



Algunas consideraciones para el manejo de riego en Cítricos

Raúl Ferreyra Espada
Ing. Agrónomo, M.Sc.
rferreyr@inia.cl
INIA - La Cruz

Gabriel Sellés Van Schouwen
Ing. Agrónomo, Ph. D.
gselles@inia.cl
INIA - La Platina



El suelo, la planta y la atmósfera constituyen un sistema continuo, en el cual el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas, además del almacenaje de agua y el oxígeno que absorben las raíces. La atmósfera constituye una fuente de demandas de agua ilimitada y la planta es la unidad conductora entre el suelo y la atmósfera, ya que absorbe el agua del suelo, luego esta circula por el xilema, y finalmente sale a través de los estomas de las hojas hacia la atmósfera en un proceso conocido como transpiración. El flujo de agua o transpiración se produce en respuesta a un gradiente de energía o de potenciales que existe entre el suelo y la atmósfera.

La transpiración constituye la fuerza motriz del ascenso de agua en las plantas. A nivel de las hojas, y en respuesta al gradiente de potencial hídrico entre la atmósfera y la hoja, se produce salida de agua desde estas en forma de vapor a través de los estomas, disminuyendo su potencial hídrico. Esta reducción de

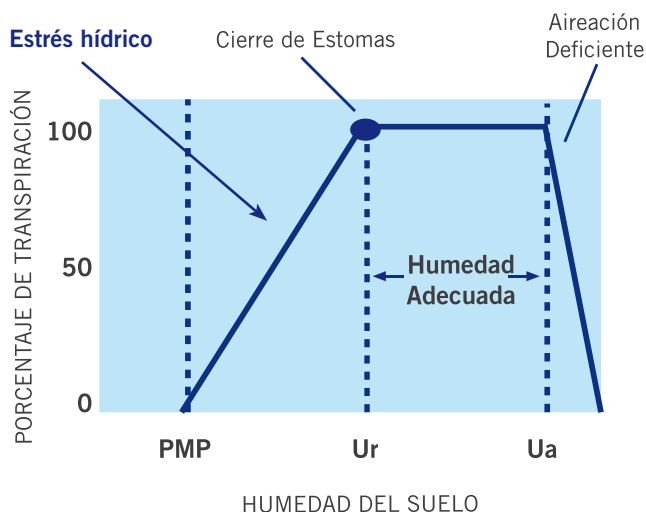


Figura 1. Relación entre el contenido de humedad del suelo y el desarrollo del cultivo. Los umbrales de riego son más estrechos en cultivos de arraigamiento superficial y de mayor demanda evaporativa (Ur = Umbral de riego; Ua = umbral de aire).

potencial hídrico foliar aumenta el gradiente entre la hoja y el suelo, lo que provoca un flujo de agua desde la zona de raíces. En la medida que la disponibilidad de agua del suelo disminuye (disminuye el potencial mátrico y la conductividad hidráulica del suelo), el flujo de agua hacia la planta es cada vez menor, llegando un momento en que la absorción no puede igualar a la transpiración, produciéndose un déficit hídrico en la planta, lo que induce un cierre estomático. Por otra parte los excesos de agua en el suelo provocan problemas de aireación, afectando el metabolismo radicular, lo que también afecta el desarrollo del cultivo en general. Por lo tanto es necesario mantener niveles de humedad adecuados en el suelo para satisfacer las necesidades de transpiración de las plantas y no provocar déficit o excesos hídricos, que afecten su crecimiento y desarrollo (Figura 1).

La aplicación de cantidades de agua concordantes con los requerimientos de las plantas y la eficiencia de la aplicación del sistema de riego que se utilice, permite ahorrar agua y energía, controlar las pérdidas de nutrientes por lixiviación y aumentar los rendimientos y calidad de la producción.

1. Requerimientos hídricos

Los cítricos son plantas perennes y por tanto transpiran durante todo el año. La cantidad de agua que las plantas necesitan para su adecuado crecimiento y producción es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración por las hojas, o evapotranspiración del cultivo (ETc). La evapotranspiración depende fundamentalmente de dos grupos de factores: los climáticos (temperatura y humedad del aire, radiación solar y viento) y los derivados de la planta (área foliar o fracción de suelo sombreado por el cultivo y características aerodinámicas y de regulación estomática de dicha área foliar). Las necesidades reales del cultivo, ETc están relacionadas con la demanda climática o evapotranspiración de referencia (ETo) mediante un factor corrector denominado coeficiente de cultivo, Kc, de tal forma que $ETc = Kc \times ETo$.

