiento del fruto	300	300	266	281	281	254	324	324	288
Etapa II de crecimiento del fruto	389	389	346	421	421	384	433	435	383
Etapa III de crecimiento del fruto	137	137	124	151	151	137	132	132	119
Todo el período	1006	1006	897	1024	1024	930	1059	1062	950
Riego (mm)									
Inicio de la brotación	61	60	70	24	24	28	36	41	42
Etapa I de crecimiento del fruto	90	90	77	81	81	91	157	171	113
Etapa II de crecimiento del fruto	120	128	139	131	135	127	188	207	135
Etapa III de crecimiento del fruto	30	30	35	69	71	64	37	39	24
Todo el período	301	308	321	305	311	310	418	458	314
ETa/ETc									
Inicio de la brotación	1,00	1,00	1,00	0,94	0,97	0,97	0,88	0,94	0,97
Etapa I de crecimiento del fruto	0,85	0,89	0,93	0,89	0,92	0,97	0,81	0,83	0,76
Etapa II de crecimiento del fruto	0,97	0,99	1,00	0,85	0,90	0,92	0,91	0,95	0,93
Etapa III de crecimiento del fruto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Todo el período	0,94	0,96	0,98	0,90	0,93	0,96	0,88	0,92	0,89
Evaporación del suelo de la precipitación (mm)									
Inicio de la brotación	12	12	10	11	11	7	3	3	9
Etapa I de crecimiento del fruto	16	16	8	21	21	9	20	20	10
Etapa II de crecimiento del fruto	28	28	14	19	19	13	37	37	13
Etapa III de crecimiento del fruto	8	8	9	6	6	11	10	10	7
Todo el período	64	64	41	57	57	40	70	70	38
Evaporación del suelo del agua de riego (mm)									
Inicio de la brotación	37	37	2	27	27	2	35	37	2
Etapa I de crecimiento del fruto	58	58	2	50	50	2	70	70	2
Etapa II de crecimiento del fruto	82	82	4	89	89	3	82	83	4
Etapa III de crecimiento del fruto	26	26	1	37	37	1	20	20	2
Todo el período	204	204	9	202	202	8	207	210	9



4. Discusión

El manejo del suelo con diferentes cubiertas (*mulching*) y con la formación de camellones es una técnica conocida⁽¹⁾ con impacto en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo⁽²⁻⁴⁾, derivan-

do en ventajas productivas por su efecto en el ambiente de crecimiento del sistema radicular de las plantas y la microflora del suelo⁽⁵⁻⁶⁾.

Cuadro 5. Productividad del agua (kg. mm⁻¹) con base en el agua de riego, la precipitación y el agua total utilizada en los camellones cubiertos, en los camellones y en plano

Sistema	Agua de riego (kg. mm ⁻¹)			Precipitación (kg. mm ⁻¹)			Agua de riego y precipitación (kg. mm ⁻¹)		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Camellón cubierto	56,2 a	54,4 a	127,9 a	14,6 a	17,5 a	49,9 a	11,6 a	13,3 a	35,9 a
Camellón	54,8 a	49,2 a	65,2 b	13,2 a	15,0 a	36,0 b	10,6 a	11,5 a	23,2 b
Plano	36,1 b	27,9 b	63,4 b	8,5 b	8,4 b	31,9 b	6,9 b	6,4 b	21,2 b

El sistema clásico de plantación de los cítricos en Uruguay consiste en que la línea de plantación siga una línea de contorno de pendiente controlada a nivel del suelo original⁽¹⁰⁾, independientemente del tipo de suelo. Esto ha llevado a que se observen en el campo con frecuencia problemas de hipoxia transitoria⁽⁴⁰⁾, déficit hídrico⁽³²⁾ y erosión hídrica del suelo⁽¹⁴⁾.

El comienzo de la producción comercial es un hito importante en muchas iniciativas productivas. Aportes significativos en investigación se han realizado en selección de portainjertos⁽⁴¹⁾, densidad de plantación⁽⁴²⁾ y manejo de la poda⁽⁴³⁾ a los efectos de adelantar la producción. En este sentido el manejo del sistema de plantación (camellones y coberturas) podría favorecer la precocidad de la producción en plantas jóvenes de cítricos respecto a los sistemas tradicionales.

