



Evaluación de la calidad y condición de cosecha y poscosecha en mandarinas variedad Orogrande con déficit hídrico controlado

Edgard Álvarez R.¹, Bruno Defilippi B.¹, Belén Trejo I.¹, Pedro Contreras Ñ.¹, Angélica Salvatierra G.², Ariadna Veas V.², Claudio Balbontín N.^{2*}

¹Unidad de Postcosecha INIA La Platina, ²Fisiología frutal y Laboratorio de Teledetección y SIG INIA Intihuasi, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA

*Correspondencia: claudio.balbontin@inia.cl

RESUMEN

Las limitaciones en la disponibilidad hídrica para la agricultura que afectan al norte del país hacen necesario ajustar el manejo del riego para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua. En este trabajo se estudian los efectos del uso de información satelital para estimar el consumo hídrico del cultivo (ETc) de mandarinos, y el efecto del aporte de tasas de sobre riego (120 % de la ETc) y deficitarias (75 % y 50 % de la ETc) sobre parámetros de calidad y condición de cosecha y poscosecha en mandarinos de la zona de Monte Patria, Región de Coquimbo. El trabajo se encuentra en desarrollo y los resultados preliminares indican que basado en la información satelital de riego, una disminución entre un 21 % y 30 % del aporte de riego puede conllevar aumentos en color, disminución en el peso de frutos y aumento de la incidencia de *creasing*.

Palabras clave: NDVI, evapotranspiración de cultivo, riego, oleocelosis, *creasing*

ABSTRACT

Evaluation of quality and condition at harvest and postharvest in Orogrande mandarins with water deficit. The limitations in water availability for agriculture that affect the northern part of the country make it necessary to adjust the irrigation management in order to achieve greater efficiency in the use of water. In this work, we studied the effects of using satellite information to estimate the water consumption of the crop (ETc) and the effect of the contribution of over-irrigation rates (120 % of the ETc) and deficits (75 % and 50 % of the ETc) on quality and condition at harvest and post-harvest on mandarin fruit cultivated in Monte Patria area, Coquimbo Region. Preliminary results indicate that the decrease between 21 % and 30 % of irrigation based on satellite information can lead to increases in color, decrease in fruit weight and increase of *creasing* incidence.

Keywords: NDVI, crop evapotranspiration, oleocelosis, *creasing*

INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas de Chile, las limitantes en la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos obligan a la optimización del manejo del riego con objeto de alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso del agua. Para esto, el uso de marcos conceptuales robustos, combinados con nuevas tecnologías para estimar el consumo hídrico y el monitoreo del riego, son obligatorios si se quiere conseguir sustentabilidad económica y ambiental del rubro.

En este contexto, la estimación del consumo hídrico de los mandarinos, basado en métodos estandarizados que se calculan a partir del coeficiente de cultivo y los valores de la demanda ambiental, ha demostrado gran utilidad para la programación del riego con niveles productivos adecuados. Sin embargo, la amplia variabilidad en las condiciones de los cultivos (densidades de plantación, arquitecturas del cultivo), los climas y los suelos, no permiten una generalización del manejo del riego, ya que podría llevar a altas ineficiencias en el uso del agua. Afortunadamente, los avances tecnológicos en la disponibilidad de imágenes satelitales para la caracterización del desarrollo de los cultivos, junto con el monitoreo de las condiciones ambientales en donde se desarrollan, permiten hoy en día la aplicación de marcos conceptuales para el manejo operativo del riego y su ajuste a las condiciones reales de las parcelas agrícolas.

En este sentido, trabajos de investigación en el manejo del riego en cítricos (Jiménez-Bello et al., 2012) y la implementación de riego deficitario controlado han permitido analizar los efectos del riego y las etapas de crecimiento del fruto. Sobre este manejo agronómico existen estudios que indican que dependiendo del momento en que se apliquen los déficits hídricos se pueden ocasionar ventajas o pérdidas de calidad. Conesa et al. (2018) indican que la reducción del riego entre floración e inicios de fase I no afectaría la producción e incluso favorecería la calidad de los frutos. Por su parte, Shorner y Erner (1989) indican que en naranjas var. Navel, la suspensión del riego dos semanas antes de la cosecha, reduce la turgencia del fruto y con ello la aparición de

oleocelosis, lo cual ha establecido este manejo del riego de manera rutinaria en la producción de cítricos.