Los valores de Kc obtenidos en naranjos adultos Salustiana y Washington Navel regados por gravedad (Castel et al. 1987), cuya validez para riego localizado se comprobó en Salustiana (Castel y Buj 1988) y Washington Navel (Buj et al. 1990) y de mandarinos regados por goteo (Castel 1991 y 1997) se incluyen en el cuadro 1 y figura 2. Por otra parte Snyder R (U.C Davis California) reporta valores de Kc para Cítricos de 0,65 para toda la temporada, y Gama valores 0,6 excepto para junio y agosto que recomienda 1. Los valores reportados por Gama y Snyder son similares a los reportados por Castel para cítricos con una cobertura del 70% (Cuadro 1).

Los déficits hídricos en las plantas se producen principalmente por dos razones: 1) porque el contenido de agua en el suelo es bajo, 2) porque la demanda evaporativa del aire es alta (aire seco y temperatura elevada) como ocurre en algunas zonas en verano. En algunas ocasiones se pueden presentar déficits hídricos debido a condiciones en el sistema radical tales como falta de aireación (suelos muy arcillosos con mal drenaje), baja temperatura y enfermedades (tristeza, psoriasis, etc) que reducen su conductividad hidráulica. También pueden presentarse déficits hídricos cuando el agua de riego tiene un contenido excesivo en sales.



Área Sombreada %	In	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	N
As > 70 (a)	0.66	0.65	0.66	0.62	0.55	0.62	0.68	0.79	0.74	0.84	0.73	0.63
As = 50 (a)	0.52	0.54	0.40	0.54	0.51	0.60	0.55	0.67	0.56	0.70	0.77	0.78
As = 20 (b)	0.33	0.39	0.22	0.20	0.35	0.31	0.40	0.44	0.49	0.66	0.62	0.42

Cuadro 1. Valores del coeficiente de cultivo Kc para cítricos en función del área sombreada y del control de malezas (Datos de Castel et al. 1986 y Castel 1997). (a) CASTEL y cols. (1986). Con control de malas hierbas en primavera-verano y cubierta de Oxalis spp. en invierno (b) CASTEL (1997). Riego por goteo con control malezas durante todo el año.

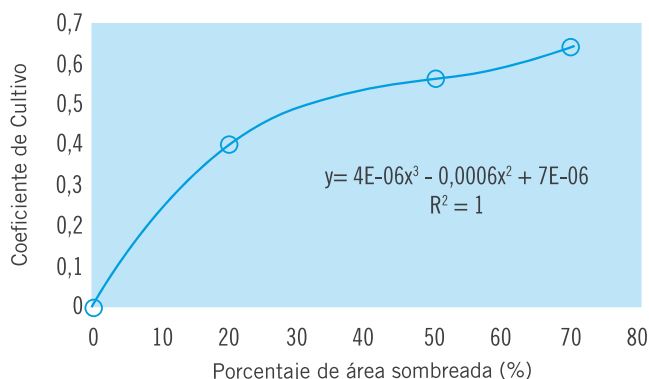


Figura 2. Coeficiente de cultivo para cítricos según el área de cobertura (Adaptado a partir de datos de Castel).

2. Sistema radicular y manejo del riego ◀

De acuerdo al hábito radicular de los cítricos el agua de riego debe mojar en profundidad aproximadamente 100 cm, si el suelo no presenta impedimentos para su desarrollo (Foto 1). En la figura 3 se presenta la actividad radicular en dos huertos de Mandarina Murkott donde se puede apreciar que el sistema radicular puede estar activo hasta los 90 cm si se le dan las condiciones para su desarrollo. En uno de los casos (Figura 3a) se riega en con alta frecuencia (riego cada dos días en Marzo - Abril) y otro (Figura 3b) con riego poco frecuentes (cada 4 días en Octubre). En el primer caso la actividad radicular es pobre en profundidad.

Al reducir la cantidad de agua aplicada o aumentando el intervalo entre riego, generalmente se puede inducir un sistema radicular más profundo. El desarrollo radicular de las plantas está definido genéticamente, por lo cual varía de acuerdo a la especie y las características del portainjerto. Sin embargo, las condiciones del medio pueden limitar o estimular el desarrollo de las raíces (por ejemplo, las propiedades físicas del suelo). En términos generales, existe un equilibrio funcional entre

el desarrollo del sistema radicular y el comportamiento de la parte aérea y productivo de las plantas: a mayor desarrollo radicular, mayor producción.

Normalmente las raíces de las plantas exploran y explotan un volumen de suelo mayor que el que humedece un emisor de riego localizado, en particular en zonas que se caracterizan por presentar precipitaciones invernales y tienen una alta capacidad de retención de humedad. Esto tiene como resultado que durante la temporada, una parte importante del sistema radicular se mantiene en un suelo seco. De hecho, muchas veces la cantidad total de agua que se aplica a cada planta es la adecuada, pero se entrega en forma muy puntual, provocando saturación de suelo y pérdidas de agua en profundidad. La distribución del agua en un área mayor, es la solución a este problema, sobre todo en suelo de textura fina (suelo arcilloso a franco arcilloso).

