

# EVALUACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE KIWI (*Actinidia deliciosa*)

## REGULATED DEFICIT IRRIGATION EVALUATION ON KIWI (*Actinidia deliciosa*) PRODUCTION

Luis O. Lagos<sup>1\*</sup>, Waldo Lama<sup>1</sup>, Juan Hirzel<sup>2</sup>, Camilo Souto<sup>1</sup>, Mario Lillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Research Center for Agriculture and Mining Chillán, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Vicente Méndez 595, Chillán, C.P. 537. Chile. (octaviolagos@udec.cl). <sup>2</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria, Chillán, Chile.

### RESUMEN

El riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de manejo donde se aplica agua según las etapas fenológicas del cultivo. Como consecuencia, condiciones diferentes del manejo del riego pueden producir cambios importantes en la producción, calidad de la fruta y una disminución del volumen de agua utilizado. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de RDC en la producción y calidad del kiwi (*Actinidia deliciosa*) Hayward, en Chile. Durante los ciclos de producción de 2009 al 2012 se aplicaron cuatro periodos de restricción hídrica: 1) desde 30 d y hasta 10 d antes de la floración, 2) cuando el fruto alcanzó más de 60 % del peso final, 3) cuando el fruto alcanzó más de 70 % del peso final y 4) cuando el fruto alcanzó más de 80 % del peso final. Los resultados de cada período de restricción fueron comparados con un tratamiento testigo con 100 % de reposición de la evapotranspiración. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue de tres hileras de siete plantas cada una. Las medias de tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Durante todo el estudio se midió humedad del suelo, estado hídrico de la planta, volúmenes de agua aplicados, desarrollo y uniformidad del fruto. Los resultados principales fueron: disminución del volumen de agua y costos asociados al bombeo entre 24 y 60 %, respecto al tratamiento testigo; el RDC aplicado mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en calibre para los distintos años de estudio. Con RDC hubo una buena uniformidad en 24.2 % de los frutos sin efectos en la productividad ( $p > 0.05$ ).

**Palabras clave:** estrés hídrico, calidad, agua-producción, ahorro agua y energía.

### ABSTRACT

Controlled deficit irrigation (CDI) is a management strategy where water is applied according to the crop phenological stages. As a result, different irrigation management conditions can produce significant changes in production, fruit quality and the reduction in the applied total water volume. The objective of this research was to evaluate the effect of CDI on the production and quality of kiwi (*Actinidia deliciosa*) Hayward, in Chile. During the production cycles from 2009 to 2012 four water restriction periods were applied: 1) from 10 d to 30 d before flowering, 2) when fruits reached 60 % of their final weight, 3) when fruits reached more than 70 % of the final weight, and 4) when fruits reached more than 80 % of their final weight. The results of each restriction period were compared with a control treatment which had a 100 % evapotranspiration replacement. The experimental design was completely randomized in blocks with four replicates per treatment. The experimental unit was of three rows of seven plants each. Treatment means were compared by the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). Throughout the study, soil moisture, water status of the plant, applied water volume, fruit development and uniformity were measured. The main results were the decrease of water volume and its associated costs of pumping between 24 and 60 % compared to the control treatment; the applied CDI showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) on the size in the evaluated years. With CDI there was good uniformity in 24.2 % of the fruits without effects on productivity ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** water stress, quality, water production, water and energy saving.

### INTRODUCTION

World production of kiwi (*Actinidia deliciosa*) is led by Italy, New Zealand, Chile and Greece, which account for

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2016. Aprobado: noviembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 359-372. 2017.

## INTRODUCCIÓN

La producción mundial de kiwi (*Actinidia deliciosa*) está liderada por Italia, Nueva Zelanda, Chile y Grecia, que concentran 82 % de la producción mundial. Chile posee 10 569 ha plantadas con kiwi, es el tercer exportador del fruto en el mundo con un aumento continuo del valor exportado y entre 2012 y 2013, a volúmenes similares exportados en ambos años, el valor de sus exportaciones aumentó 22.5 % (ODEPA, 2014). Para aumentar la competitividad de este fruto en el mercado internacional se debe minimizar los costos, principalmente de agua y energía, en su producción.