La intensidad del color de la piel de los cítricos está altamente influenciada por las condiciones ambientales⁽⁴⁴⁾. En 2 de los cuatro años evaluados los frutos de las plantas de los camellones cubiertos por tela blanca alcanzaron un índice de color mayor que en las plantas del sistema en plano. Mesejo y otros⁽⁴⁵⁾ observan la importancia del descenso de la temperatura del suelo por debajo de 20 °C como un factor determinante de la velocidad de la formación del color de la piel y adelanto de la cosecha; sin embargo, durante el período de cambio de color de Nadorcott la temperatura del suelo en los tres sistemas fue similar. Por otro lado, las coberturas blancas sobre el suelo aumentan la reflexión de la luz sobre los frutos y mejoran la eficiencia de uso de la luz por la planta⁽⁴⁶⁾, afec-

tando la calidad de estos, especialmente el color externo.

El sistema de plantación en camellones cubiertos ha permitido aumentar la precocidad y el rendimiento de la producción de Nadorcott respecto al sistema de plantación clásico en plano (Cuadro 1) un 34% cuando se utilizan camellones sin cubrir y un 60% en los camellones cubiertos. Esta mejora de la productividad la podemos asociar a cambios significativos en las propiedades físicas del suelo y la instalación de una cobertura (*mulch* sintético de tela blanca) sobre la superficie del suelo que reduce la temperatura del suelo en los primeros 0,10 m, especialmente en los meses de verano, manteniendo un mayor contenido de agua del suelo y permitiendo una mayor productividad del agua.

Las propiedades físicas originales relacionadas con el agua del suelo Argisol dístico abrupto FrA fueron modificadas al superponer invertidamente los primeros 0,50 m del suelo de la entrefila sobre el suelo original de la fila de plantación, formado así el camellón. Esto quedó en evidencia por el cambio en el agua disponible del suelo del perfil (Cuadro suplementario 1). El aumento del horizonte A del suelo por superposición del suelo de la entrefila de plantación es una técnica antigua, como puede encontrarse en la literatura de muchos años atrás en Europa e Inglaterra⁽⁴⁷⁻⁴⁸⁾. El sistema radicular se beneficia al aumentar la capa superior del suelo en la fila de plantación, con mejoras en el escurrimiento del agua, y evitar enfermedades de ámbito radicular⁽⁴⁹⁾. El incremento del AD en el sistema de camellones cubiertos pro-

pición mejores condiciones para el crecimiento de las plantas en los primeros años de plantación.

La temperatura del suelo no solo afecta la respuesta fisiológica de los portainjertos cítricos⁽⁵⁰⁾, sino que también determina la respiración radicular y la microflora⁽⁵¹⁾. Las altas temperaturas del suelo incrementan la respiración radicular⁽⁵²⁾ y la conductividad hidráulica de la raíz⁽⁵³⁾, y terminan siendo perjudiciales para el funcionamiento de la planta⁽⁵⁰⁾. La utilización de una cubierta de tela plástica blanca sobre la superficie del camellón ha permitido la disminución de la temperatura del suelo entre 5 y 9 °C en los meses de mayor temperatura del suelo (diciembre, enero y febrero) (Figura 1), mientras que en invierno estas diferencias en temperatura no se presentan, como ocurre en otros cultivos en situaciones de uso de coberturas⁽¹⁵⁾. La disminución de la temperatura no fue tan marcada en los camellones sin cobertura, con un comportamiento similar a la plantación en plano. Temperaturas del suelo cercanas y superiores a 35 °C son perjudiciales para los cítricos; en estas condiciones, el potencial hídrico de los tejidos disminuye, explicado normalmente por la reducción de la conductividad de la raíz⁽⁵³⁾. En consecuencia, se limita la absorción de agua, se reduce su crecimiento y finalmente la planta se deshidrata.

Con base en las simulaciones con el modelo de balance hídrico del suelo SIMDualKc, en el cual se incorporó el efecto de la reducción de la evaporación del suelo y la reducción de la precipitación debido a la cobertura plástica del camellón (Cuadro 4), podemos explicar con más detalle la evolución del contenido de agua del suelo registrado con los sensores FDR. El sistema de plantación con camellones con y sin cobertura ha permitido generar un balance con mayor contenido de agua en el suelo, permitiendo así mejores condiciones para el crecimiento, ya sea evidenciado a través del contenido de agua registrado (Cuadro 5), así como del bienestar hídrico de la planta estimado a través de la relación ETa/ETc (Cuadro 4). La relación entre la evapotranspiración real (ETa) y la máxima evapotranspiración del cultivo es un índice apropiado para evaluar el bienestar hídrico de las plantas. Cuando un cultivo no presenta limitantes de disponibilidad hídrica en el suelo la ETa debería ser cercana a ETc máxima con cociente ETa/ETc de 1. En la medida que la disponibilidad de agua en el suelo disminuye por debajo de los umbrales de agotamiento permitidos (P), la ETa se reduce y, en consecuencia, la relación ETa/ETc .