En el caso de riego por goteo, el tamaño del bulbo húmedo producido por los emisores está estrechamente ligado a las características físicas del suelo. En suelos de textura fina, el movimiento lateral es mayor, por lo tanto más ancho es el bulbo de mojamiento. Por el contrario, en los suelos arenosos, el bulbo se alarga en profundidad. En cítricos para tener un adecuado volumen de suelo mojado es necesario utilizar riego por goteo con doble línea. Con estos se logra un porcentaje de suelo mojado entre 40 y 55%, lo que es adecuado en suelo con baja capacidad de aire (arcillosos o franco limoso) o en suelos con baja retención de humedad (arenoso o franco arenoso).

3. Efecto del estrés hídrico en los diferentes periodos de desarrollo del cultivo ◀

Los cítricos son altamente sensibles al déficit hídrico ya que cualquier falta de agua durante el desarrollo del



Foto 1. Sistema radicular en cítricos (Mandarina Murkott a la izquierda y Limones a la derecha)

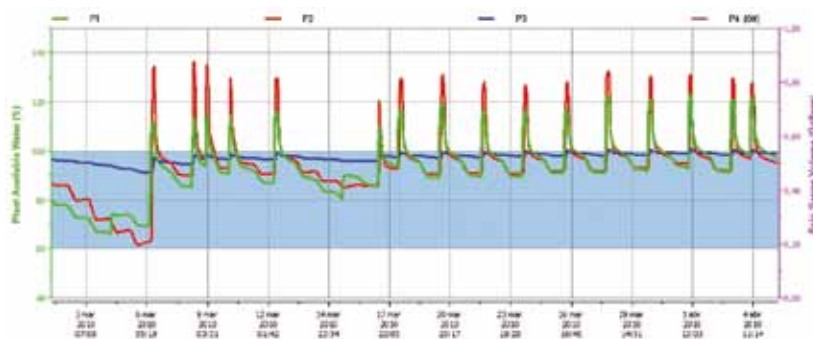


Figura 3a. Variación de la humedad en el suelo (actividad radicular) en tres profundidades de suelo (verde 30 cm, rojo 60 cm y azul 90 cm) en mandarina Murkott en la zona de Limache.

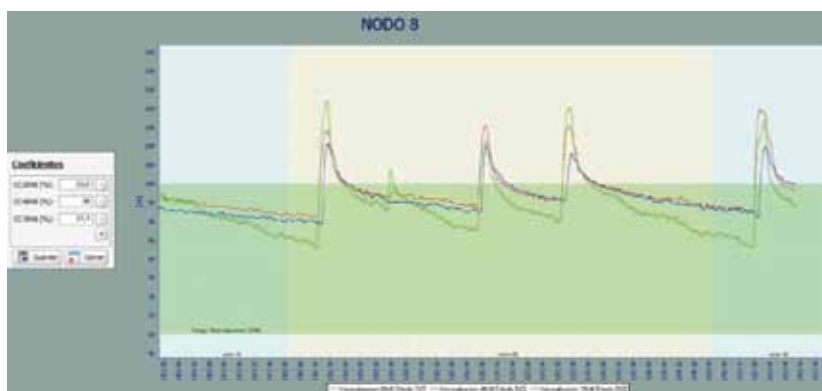


Figura 3b. Variación de la humedad en el suelo (actividad radicular) en tres profundidades de suelo (verde 20 cm, rojo 40 cm y azul 70 cm) en mandarina Murkott en la zona de Panquehue.

fruto disminuye los rendimientos, el calibre de la fruta y el jugo de la fruta. Por otra parte cuando las plantas son sometidas a un déficit hídrico aumenta los sólidos solubles; la acides del jugo, el grosor de la cascara, y el numero de fruta con clareta (Cuadro 2).

El efecto del déficit hídrico sobre la cosecha suele ser mayor en determinados períodos que por ello se denominan ‘críticos’. En la mayoría de los cultivares de cítricos el período de máxima sensibilidad a la falta de agua es el de floración y cuajado de los frutos, seguido del que comprende las fases de crecimiento inicial de los frutos hasta la caída de Diciembre. El periodo de maduración de los frutos suele ser el menos sensible (Figura 3). Esto se ha puesto de manifiesto en experimentos en distintas zonas cítricas, tales como los de Ginestar y Castel (1996) en Clementina de Nules regados por goteo y Castel y Buj, (1993) en Naranjos salustiana (Cuadros 3a y 3b). Sin embargo, es necesario indicar que, durante el periodo de maduración de los frutos, en nuestras condiciones, es difícil producir estrés hídrico por la baja demanda evaporativa en este periodo y la ocurrencia de precipitación.