El estrés hídrico y el manejo del riego en el desarrollo de algunos frutales pueden producir cambios importantes en la producción y la calidad de la fruta (Reid *et al.*, 1996). En vides (*Vitis vinifera*) se estudió el efecto del volumen y la frecuencia de riego en la producción y en la calidad del fruto y del vino (Ambrosio *et al.*, 2008; Collins *et al.*, 2008; Chalmers *et al.*, 2008). En manzanos (*Malus communis*), Bonany y Camps (1998), Leib *et al.* (2006) y O'Connell *et al.* (2008) mostraron que una reducción del agua aplicada disminuyó el tamaño de los frutos, pero su firmeza aumentó. Ferreyra *et al.* (1998) reportan el efecto del déficit hídrico en kiwi (*Actinidia deliciosa*), vid (*Vitis vinifera*), manzano (*Malus communis*) y duraznero (*Prunus persica*).

Un manejo adecuado del estado hídrico en frutales durante su desarrollo permite mejorar la producción, la calidad y el calibre de la fruta, además de la vida de postcosecha, la eficiencia en la utilización del recurso hídrico, la eficiencia en el uso de la energía, y la rentabilidad. Así, el uso de procesos productivos nuevos y tecnologías innovadoras que mejoren el estado hídrico de los cultivos ofrece oportunidades nuevas para el manejo del agua en frutales (Ferreyra *et al.*, 1998). En particular, el riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de manejo del agua, donde su aplicación se condiciona a las etapas fenológicas de desarrollo del cultivo o del fruto.

El RDC puede ser útil cuando es moderado en algún periodo específico del crecimiento del fruto, porque debido al estrés causado puede haber cambios favorables en la calidad de la fruta (Miller *et al.*,

82 % of the world production. Chile has 10 569 ha planted with kiwi and is the third largest world exporter of this fruit. Its production has had a continuous increase in its export value. Between 2012 and 2013, these had similar exports volume, which increased 22.5 % (ODEPA, 2014). To increase the competitiveness of this fruit in the international market, it is necessary to minimize its costs production, mainly water and energy.

Water stress and irrigation management during the development of some fruits can produce significant changes in their yield and fruit quality (Reid *et al.*, 1996). In grapevines (*Vitis vinifera*) the effect of water volumes and frequency of irrigation in the production and quality of fruit and wine were evaluated (Ambrosio *et al.*, 2008; Collins *et al.*, 2008; Chalmers *et al.*, 2008). Bonany and Camps (1998), Leib *et al.* (2006) and O'Connell *et al.* (2008) showed that an applied water reduction decreased the apple (*Malus communis*) fruit size, but increased its firmness. Ferreyra *et al.* (1998) reported the effect of water deficit in kiwi, grapes, apple and peach (*Prunus persica*).

Proper water management in fruits during their development improves production, quality and size of the fruits, besides of its postharvest life, water use efficiency, efficient energy use and profitability. Thus, the use of new production processes and innovative technologies that improve crop water status offers new opportunities for water management in fruit (Ferreyra *et al.*, 1998). In particular, controlled deficit irrigation (CDI) is a water management strategy in which water application is conditioned by the phenological stages of crop or fruit development.

The CDI can be useful when moderately performed during a specific period of fruit growth, because, due to the caused stress, favorable changes in the fruit quality may have happened (Miller *et al.*, 1998). In some cases, the application of the CDI may reduce production compared to traditional irrigation, but can improve the quality of the end product (Zhang and Oweis, 1999). According to Currie *et al.* (2008), irrigation deficit applied to orchards of kiwi from the Hayward variety increases dry matter, hardens the fruit and helps to extend its postharvest life. Nevertheless, it could not ensure crop planning, as it promotes fruit early ripening, nor would it allow to estimate the fruit size, because the effect in the size would greatly depend on the

1998). En algunos casos la aplicación de RDC puede disminuir la producción, comparado con el riego tradicional, pero mejora la calidad de los productos (Zhang y Oweis, 1999). El riego deficitario aplicado a huertos con kiwi variedad Hayward, aumenta la materia seca, endurece el fruto y ayuda a prolongar la vida de postcosecha Currie *et al.* (2008). Sin embargo, no podría asegurar una planificación de cosecha, ya que promueve una maduración temprana del fruto, ni permitiría estimar el tamaño del fruto, porque el efecto en el tamaño depende mucho del estado fenológico en que fue aplicado dicho estrés. En plantas jóvenes de kiwi enraizadas en zanja de polietileno, con superficie desprendible para controlar estrictamente el suministro del agua, se midió crecimiento del fruto, potencial hídrico de la planta y resistencia estomática durante toda la temporada; hubo gran variabilidad en el tamaño del fruto, pero la fruta cosechada no fue afectada por el estrés hídrico (Judd *et al.*, 1989).