Por otra parte, entre las principales pérdidas de calidad observadas por la disminución del riego, González-Altozano y Castel (1999), indican que la restricción hídrica entre el 25 y 50 %, en el final del periodo de elongación celular del fruto, puede aumentar la incidencia de *creasing* en mandarinas y disminuir el calibre de la fruta. En contraste, Treeby et al. (2007) indican que cuando la restricción hídrica se aplica de manera continua durante toda la temporada de riego, se observa una disminución de la incidencia del *creasing*.

En base a estos antecedentes, en este trabajo se evaluó, por una parte, la factibilidad de establecer un manejo operativo del riego utilizando un método tradicional de programación (metodología coeficiente de cultivo-evapotranspiración de referencia, Manual FAO N°56, Allen et al., 1998) asistido con información pública y abierta (meteorológica y satelital), y por otra parte, los efectos del manejo del riego sobre la productividad y calidad de la fruta en cosecha y durante la postcosecha, simulando envío a mercado de destino. Se espera de este modo determinar niveles límites de déficit hídrico que inducen daños en la calidad y condición de la fruta. Por otra parte, también se evalúa la ventaja de aplicar superávit de riego sobre la calidad y producción, con miras a evaluar posibles reducciones en la superficie cultivada en pos de manejar cuarteles con condiciones hídricas óptimas que puedan suplir la productividad de cuarteles eliminados. Para responder a estas interrogantes, se está desarrollando un proyecto de investigación titulado "Ajuste del coeficiente de cultivo satelital para el manejo preciso del riego en el cultivo de mandarinas de la zona centro norte de Chile", co-financiado por FIA (Código PYT-2021-0569) y ejecutado por INIA Intihuasi, la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina y el Comité de Cítricos de Chile.

A continuación, se presentan algunos resultados preliminares correspondientes a la primera temporada de evaluación del proyecto de la temporada 2021 – 2022.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados en una parcela de mandarinos (*Citrus x clementina*) var. Orogrande, de 7 años de edad, ubicada en la localidad de El Palqui (región de Coquimbo), injertados sobre C-35, con marco de plantación 2 m x 5 m. El aporte del riego se realiza por medio de un sistema de riego por goteo, compuesto por dos líneas de emisores y frecuencia de aplicación de 3 días, regularmente.

Para definir el consumo hídrico o evapotranspiración de cultivo (ETc), se utilizó la metodología conocida como "Coeficiente de cultivo - Evapotranspiración de referencia" descrita por FAO en su Manual N° 56 (Allen et al., 1998), asistido con la innovación tecnológica del seguimiento y definición del coeficiente de cultivo (Kcb) utilizando el índice de vegetación satelital NDVI (Campos et al., 2010). Para la implementación de los tratamientos de riego se determinaron porcentajes de reposición de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Para implementar los tratamientos de riego, se adicionaron o eliminaron goteros sobre las líneas de riego de las plantas. De este modo se varió la precipitación del equipo de riego en plantas tratadas, sin modificar los tiempos de riego generales del sector de riego. Se aplicaron 5 tratamientos de riego: un óptimo, un superávit y tres deficitarios (Tabla 1). Los tratamientos de riego fueron implementados durante las Fases II y III del crecimiento del fruto. Durante la Fase I el riego fue

aportado de forma óptima en todos los tratamientos (100 % de la ETc estimada), debido a la sensibilidad de los frutos al déficit hídrico en esta etapa.

La cosecha se realizó en el mes de mayo de 2022, momento en que se evaluó la productividad por árbol y se tomaron muestras de fruta para análisis de cosecha y postcosecha, como relación sólidos solubles/acidez, incidencia de daños de postcosecha como oleocelosis y *creasing*. Para esto se cosecharon árboles completos, de los cuales se tomaron submuestras de 16 kilos por repetición. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de calidad de postcosecha del INIA La Platina, donde se evaluaron los parámetros de calidad al momento de cosecha y posterior a los 30 días de almacenaje a 5 °C, simulando condiciones de transporte refrigerado. Para el embalaje, se realizaron procesos normales de *packing*. Las muestras fueron desverdizadas en sistema estático de alta humedad con aplicación de 8 ppm de acetileno y embaladas a granel según estándares comerciales en cajas de cartón.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para implementar los tratamientos en las condiciones del campo, se realizó un diseño estadístico completamente al azar, con 5 tratamientos y 3 repeticiones, siendo la unidad experimental 4 árboles (se evaluaron los dos centrales dejando dos árboles de borde).