El crecimiento del fruto sigue una curva sigmoidea (Figura 4), caracterizada por tres estados bien diferenciados:

FASE I. El fruto presenta un crecimiento exponencial, hay una máxima división celular que le da un crecimiento en el grosor del pericarpio. Se forma los sacos de zumo.

FASE II. Dura varios meses, presenta un crecimiento lineal en el tiempo con un aumento del tamaño de las células, hay diferenciación de las células, el fruto absorbe gran cantidad de agua y alcanza su tamaño definitivo. Termina con el cambio de color de la capa superficial de la cáscara.

FASE III. Hay una reducida tasa de crecimiento, ocurren todos los cambios asociados a su maduración, el contenido de sólidos solubles aumenta. (Duran, 2003).

La caída fisiológica de los frutos ocurre a final de la Fase 1. Es un desorden probablemente relacionado con la competencia entre los frutos por los carbohidratos, agua hormonas y otros metabolitos. El problema sin embargo se acentúa mucho por el estrés, especialmente el causado por altas temperaturas y falta de agua. Consiguientemente la caída fisiológica suele ser más severa donde las temperaturas de las hojas pueden alcanzar los 35-40°C, y donde la escasez de agua crea problemas. Una hipótesis es que las altas temperaturas y la falta de agua ocasionan el cierre de los estomas con la consiguiente disminución en la asimilación neta de CO₂. Entonces hay abscisión en los frutos porque estos mantienen un equilibrio de carbono negativo. (Devices y Albrigo, 1999), (Iglesias y col, 2001)

El efecto del estrés hídrico en diferentes periodos fenológicos ha sido ampliamente estudiado en Clementina de Nules (González-Altozano y Castel, 1999;



Cuadro 2. Influencia del estrés hídrico sobre los diferentes parámetros de calidad del fruto de naranjo 'Lane late'.

Parametros de calidad del fruto	Cosecha (Kg/ árbol)	Diámetro (mm)	Corteza (%)	Zumo (%)	SST	Acidez (g/L)	sst/Acidez (g/100cc)	PHx (Mpa)
Control	47,5	82.5a	39.1e	54.7a	7.1d	11.3de	6,28	-0,68 - 0,96
Carrizo FII	20,5	67.5e	42.8bc	50.3a	14.0b	14.2b	9,86	-0,97 - 3,02
FIII	44,4	76,9c	40,1de	53,8a	8,2c	12,4c	6,61	-1,11
FI+III	36,2	82.0a	47.2a	48.8b	7.4d	11,5de	6,43	-0,67 - 2,68

J.G. Pérez-Pérez et al 2007 Murcia (Los estrés hídricos PHx es mayor en las fases II)

Parámetro	Control	SR	SR	SR	SR	SR	SR
	Sin Déficit	P-I	P-II	P-III	P-I+II	P-I+III	P-II+III
	(- - -)	(O-R-R)	(R-O-R)	(R-R-O)	(O-O-R)	(O-R-O)	(R-O-O)
Riego (mm)	460	310	344	357	193	206	240
ET relativa	1.0 (390 mm)	0.88	0.83	0.78	0.69	0.66	0.59
Estrés hídrico (MPa- día)	42	42	58	138	134	155	163
Producción (kg/árbol)	35.8	14,8*y	15.3*	19.0*	5*	6.1*	7.7*
No. Frutos / árbol	370	140*	173*	324	56*	104*	137*
Peso Fruto (g)	104	109	87	62*	79	68*	43*
Azúcares (°Brix)	11.1	10.6	10.7	12.8*	9.7	12.9*	11.6
Acidez (g/l)	6.9	7.4	7.7	10.7*	8.7	11.7*	15*
SST°/Acidez (g/100cc)	16,1	14,3	13,9	12,0	11,1	11,0	7,7

Cuadro 3a. Efecto de la supresión del riego (SR) en distintos periodos fenológicos sobre la producción y calidad del fruto de mandarinos 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1993 y 1994. (Datos de Ginestar y Castel, 1996). x La denominación de los tratamientos como SR (sin riego) indica la supresión total del riego durante el (los) periodos especificados, lo cual también se indica mediante el "O" en la línea inferior y "R" indica riego sin restricciones. Los periodos fueron: I (desde 1 Septiembre a 13 Diciembre en ambos años), II (desde 14 Diciembre a 6 Febrero en 1993 y a 25 Enero en 1994), y III (desde 7 Febrero a 16 Abril en 1993 y desde 26 Enero a 7 Marzo en 1994). El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a P < 0.05.