La productividad del agua es un índice frecuentemente utilizado para comparar el uso del agua en

diferentes sistemas productivos⁽¹⁹⁾. La eficiencia agronómica en el uso del agua expresada como el rendimiento de frutos ($kg \cdot ha^{-1}$) en función de la precipitación (mm), del agua de riego (mm) o del agua total (mm) es una expresión adecuada para comparar diferentes manejos en las mismas condiciones agroecológicas. Al tercer año del rendimiento comercial (2021) las plantas en camellones cubiertos alcanzaron una productividad del agua de $35 kg \cdot mm^{-1}$ de agua total (precipitación + riego), en comparación con el camellón sin cobertura y en plano de 23,2 y 21,2 $kg \cdot mm^{-1}$, respectivamente. Esto evidencia que la cobertura tuvo un efecto importante en la mejora del uso del agua. También ha sido mayor la productividad del sistema en camellones cubiertos si lo evaluamos a través de la precipitación respecto al sistema en plano (Cuadro 5).

Al igual que otras experiencias nacionales e internacionales en cítricos, la cobertura del suelo es una técnica eficaz en la mejora de la productividad y el balance del agua del suelo en cultivos en relación con el laboreo mecánico o el uso de herbicidas en fajas anchas, frecuentemente usado en la fruticultura⁽¹⁴⁾⁽⁵⁴⁻⁵⁵⁾.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permiten afirmar que el sistema de plantación en camellones con y sin cubierta de tela plástica mejora la productividad de los cítricos en 60% y 34% de rendimiento acumulado, respectivamente, comparado con el sistema de plantación en plano durante los últimos cuatro años de producción (2019 a 2022). La utilización de la cobertura sobre los camellones disminuyó la temperatura del suelo en primavera-verano y mejoró las condiciones hídricas y térmicas del suelo, produciendo un ambiente más favorable para el crecimiento de la planta. Ello derivó en un adelanto significativo de la precocidad productiva y en la mejora de la productividad del agua. No se constataron diferencias de rendimiento entre las densidades de plantación evaluadas. La cobertura sobre el camellón favoreció una disminución en la evaporación del suelo en relación con el sistema de plantación en camellón y en plano. Este es el primer trabajo en incorporar el concepto de productividad del agua para comparar diferentes sistemas de plantación orientados a la reducción del impacto ambiental de la producción de cítricos de Uruguay.



Transparencia de los datos

Datos disponibles: todo el conjunto de datos que respalda los resultados de este estudio se publicó en el propio artículo.

Declaración de contribución de autores

AO contribuyó al diseño, análisis, interpretación y escritura. CG contribuyó al diseño original. DM recopilación y ordenamiento de datos. RG y CFR contribuyeron a la interpretación y la escritura del texto.