Tabla 1

Tratamientos de riego implementados. Se indican los porcentajes de reposición en base a la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Tratamiento		Reposición de ETc (%)	Déficit / Superávit de riego (%)	Momento de déficit
Control	T0	100	0	Sin déficit
Superávit	T1	120	+ 20	Sin déficit
Déficit	T2	89	- 11	Fase II y III
Déficit	T3	79	- 21	Fase II y III
Déficit	T4	70	- 30	Fase II y III

Los datos cuantitativos fueron analizados por F test de análisis de varianzas, utilizando modelos lineales generales y mixtos. Los datos cualitativos, conteos y evaluaciones de escalas hedónicas, fueron analizados por modelos lineales generalizados mixtos, con distribución ad-hoc según deviance. En caso de existir diferencias significativas ($p \leq 0,05$), las medias se separaron por prueba LSD Fisher.

RESULTADOS

Calibre

En la evaluación de calibre, medido como diámetro ecuatorial y peso de frutos al momento de cosecha, se observaron, para ambas variables, diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, las mayores diferencias se observaron en el peso de los frutos. En el caso del diámetro ecuatorial, se observó que la disminución del diámetro de frutos ocurrió con un déficit del 30 % de reposición de la ETc, mientras el resto de los tratamientos no tuvieron diferencias significativas respecto al tratamiento con reposición completa (100 %, Fig. 1A). Por su parte, el peso de frutos tuvo una disminución significativa a partir de 79 % de reposición de ETc, lo cual indica que con un 21 % de déficit hídrico, el peso de los frutos disminuyó en 18 g en promedio, que representa una disminución de 26,8% del peso comparado con el tratamiento sin déficit (Fig. 1B). Así mismo, el mayor aporte de riego en el tratamiento de reposición 120 % de ETc, no mostró diferencias significativas en comparación con el testigo (100 % ETc) en ninguna de las dos variables analizadas (calibre y peso).

Relación Sólidos Solubles / Acidez

Se observó que los tratamientos con menor riego tuvieron menor relación sólidos solubles/acidez que los tratamientos con más riego (Fig. 2). En los sólidos solubles, los tratamientos con riego deficitario tuvieron mayor concentración de grados Brix, de manera que al momento de cosecha el tratamiento testigo tuvo en promedio 11,2 °Brix, mientras el tratamiento con 70 % de reposición de ETc tuvo 14,4 °Brix en promedio. Dados estos valores de

sólidos solubles, la disminución de la relación SS/AT en los tratamientos con déficit se debe principalmente a que éstos presentaron mayor porcentaje de acidez, de modo que en esta variable el tratamiento testigo tuvo 1,2 % de acidez promedio, y el tratamiento con 70 % de reposición tuvo un 2,2 % de acidez promedio.

Posterior a 30 días de almacenaje a 5 °C, los valores de relación sólidos/acidez aumentaron en todos los tratamientos, debido a que si bien los sólidos solubles no aumentaron, la acidez titulable tuvo una importante disminución que promovió el aumento de la relación. La disminución más notoria se observó en el tratamiento de 70 % de reposición, cuya concentración de ácidos orgánicos disminuyó en un 18,6 % promedio, desde 2,2 % a 1,7 % de acidez titulable.

Color

En la variable color, evaluada en una escala de 1 a 7 al momento de cosecha, se observó un mayor desarrollo del color naranja en los tratamientos con menor disponibilidad hídrica (Fig. 3). En el mismo sentido, en plantas con superávit de riego (120 % de reposición de ETc), el desarrollo de color fue menor, con un 10 % más de frutos con colores verdes que el tratamiento testigo de 100 % de reposición de ETc. Esta relación entre el riego y el color también ha sido reportada por estudios como Kallsen y Sanden (2011), quienes observaron una notoria transición del color de verde a naranja a medida que se disminuyen los aportes de riego. Un punto a considerar con respecto a este efecto, es evaluar si la disparidad de color por régimen hídrico puede afectar la logística de cosecha, y en particular el proceso de desverdizado.