TRATAMIENTO DE RIEGO					
Parámetro	Control	20-T	40-T	40-P	40-O
Riego m³/ha-any	5770	4490	3330	4610	4880
Producción Tm/ha	62.9 a ⁽¹⁾	57.9 b	49.4 c	58.0 b	50.5 ab
Peso medio fruto, g	162 a	156 ab	151 b	158 a	160 a
No. Frutos/ arbre	1285 a	1236 a	1128 b	1226 a	1237 a
Azúcares °Brix	12.0 a	12.2 a	12.6 b	12.0 a	12.1 a
Acidez (g/l) ⁽²⁾	7.0 a	7.4 a	6.8 a	6.8 a	7.6 a

Cuadro 3 b. Producción y componentes de la producción en naranjos Salustiana en función del tratamiento de riego por goteo durante 1985-1992. (1) En cada fi la los números seguidos de letra no común difieren significativamente P<0.05. (2) El espesor medio de la corteza y el contenido de zumo de los frutos no fueron afectados por los tratamientos de riego y los valores medios del periodo oscilaron entre 5.3-5.7 mm y 44.5-46.5 % en peso, respectivamente. (Restricción hídrica durante todo el todo el año (T), primavera (floración a cuaja) P y Otoño (Madurez).

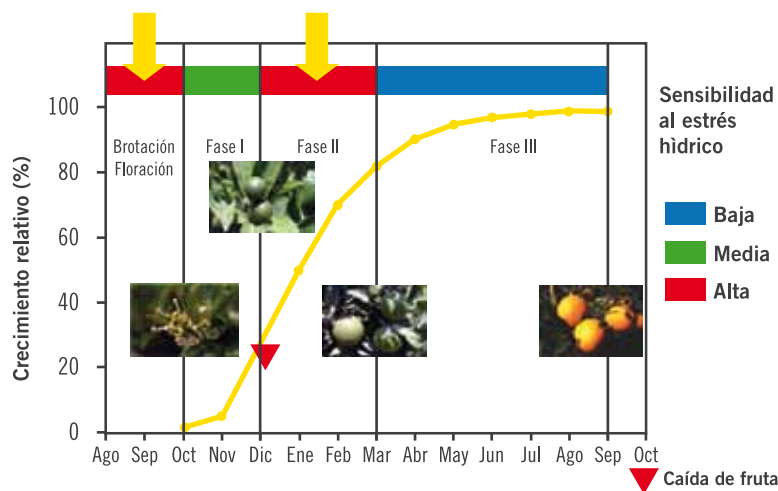


Figura 4. Periodos Críticos en Cítricos



Foto 2. Clareta o Creasing en cítrico.

2000a y b). Los resultados de cuatro años sobre la producción y calidad de los frutos de Clementina de Nules (Cuadro 4 y 5) muestran grandes diferencias de sensibilidad al estrés según el periodo fenológico en que se aplicaron los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC). Así, el periodo más crítico y por tanto el menos aconsejable para disminuir el agua, es la primavera, en que el RDC provocó una importante reducción de la cosecha (entre el 28 y 63%) debido al aumento de la 'caída de fruta' y consecuente disminución del número final de frutos por árbol. Además, el estrés en primavera provoca una sobreproducción de brotes florales en la siguiente brotación lo

que origina frutos tardíos de nulo valor comercial. El RDC durante final del verano y principios de otoño, redujo de forma notable el tamaño del fruto y en algunos años provocó malformaciones externas (clareta, Foto 2) en una proporción importante de los mismos, aún en los tratamientos de menor restricción de agua en este periodo (50%-II, 50%-F+A) (Cuadro 4 y 5) en que los niveles de estrés hídrico experimentados por los árboles fueron moderados.

Por lo indicado anteriormente, respecto a que el estrés hídrico afecta en forma importante los rendimientos en todos los periodos fenológicos y que en la fase III es difícil dar un estrés hídrico, es interesante analizar la información obtenida por Castel en lo referente al efecto del estrés hídrico leves en pleno verano (Enero y Febrero parte de la fase II), cuando tiene lugar la etapa inicial de crecimiento rápido del fruto. Según Castel, este es el periodo más adecuado para la aplicación del RDC en 'Clementina de Nules', pues cuidando de no sobrepasar un valor de ψ_h a en torno a -1.1 MPa (que corresponde a un valor de potencial mátrico del suelo en torno al límite de lectura de los tensiómetros, -100 kPa o Cb), se pueden conseguir ahorros importantes de agua (entre el 6 y el 23%) sin afectar a la producción, ni al tamaño del fruto. Ello se debe a que los frutos de Clementina de Nules, así como los de otras especies de cítricos, son capaces de crecer a mayor velocidad "crecimiento compensatorio" cuando se restablece el riego sin limitación después de periodos de estrés moderado (Cuadro 5). En el Cuadro 5 también se puede observar que los estrés hídricos leves en Enero y Febrero no afectan los rendimiento y calibre pero si aumenta en alguna medida los sólidos solubles y la acidez. Esto es interesante ya que la fruta para ser exportada debe cumplir con ciertos niveles de sólidos solubles totales (9° a 10 brix), acidez ($1,3$ a $0,8$ g/100cc) y jugo en la fruta (30%) lo cual podría ser manejado con déficit hídrico controlados en este periodo que no afectarían los rendimiento ni el calibre de la fruta.