Referencias

- Sirrine JR, Letourneau DK, Shennan C, Sirrine C, Fouch R, Jackson L, Mages A. Impacts of groundcover management systems on yield, leaf nutrients, weeds, and arthropods of tart cherry in Michigan, USA. *Agric Ecosyst Environ*. 2008;125(1-4):239-45.
- Merwin LA, Stiles WC. Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield and nutrient availability and uptake. *J Amer Soc Hort Sci*. 1994;119:209-15.
- Sanchez EE, Giagetto A, Cichon NL, Fernandez D, Aruani MC, Curetti M. Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic apple (*Malus domestica* Borkh) orchard in northern Patagonia. *Plant Soil*. 2007;292:193-205.
- St Laurent A, Merwin LA, Thies JE. Long term orchard ground cover management system affects soil microbial communities and apple replant disease severity. *Plant Soil*. 2008;304:209-25.
- Yao SR, Merwin LA, Bird GW, Abawl GS, Thies JE. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial community composition. *Plant Soil*. 2005;271:377-89.
- Morlat R, Jacques A. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long term with or without interrow sward. *Am J Enol Vitic*. 2003;54:1-7.
- Cruz AF, Pires MDC, Nascimento LKBD, Ramos MLG, Oliveira SA, Blum LEB, Yamanishi OK. Cover cropping system and mulching can shape soil microbial status in fruit orchards. *Sci Agric*. 2020;77(4). Doi: 10.1590/1678-992X-2018-0316.
- Abouzienna HF, El-Metwally IM, Sharma SD, Sing M. Comparison of weed suppression and mandarin fruit yield and quality obtained with organic mulches, synthetic mulches, cultivation and glyphosate. *HortScience*. 2008;43(3):795-9.
- Burkhard N, Lynch D, Percival D, Shariff M. Organic mulch impact on vegetation dynamic and productivity of highbush blueberry under organic production. *HortScience*. 2009;44(3):688-93.
- Goñi C, Otero A. Coberturas vegetales y manejo del suelo en la citricultura de Uruguay. In: García-Inza G, Paruelo JM, Zoppolo R, editors. *Aportes científicos y tecnológicos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) del Uruguay a las trayectorias agroecológicas*. Buenos Aires: CICCUS; 2023. pp. 181-98.
- Teravest D, Smith J, Carpenter-Boggs L, Granatstein D, Hoagland L, Reganold JP. Soil carbon pools, nitrogen supply, and tree performance under several groundcovers and compost rates in a newly planted apple orchard. *HortScience*. 2011;46:1687-94.
- Van Doren DM, Allmaras MR. Effect of residue management practices on the soil physical environment, microclimate, and plant growth. In: Oschwald WR, editor. *Crop residue management system*. Madison: ASA; 1978. pp. 49-83.
- Teasdale J, Mohler C. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci*. 2000;48(3):385-92.
- Otero A, Goñi C. Manejo del suelo en plantaciones cítricas y distribución del sistema radicular. Montevideo: INIA; 2021. 51p.
- Prem M, Ranjan P, Seth N, Patle GT. Mulching techniques to conserve the soil water and advance the crop production: a review. *Curr World Environ*. 2020;15:10-30.
- Evans LT. *Crop evolution, adaptation, and yield*. Cambridge: Cambridge University Press; 1993. 514p.
- van Ittersum MK, Rabbinge R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res*. 1997;52(3):197-208.
- Kijne JW, Barker R, Molden DJ. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Wallingford: CABI; 2003. 368p.