Incidencia de Oleocelosis

La incidencia de oleocelosis se ha relacionado fuertemente con la humedad relativa del aire al momento de cosecha (Agustí y Zaragoza, 2000) y como efecto del estrés hídrico (Zacarías et al., 2001) al momento de la manipulación y exposición al daño mecánico. En los resultados obtenidos tras 30 días de almacenaje en postcosecha se observó una

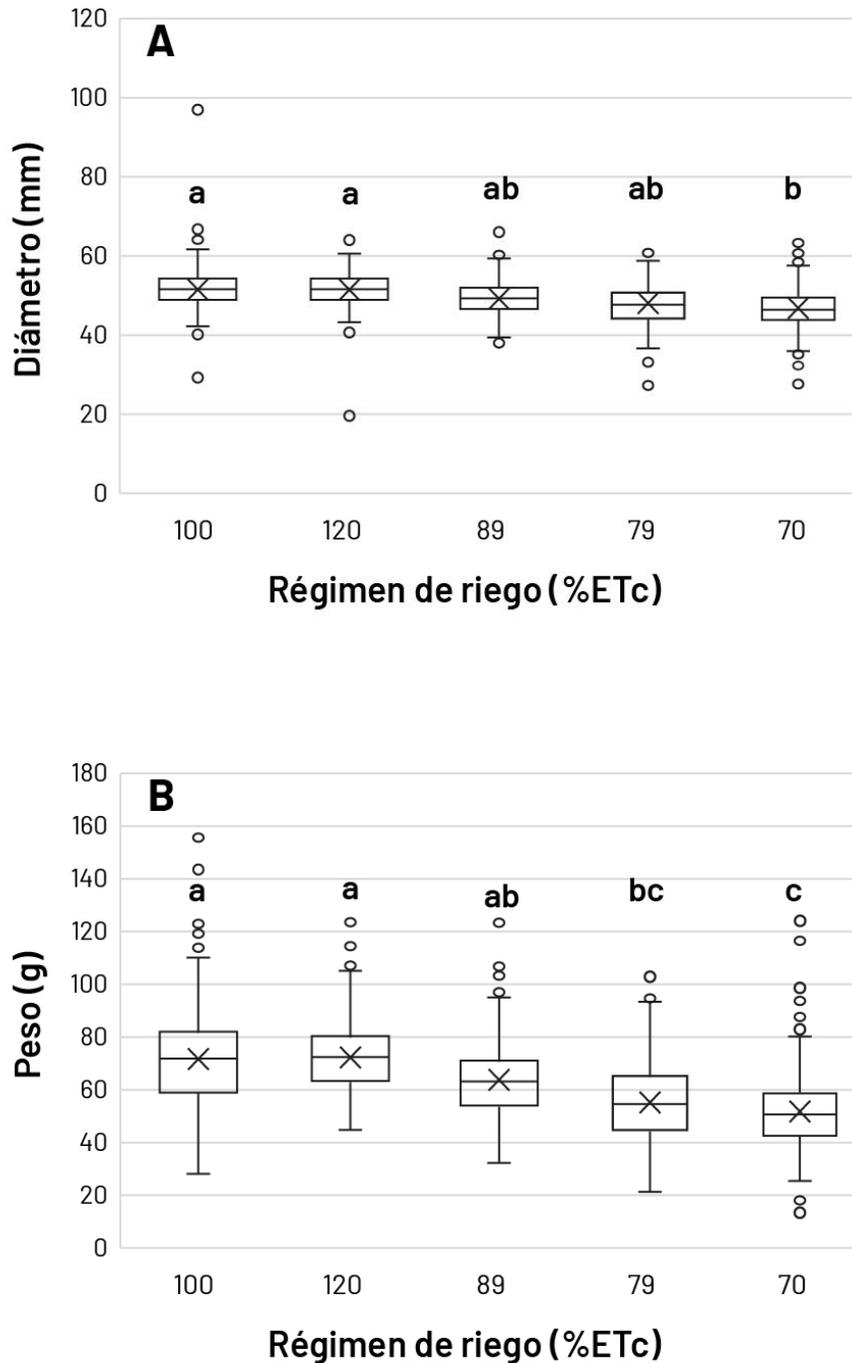


Figura 1. Box plot de calibre por diámetro y peso de frutos individuales de mandarina Orogrande, en distintos tratamientos de régimen de riego (% ETc). Los tratamientos de régimen hídrico fueron T0: 100 %; T1: 120 %; T2: 89 %; T3: 79 %; T4: 70 %. (A) Diámetro ecuatorial de frutos, (B) Peso de frutos individuales. Letras distintas indican las diferencias significativas según prueba LSD Fisher.