Parámetro	Control	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-Año
Riego (m ³ /ha)	3840	2750	3090	3350	3540	2670	2880	1700
Ahorro de Agua %	--	28	20	13	8	30	25	56
Producción (kg/árbol)	54.7	20.1*y	38.7*	49.9	56.7	41.6	46.9	45.0
Producción relativa (%)	100	37	72	92	105	77	87	83
No. Frutos / árbol	551	198*	387*	565	601	545	528	489
Peso medio Fruto (g)	103	102	103	92*	99	77*w	92*w	94*
Azúcares (°Brix)	11.3	10.6	11.0	11.4	11.0	14.2*	13.1*	12.5*
Acidez (g/l)	7.5	7.2	7.5	8.0	7.7	9.4*	8.2*	8.5*
SST°/Acidez (g/100cc)	15,1	14,7	14,7	14,3	14,3	15,1	16,0	14,7

Cuadro 4. Influencia de los tratamientos de riego en la producción y calidad del fruto de 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1995 y 1996. (Datos de González-Altozano y Castel, 1999). (X) Duración de los periodos: I) 20/3/95 a 3/7/95 y 1/4/96 a 1/7/96; II) 4/7/95 a 7/8/95 y 2/7/96 a 28/7/96; III) 8/8/95 a cosecha y 29/7/96 a cosecha. (y) El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a $P < 0.05$. (w) En 1995 casi un 23% de los frutos tenían 'clareta' y aunque en menor proporción también ocurrió en el 50%.

Parámetro	Control	25%-E	50%-E	50%-E+F	75%-E+F	50%-F+A	75%-E+A	50%-Año
Riego (m ³ /ha)	4520	3980	4240	3540	4010	3530	3650	2080
Ahorro de Agua %	--	12	6	22	11	22	19	54
Producción (kg/árbol)	69.3	71.3	70.0	69.3	66.6	57.1*y	72.5	53.4*
Producción relativa (%)	100	103	101	100	96	82	105	77
No. Frutos / árbol	656	771	741	735	673	730	898*	624
Peso medio Fruto (g)	109	95*	99	98	102	79*z	82*	88*
Azúcares (°Brix)	12.0	12.1	12.2	12.5	12.3	15.6*	14.2*	14.8*
Acidez (g/l)	7.5	7.8	7.4	8.2	7.9	9.8*	8.6*	9.8*
SST°/Acidez (g/100cc)	16,0	15,5	16,5	15,2	15,6	15,9	16,5	15,1

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos de RDC en la producción y calidad del fruto de 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1997 y 1998 (Datos de González-Altozano y Castel, 2000a). (y) El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a $P < 0.05$. (z) En 1998 un 30 % de los frutos fueron afectados de 'clareta' y aunque en menor proporción también en 1997.





Foto 3. Tensiómetro para controlar riego.



Foto 4. Sensores FDR de medición de humedad de suelo continua.

4. Control del estado hídrico del suelo ◀

Para obtener buenos rendimientos y fruta de calidad (SST y Acidez) es necesario tener un adecuado control del riego.

El control de la humedad del suelo permite conocer el nivel de disponibilidad de agua en forma cualitativa o cuantitativa, esto último midiendo el contenido de humedad (gravimétrico o volumétrico) o el potencial mátrico del agua en el suelo. El control de humedad permite determinar la profundidad del riego y determinar si éste es excesivo o deficitario. En el caso de riegos localizados permite, además, definir y conocer el comportamiento del bulbo húmedo que generan los emisores.

Es necesario indicar que previo al establecimiento de cualquier sistema de control, se debe conocer la variabilidad espacial de los suelos para lograr una clara interpretación de los resultados que se obtengan y que sirvan como una herramienta adecuada para mejorar el manejo de riego de los cítricos.

El control de humedad del suelo se puede evaluar mediante el uso de instrumentos que pueden cuantificar la energía de retención del agua en el suelo (potencial mátrico) y otros que cuantifican el contenido de humedad volumétrico del suelo. Ambos parámetros están íntimamente relacionados, ya que a medida que disminuye el contenido de agua del suelo, aumenta la energía de retención de ella por parte de la matriz del suelo (es decir, disminuye el potencial mátrico).

Entre los instrumentos que miden la energía del agua en el suelo se encuentran los tensiómetros (Foto 3) y los sensores en base a resistencia eléctrica (como los sensores Watermark, fabricados por Irrometer Co. EEUU). Los tensiómetros miden la energía de retención del agua en el suelo hasta 60 a 70 kPa o centibares (cb) por lo cual no pueden ser utilizados para controlar estrés hídrico leve donde se registran valores sobre 100 kPa o cb. Los tensiómetros son útiles para cuando queremos mantener el suelo con humedades entre capacidad de campo y el 50% de la humedad aprovechable del suelo. Los sensores de resistencia eléctrica pueden registrar valores mayores (0 a 200 cb), sin embargo muestran una baja sensibilidad a rangos altos de humedad en el suelo, que son comunes y normales en la práctica del riego localizado, sin embargo son útiles para controlar estrés hídrico leves.