19. Zwart SJ, Bastiaansen WGM. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agric Water Manag.* 2004;69:115-33.
20. Fan T, Stewart BA, Payne WA, Wang Y, Song S, Luo J, Robinson CA. Supplemental irrigation and water: yield relationships for plasticulture crops in the loess plateau of China. *Agron J.* 2005;97:177-88.
21. Pereira LS, Paredes P, Rodrigues GC, Neves M. Modeling barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting rainfall years: assessing SIMDualKc and AquaCrop models. *Agric Water Manag.* 2015;159:239-54.
22. Allen RG, Pereira LS, Smith M, Raes D, Wright JL. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J Irrig Drain Eng.* 2005;131:2-13.
23. Paredes P, Rodrigues GC, Alves I, Pereira LS. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agric Water Manag.* 2014;135:27-39.
24. Merriam J, Keller J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University; 1978. 271p.
25. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO; 1998. 300p.
26. Schumann A, Syvertsen JP, Morgan KT. Implementing Advanced citrus production systems in Florida: early results. *Proc Fla State Hort Soc.* 2009;122:108-13.
27. Goñi C, Otero A. Frecuencia de fertirriego y sistemas de fertilización en Afourer: primeros avances en Uruguay. Paper presented at: Proceeding VI Simposio y I Congreso Latinoamericano de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Citrus; 2014; Salto, Uruguay.
28. Otero A, Goñi C, Grasso R, Machado D. Fertirriego en cítricos: primeros resultados sobre experimentos de largo plazo: II. Nutrientes. *Revista INIA.* 2022;(71):99-103.
29. Meter Environment. Soil-specific calibrations for METER soil moisture sensors [Internet]. [place unknown: publisher unknown; date unknown]. Available from: <https://bit.ly/3r0LoH4>
30. Rolim J, Godinho P, Sequeira B, Rosa R, Paredes P, Pereira LS. SIMDualKc, a software tool for water balance simulation based on dual crop coefficient. In: Zazueta F, Xin J, Ninomiya S, Schiefer G, editors. *Computers in Agriculture and Natural Resources. 4th World Congress Conference; 2006 July 24-26; Orlando, Florida.* St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2006. pp. 781-6.
31. INIA. Banco de datos agroclimáticos [Internet]. Montevideo: INIA; [date unknown; cited 2023 Aug 30]. Available from: <http://www.inia.org.uy/online/site/gras.php>.
32. Goñi C, Otero A. Citrus soil management can reduce the deterioration of soil conditions and improve sustainability production. *Agrocienc Urug.* 2012;16(3):89-97. Doi: 10.31285/AGRO.16.651.
33. Allen RG, Wright JL, Pruitt WO, Pereira LS, Jensen ME. Water requirements. In: Hoffman GJ, Evans RG, Jensen ME, Martin DL, Elliot RL, editors. *Design and operation of farm irrigation systems.* 2nd ed. St. Joseph: ASABE; 2007. pp. 208-88.
34. USDA, Soil Conservation Service. National engineering handbook: section 4: Hydrology. Washington: USDA; 1972. 1v.
35. Liu Y, Pereira LS, Fernando RM. Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agric Water Manag.* 2006;84(1-2):27-40.
36. Embleton TW, Jones WW, Labanauskas CK, Reuther W. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. *The citrus industry.* 1973;3(6):183-210.
37. Jiménez-Cuesta M, Cuquerella J, Martínez-Jávega J. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In: *Proceedings of the International Society of Citriculture.* Shizuoka: International Society of Citriculture; 1982. pp. 750-3.
38. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat [Internet]. Version 2020. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias; 2020 [cited 2023 Aug 30]. Available from: <https://bit.ly/3dDvlyu>.
39. Legaz F, Serna M, Ferrer P, Cebolla V, Primo-Millo E. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos: procedimiento de toma de muestras. Valencia: Generalitat Valenciana; 1995. 26p.



40. Otero A, Goñi C. Short hypoxia period affects photosynthesis of citrus scion leaves under different rootstocks. *Citrus Res Technol*. 2016;37(1):19-25. Doi: 10.4322/crt.ICC110.
41. Bowman KD, Joubert J. Citrus rootstocks. In: Talon M, Caruso M, Gmitter FG, editors. *The genus citrus*. Duxford: Woodhead Publishing; 2020. pp. 105-27.
42. Hamido Said A, Morgan KT. The effect of irrigation rate on the water relations of young citrus trees in high-density planting. *Sustainability*. 2021;13(4):1759. Doi: 10.3390/su13041759.
43. Martí BV, González EF. The influence of mechanical pruning in cost reduction, production of fruit, and biomass waste in citrus orchards. *Appl Eng Agric*. 2010;26(4):531-40.
44. Lado J, Gambetta G, Zacarias L. Key determinants of citrus fruit quality: metabolites and main changes during maturation. *Sci Hortic*. 2018;233:238-48.
45. Mesejo C, Gambeta G, Gravina A, Martínez-Fuentes A, Reig C, Agustí M. Relationship between soil temperature and fruit colour development of 'Clemenpons' Clementine mandarin (*Citrus clementina* Hort ex. Tan). *J Sci Food Agric*. 2012;92:520-5.
46. Funke K, Blanke M. Can reflective ground cover enhance fruit quality and colouration. *J Food Agric Environ*. 2005;3(1):203-6.
47. Du Preez M. Ridging of Orchard Soil. *Deciduous Fruit Grower*. 1985;Jan: 22-31.
48. Denevan WM. Aboriginal drained-field cultivation in the Americas. *Science*. 1970;169(3946):647-54.
49. Perry R. Tree fruit root systems and soils. In: *Proceedings, Utah State Horticultural Association Annual Convention*; 1998 Jan 27-28, Provo, Utah [Internet]. Available from: <https://www.canr.msu.edu/hrt/uploads/535/78649/Tree-Root-Systems-and-Soils.pdf>
50. Bevington KB, Castle WS. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J Am Soc Hortic Sci*. 1995;110(6):840-5.
51. Reichardt W, Inubushi K, Tiedje EJ. Microbiological processes in C and N dynamics. In: Kifk GJD, Olk DC, editors. *Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils*. Makati City: IRRRI; 2000. pp. 101-46.
52. Atkin OK, Edwards EJ, Loveys BR. Response of root respiration to changes in temperature and its relevance to global warming. *New Phytol*. 2000;147:141-54.
53. Syvertsen JP, Zablotowicz RM, Smith Jr ML. Soil temperature and flooding effects on two species of citrus: 1. growth and hydraulic conductivity. *Plant Soil*. 1983;72:3-12.
54. Goñi C, Otero A. El uso de mulches una opción más sustentable para cítricos. Paper presented at: III Simposio sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico en Citrus; 2010 Nov 15-17; Salto, Uruguay.
55. Pacheco CDA, Girardi EA, Silva SDM, Gueiros JAS, Bassanezi RB. Potential of soil cover with plastic film for the setting of sweet orange orchards. *Rev Bras Frutic*. 2021;43(3). Doi: 10.1590/0100-29452021734.