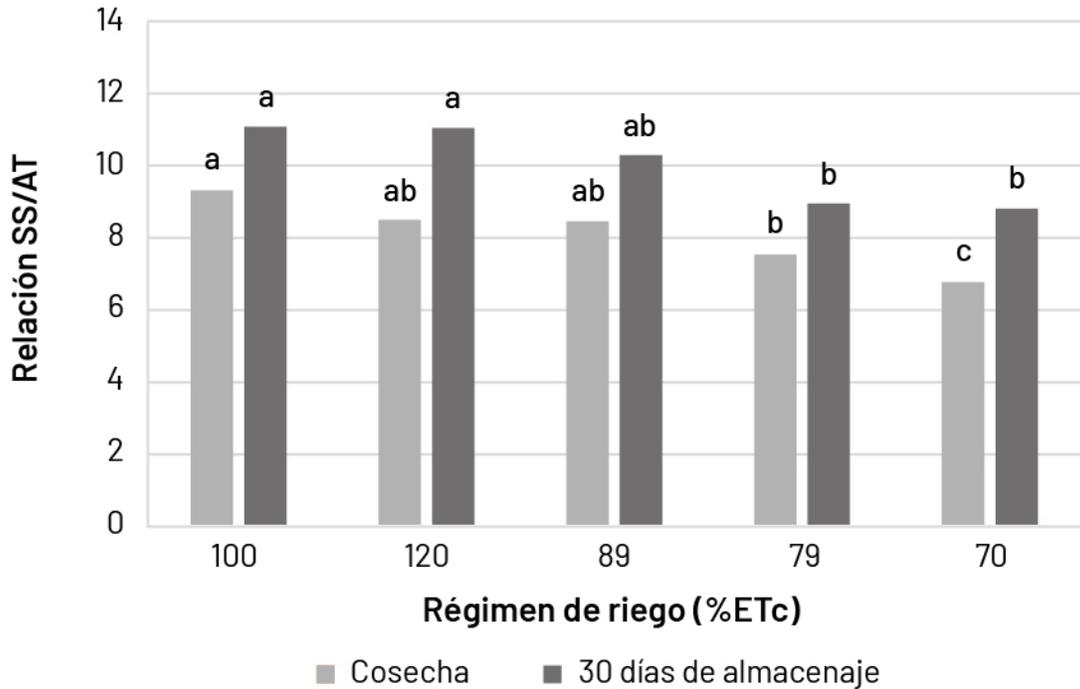


Figura 2. Relación Sólidos Solubles / Acidez por tratamiento en mandarina Orogrande con distintos tratamientos de reposición de riego. Los tratamientos de régimen hídrico fueron T0: 100 %; T1: 120 %; T2: 89 %; T3: 79 %; T4: 70 %. Se indica la medición de la relación al momento de cosecha y a salida de almacenaje en frío, posterior a 30 días a 5 °C. Se indican diferencias significativas, según LSD Fisher, entre tratamientos para cada momento por separado.