Entre los equipos que miden humedad de suelo existen también los sensores conocidos con el nombre de sondas capacitivas o FDR (Frequency Domain Reflectometry) que basan su medición en la constante dieléctrica del suelo (Foto 4). Este instrumento permite

controlar el riego de manera de no tener déficits hídricos en el suelo, conocer la actividad radicular a diferentes profundidades. Con este instrumento también es posible controlar estrés hídricos que se deseen aplicar a las planta con objeto de mejorar los azúcares y la acidez.

A continuación se presenta una serie de figuras que permiten ilustrar la información que entregan las sondas FDR y su potencial de uso

En las Figuras 5a y 5b se presentan datos de humedad del suelo obtenido, cada 15 minutos, con una sonda

FDR a tres profundidades (color verde 30 cm de profundidad; rojo 60 cm de profundidad y azul 90 cm de profundidad). En el eje de las “y” se presenta el contenido de humedad del suelo, como contenido de agua disponible para las plantas (HA) (plant available water). Cuando el suelo esta a capacidad de campo el HA es del 100% y 0% cuando está en punto de marchitez permanente (PMP).

En la Figura 5a se puede observar que cuando se da un riego la HA del suelo aumenta para luego comenzar a disminuir. Durante la noche el contenido de humedad

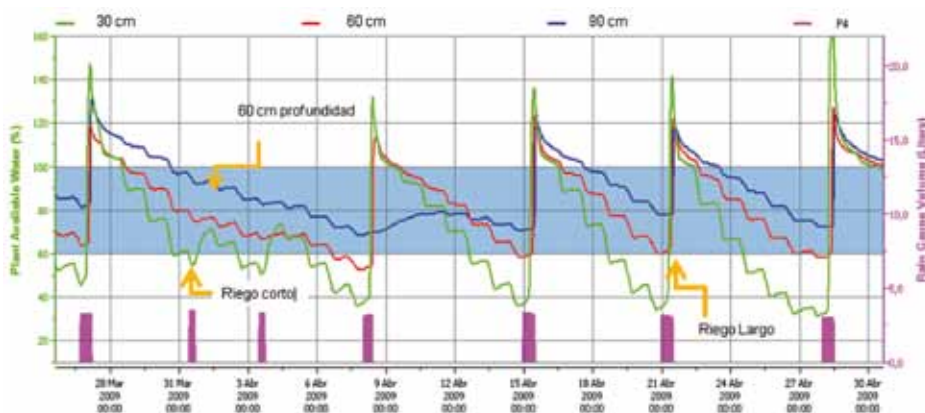


Figura 5a. Lecturas de humedad de suelo con una sonda FDR continua.

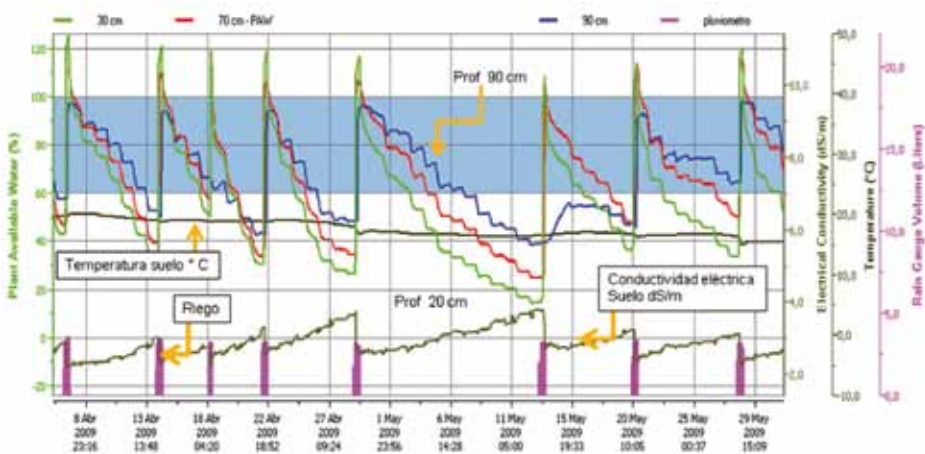


Figura 5b. Lecturas de humedad de suelo con un FDR por estrata de suelo.