Material suplementario

Cuadro 1. Contenido volumétrico de agua del suelo original y en los camellones, a capacidad de campo (CC, 0,01 Mpa) y en punto de marchitez permanente (CMP, 1,5 MPa). AD = agua disponible. AD_{acum} = agua disponible acumulada

Profundidad	Sistema Plano				Sistema con Camellones			
	Θ_{CC} m ³ .m ⁻³	Θ_{CMP} m ³ .m ⁻³	Θ_{AD} m ³ .m ⁻³	Θ_{ADacum} mm	Θ_{CC} m ³ .m ⁻³	Θ_{CMP} m ³ .m ⁻³	Θ_{AD} m ³ .m ⁻³	Θ_{ADacum} mm
0-0,10 m	0,32	0,20	0,12	12,0	0,43	0,32	0,11	10,8
0,10-0,20 m	0,34	0,19	0,15	27,0	0,38	0,24	0,14	25,0
0,20-0,30 m	0,35	0,20	0,15	42,1	0,30	0,13	0,17	42,1
0,30-0,40 m	0,40	0,30	0,10	52,1	0,25	0,12	0,13	55,3
0,40-0,50 m	0,43	0,34	0,08	60,4	0,25	0,12	0,13	68,3
0,50-0-70 m	0,43	0,36	0,07	74,4	0,34	0,19	0,15	98,3

Cuadro 2. Parámetros del modelo de balance hídrico del suelo (SIMDualKc) para la mandarina Nadorcott, utilizados para los ciclos productivos 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022

Parámetro	Símbolo	Valor	
Cultivo	Kcbini	0,75	
	Kcbmid	0,75	
	Kcbend	0,75	
	P ini, P dev, P med, P final	0,6	
	Prof efectiva (mm)	0,5	
Evaporación del suelo	REW (mm)	10	
	TEW (mm)	15	
	Ze (m)	0,15	
Percolación profunda		default	
Ascenso capilar		no considerado	
Escurrimiento	CN	68	
Mulching			
Cobertura activa en entrefila	Fracción del cultivo con cultivo cobertura en la fila (plano)	%	0
	Fracción del cultivo con cultivo cobertura en la entrefila (plano y camellones)	%	100
	Altura del cultivo en la fila (% suelo cubierto)	%	0
	Altura del cultivo en la entrefila (% suelo cubierto)	%	100
	Potencial Kcb cubierta	Altura (m)	0,30
		Fr	0,85
		Kcb full	0,88
	Fracción final en la entrefila	Altura (m)	0,05
		Reducción de la evapotranspiración (%)	50
Cobertura plástica	Fracción de cobertura	%	50
	Espaciado entre filas	m	5,5
	Espaciado entre agujeros (plantas)	m	2,5
	Diámetro del agujero	m	0,15

Cuadro 3. Fechas de las fases fenológicas del cultivo de mandarina Nadorcott utilizadas en el modelo de balance hídrico del suelo (SIM Dual Kc)

	Fecha	Fecha	Fecha
Inicio del balance	15/8/2018	15/8/2019	15/8/2020
Inicio crecimiento rápido	24/8/2018	26/8/2019	20/8/2020
Comienzo media estación	16/12/2018	18/12/2019	14/12/2020
Comienzo de la madurez	1/3/2019	5/3/2020	7/3/2021
Cosecha	15/5/2019	18/5/2020	10/5/2021