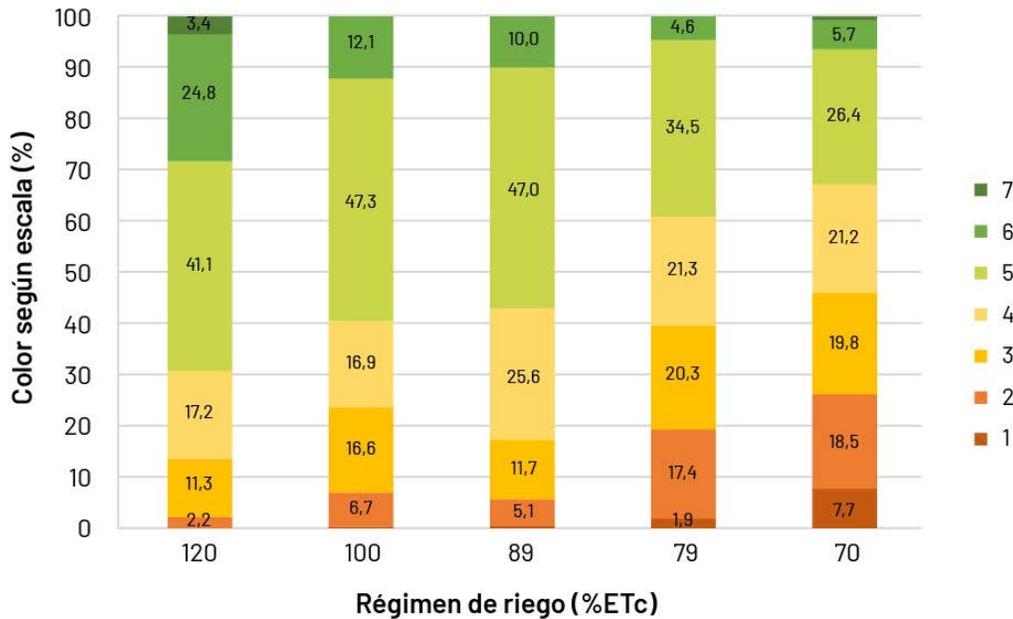


Figura 3. Distribución de color por escala visual a cosecha en mandarina Orogrande bajo distintos regímenes hídricos. Los tratamientos de régimen hídrico fueron T0: 100 %; T1: 120 %; T2: 89 %; T3: 79 %; T4: 70 %. Los porcentajes de color según escala representan la cantidad de fruta en cada color con respecto al total de la muestra por tratamiento.

clara disminución en la incidencia de oleocelosis en los tratamientos con restricción hídrica (Fig. 4), de manera que los frutos con un 89 % de reposición de ETc tuvieron una disminución promedio de 43 % en la incidencia de oleocelosis en comparación a los frutos sin déficit, mientras que el tratamiento con mayor déficit (70 % de reposición del ETc), tuvo una disminución promedio de 89 % en la incidencia de oleocelosis, comparado con los tratamientos sin riego deficitario. Por su parte, el superávit de riego, no presenta diferencias significativas con el tratamiento testigo de 100 % de reposición.

Incidencia de *creasing*

La incidencia de *creasing* fue observada principalmente en los tratamientos con déficit hídrico de 79 % y 70 % de reposición de ETc. Los demás tratamientos de riego no presentaron incidencia en ninguno de los momentos evaluados (Fig. 5). En los resultados obtenidos en la temporada 2021 – 2022, la incidencia de *creasing* estuvo acorde a lo observado por González-Altozano y Castel (1999), de modo que el tratamiento con mayor déficit (70 % de reposición), tuvo un 16,4 % de incidencia promedio al momento de cosecha, mientras el tratamiento con 79 % de reposición presentó 6,2 %. Un aspecto a notar, es que el promedio de *creasing* en postcosecha, observado posterior a 30 días de almacenaje a 5 °C fue de 23,3 %, resultando mayor al observado en cosecha. Luego, tras 2 días a temperatura ambiente (vida de estantería o *Shelf Life*), se observó un leve aumento con 25,9 % de incidencia promedio. Esta situación fue observada únicamente para el tratamiento con 70 % de reposición de agua, mientras que para el 79 % no se observa que el *creasing* incremente posterior al almacenaje.

Es posible que el aumento de incidencia de *creasing* en frutos con déficit hídrico sobre el 21 % se deba a que el fruto se encuentra más susceptible a los cambios de humedad relativa que ocurren en el proceso de postcosecha, de manera que durante el desverdizado la humedad relativa aumenta en los sistemas cerrados, mientras que durante el enfriamiento disminuye notablemente, por lo cual el almacenaje puede terminar de desencadenar este daño. De todas maneras, esta situación sigue siendo objeto de

estudio del proyecto para posteriores cosechas.

CONCLUSIONES

De los resultados observados durante la primera temporada del proyecto “Ajuste del coeficiente de cultivo satelital para el manejo preciso del riego en el cultivo de mandarinas de la zona centro norte de Chile”, se puede indicar que se observaron cambios notorios en la calidad de la fruta bajo distintos tratamientos de régimen hídrico recibido por el cultivo en condiciones de campo.

El calibre, en particular el peso de los frutos, se ve disminuido significativamente cuando el déficit de riego es superior a 11 % de la ETc. De esta manera, cuando se disminuyó el riego en un 30 %, se observó que el peso promedio de los frutos fue un 26 % menor comparados con los frutos del tratamiento control, que tuvieron riego al 100 % de la ETc. El exceso de riego, por su parte, no representó una ventaja en el calibre de frutos, ya sea como un aumento de peso o como aumento de diámetro.