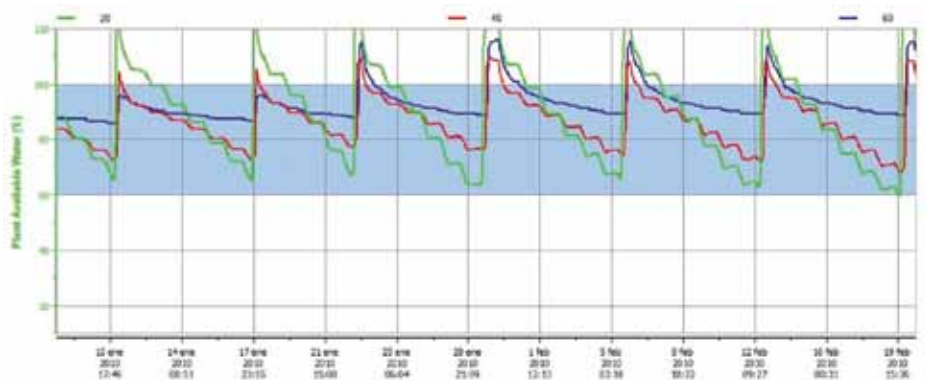


Figura 5c. Variación de la humedad del suelo en tres profundidades, en un huerto donde los tiempos y frecuencia de riego se determinan con un programa de riego ajustado a través de sensores de humedad. (Capacidad de campo = 100% HA, se debiera regar cuando la humedad del suelo este entre el 60 a 50% de la HA. Cuando la humedad del sensor azul sobrepasa la capacidad de campo hay perdidas por percolación (profunda).



del suelo no varía, debido a que no hay transpiración por parte de las plantas. El rango de humedad en que se desea mantener el suelo lo puede definir el usuario, a partir de la capacidad de campo (CDC) determinadas con la sonda FDR y el porcentaje de agotamiento de humedad del suelo que se permitirá (umbral de riego). En la Figura 5a la zona entre CDC y el umbral de riego permitido está marcada con color celeste.

En la Figura 5a también se puede observar, que en este caso, las raíces extraen el agua del suelo a diferentes ritmos. Las raíces superficiales están extrayendo más agua que las ubicadas a mayor profundidad. Por ejemplo el 31 de marzo del 2009, a 30 cm de profundidad (línea verde), el suelo tiene un HA del 60%, sin embargo a 90 cm de profundidad (línea azul) el suelo aun esta a capacidad de campo. Esto se debe a que las raíces en superficie están más activas que en profundidad.

En la Figura 5b, se presenta un gráfico similar al de la Figura 5a. En este gráfico se puede observar que cuando las raíces han extraído más del 60% de la HA cambia la pendiente de las curvas de humedad del suelo, al disminuir la extracción de agua por parte de la planta (6 de mayo de 2009). En la Figura 5b se aprecia que cuando el suelo tiene un 40% de humedad aprovechable (se ha extraído el 60% de la HA), se comienza a cerrar los estomas y por consiguiente se afecta el rendimiento.

En la Figura 5b, se observa que en estos puntos de medición, también se pueden incluir otros sensores que pueden medir conductividad eléctrica, temperatura de suelo y/o caudal de los emisores.

La información que reportan estos sensores es de mucha utilidad al tomar decisiones de manejo de riego.

Un buen programa de riego, que considere la evapotranspiración de referencia (Eto), el coeficiente de cultivo (Kc) y retención de humedad del suelo, puede tener un error, en la estimación de las necesidades de riego, de un 20%. Si estos programas se ajustan con medición continua de la humedad del suelo se puede disminuir mejorar considerablemente estas estimaciones. Esto indica que para manejar el riego es importante disponer de un programa de riego, el cual se ajusta con estimaciones de la humedad de suelo (calicatas, tensiómetros, sondas FDR etc)

En la Figura 5c se presenta la variación de humedad en un huerto de palto donde se riega a través de un programa de riego, el cual se ajusta a través de datos obtenidos de sensores de humedad de suelo. En este caso se pretendió tener una percolación profunda del 10% para evitar problemas con sales (controlada con el sensor de humedad de 60 cm). En la Figura 5c también se puede observar que la humedad en el suelo sigue ciclos, debido a que se riega con un programa que se fue ajustando a través de la información que entregan los sensores y no se responde en cada oportunidad solo a la observaciones de la humedad de suelo observada en una calicata.

Otra forma de evaluar si el riego se está realizando en forma adecuada, es medir el estado hídrico de las plantas. Este parámetro tiene la ventaja que integra el contenido de humedad del suelo disponible en toda la zona radicular del cultivo y las condiciones de demanda evaporativa imperantes en el momento de la medición.

El estado hídrico de las plantas se puede medir evaluando el potencial hídrico xilemático mediante un método que es rápido y sencillo de realizar. Existe la alternativa de hacer un seguimiento continuo con otro indicador como la microvariación del diámetro de los troncos, lo que se ejecuta con un instrumento llamado dendrómetro.



Foto 5 Dendrómetro de tronco y fruta.