El color de los frutos se vio directamente relacionado a la cantidad de agua recibida por el cultivo durante el desarrollo del fruto. De modo que cuando mayor fue el aporte de riego, el desarrollo de color tendió a mantener tonos verdes, mientras que las plantas sometidas a déficits promovieron el desarrollo de color naranja de manera más temprana. Esta situación, puede verse promovida por la mayor acumulación de sólidos solubles presentes en las frutas con déficit hídrico.

Por otro lado, el déficit de riego provocó una disminución de la incidencia de oleocelosis, de modo que las muestras a las que se les aplicó un 30 % de déficit presentaron una baja de 89 % en la incidencia de oleocelosis. Sin embargo, la pérdida de calibre y el aumento de *creasing* experimentado con este nivel de déficit son pérdidas críticas de condición. Por su parte, el tratamiento con 21 % de déficit tuvo una disminución similar en la incidencia de oleocelosis pero con menor efecto en el *creasing* y el calibre, lo cual hace este tratamiento interesante para estudios de definición de límites de déficit que nos permitan obtener ventajas en

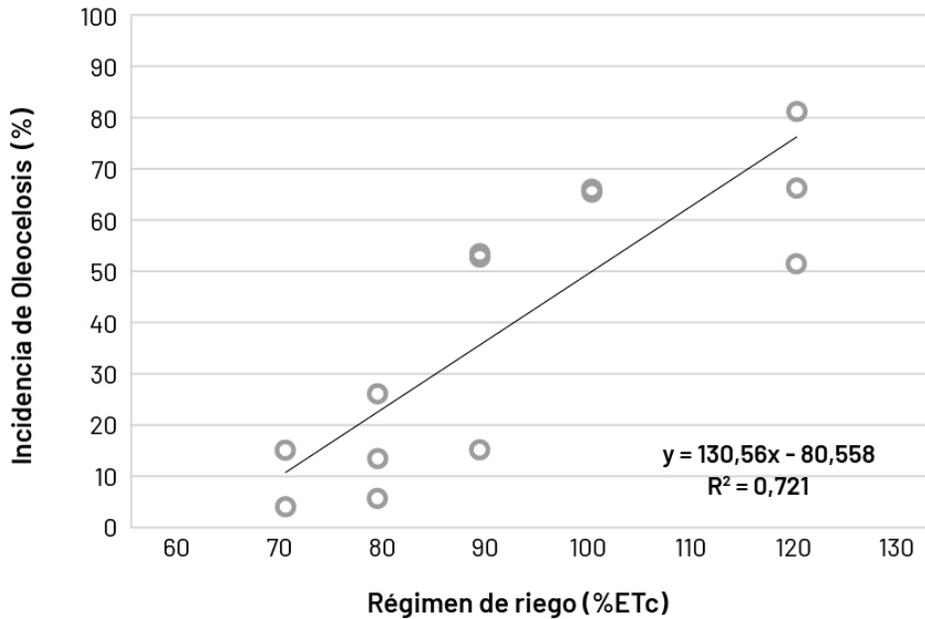


Figura 4. Incidencia de oleocelosis en mandarina Orogrande según régimen de riego. Se indican los valores promedio de incidencia de oleocelosis tras 30 días de almacenaje a 5 °C según régimen de riego. Los tratamientos de régimen hídrico fueron T0: 100 %; T1: 120 %; T2: 89 %; T3: 79%; T4: 70%. Se indica tendencia lineal ajustada a los valores observados y R² del ajuste.

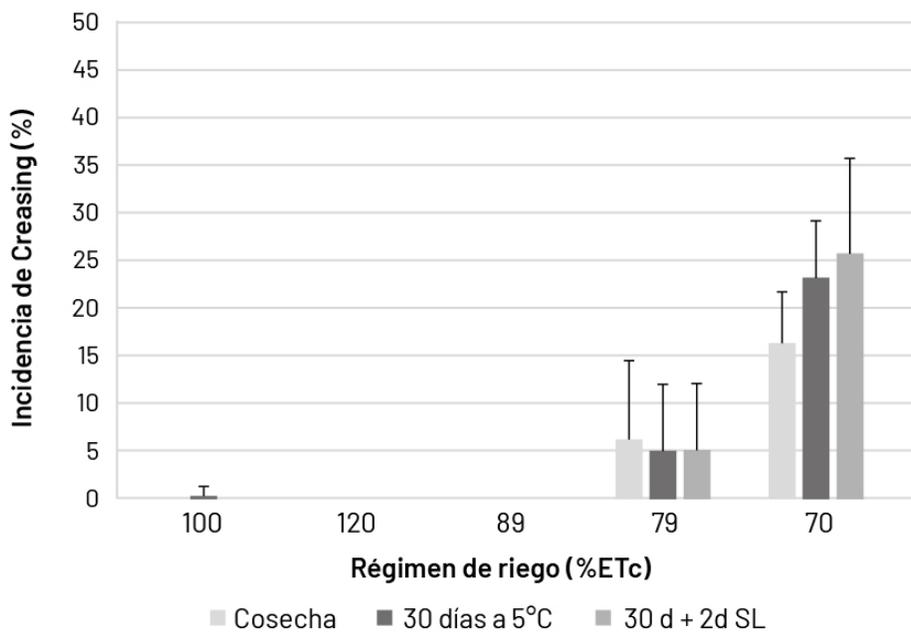


Figura 5. Incidencia de *creasing* al momento de cosecha, tras 30 días de almacenaje a 5 °C, y posterior a 30 días de almacenaje a 5 °C más 2 días de *Shelf Life* (SL, vida de estantería) a 20 °C, como simulación de condiciones en comercialización. Los tratamientos de régimen hídrico fueron T0: 100 %; T1: 120 %; T2: 89 %; T3: 79 %; T4: 70 %.

oleocelosis, sin generar daños en otras variables.

Un aspecto a evaluar, es el posible aumento de la incidencia de *creasing* en fruta con alto déficit hídrico a lo largo de la postcosecha, que podría deberse a una sensibilidad a las fluctuaciones de humedad durante el proceso de desverdizado y almacenaje, lo cual sigue en estudio.

El uso de superávit de riego no demostró ventajas en calidad de frutos ni tampoco en que pueda mejorar la producción. A su vez, una disminución del 11 % de riego no presentó diferencias significativas con el testigo en las variables medidas.

Durante la temporada 2022/23 se evaluarán los mismos parámetros indicados en este trabajo para confirmar las tendencias señaladas inducidas por el manejo del riego propuesto. En esta temporada también se incluirá la evaluación del efecto del riego sobre los estados fenológicos del cultivo, la producción de flores, cuajado y aborto de frutos.

LITERATURA CITADA

Agustí, M., Zaragoza, S. (2000). Desórdenes fisiológicos. En: Durán-Vila, N., Moreno, P. (Eds.). Enfermedades de los cítricos. Ediciones MundiPrensa, Madrid, pp. 111–115.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56 FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Campos, I., Neale, C.M.U., Calera, A., Balbontín, C., González-Piqueras, J. (2010). Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). Agric. Water Manage, 98: 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.011>.

Conesa, M., De la Rosa, J., Fernández-Trujillo, P., Domingo, R., Pérez-Pastor, A. (2018). Deficit irrigation in commercial mandarin trees: water relations, yield and quality responses at harvest and after cold storage. Spanish Journal of Agricultural Research, 16 (3).

González-Altozano, P., Castel, J.R. (1999). Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. J Hort Sci Biotech, 74: 706–713.

Jiménez-Bello, M.Á., Ruiz, L.Á., Hermosilla, T., Recio, J., Intrigliolo, D.S. (2012). Use of remote sensing and geographic information tools for irrigation management of citrus trees. OPTIONS méditerranéennes, 67.

Kallsen, C., Sanden, B. (2011). Early navel orange fruit yield, quality,

and maturity in response to late-season water stress. HortScience, 46(8):1163-1169.

Shorner, I., Erner, Y. (1989). The nature of oleocellosis in citrus fruits. Botanical Gazette, 150: 281–288.

Treeby, M.T., Henriod, R.E., Bevington, K.B., Milne, D.J., Storey, R. (2007). Irrigation management and rootstock effects on navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit quality. Agricultural water management, 91:24-32.

Zacarias, L., Alferez, F., Gariglio, N., Almela, V., Agustí, M. (2001). Rind breakdown in Navelate oranges: influence of rootstock. In: Proceedings of International Society of Citriculture, Orlando, Florida, USA, December 2000.