El RDC requiere conocimiento preciso de la respuesta del cultivo al estrés hídrico y tolerancia a la sequía que varían según el genotipo y etapa fenológica. Para diseñar estrategias de RDC exitosas desde una perspectiva de desarrollo y de optimización, se deben combinar con la modelación de la productividad agrícola y la investigación de campo (Geerts y Raes, 2009).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto en la producción y calidad del kiwi, por la aplicación de diferentes estrategias de RDC durante el desarrollo productivo del cultivo. La hipótesis fue que el manejo adecuado del riego, mediante estrategias de RDC en la época de maduración del fruto, mejora la calidad y la vida postcosecha del kiwi.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una plantación de kiwi en Las Rosas, Región del Maule, Chile (36° 00' S y 71° 40' O). La zona posee un clima templado de tipo mediterráneo con una estación seca de seis meses. La temperatura media es 19 °C, con extrema de 30 °C durante el verano y en invierno la temperatura mínima media es 7 °C (BCN, 2014). Las precipitaciones son abundantes en la época invernal, superando los 500 mm entre mayo y agosto (BCN, 2014).

Para conocer la textura, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente del

phenological state in which the stress was applied. In young kiwi plants, rooted in a ditch with a removable polyethylene surface in order to strictly control their water supply, fruit growth, plant water potential and stomatal resistance was assessed throughout the season; there was great variability in the fruit size, but the harvested fruit was not affected by the water stress (Judd *et al.*, 1989).

The CDI requires precise knowledge of the crop's response to water stress, such as drought tolerance, which varies according to the genotype and phenological stage. To design successful CDI strategies, both from the developmental and optimization perspectives, it should be combined with agricultural productivity modeling and field research (Geerts and Raes, 2009).

Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect on production and quality in kiwifruit, by applying different CDI strategies during the crop production and development. Our hypothesis was that an adequate irrigation management, through CDI strategies at the time of fruit ripening, improves quality and the postharvest life of kiwifruit.

## MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in a kiwi plantation at Las Rosas, Maule Region, Chile (36° 00' S and 71° 40' W). The area has a temperate Mediterranean climate with six months of dry season. The mean temperature is 19 °C, with extreme high 30 °C in summer. In winter the mean minimum temperature is 7 °C (BCN, 2014). Rainfall is abundant during the invernial season, exceeding 500 mm between May and August (BCN, 2014).

In order to assess soil texture, field capacity (FC), wilting point (WP), soil bulk density and soil particle size analysis with the hydrometer method (Bouyoucos) were performed. Also, the air pressure method (5-15 bar Ceramic Plate Extractor, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA) and the lump method were performed. All analyses were carried out as proposed by Sandoval *et al.* (2012) at the Water Resources Laboratory of the Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. The upper soil profile (0-0.3 m) has a loam to clay loam texture, with a retention capacity average humidity of 60 mm, bulk density of 1.49 g cm<sup>-3</sup>, FC of 0.39 and WP of 0.19 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Regard depth (0.3-1.2 m), soil is a loam to sandy loam, with moisture retention capacity of 53 mm, bulk density of 1.5 g cm<sup>-3</sup>, FC of 0.32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> and WP 0.14 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. The

suelo se realizó: un análisis de granulometría de suelos con el método del hidrómetro (Bouyoucos); el método de presión de aire (5-15 bar Ceramic Plate Extractor, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA); y el método del terrón, respectivamente. Todos los análisis fueron realizados según lo propuesto por Sandoval *et al.* (2012) y en el Laboratorio de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción. El perfil superior del suelo (0-0.3 m) es de textura franco a franco arcillosa, con una capacidad de retención de humedad promedio de 60 mm, densidad aparente de  $1.49 \text{ g cm}^{-3}$ , CC de 0.39 y PMP de  $0.19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . En profundidad (0.3-1.2 m) el suelo es de textura franco a franco arenosa, con capacidad de retención de humedad de 53 mm, densidad aparente de  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$ , CC de  $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  y PMP de  $0.14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . La plantación se estableció el año 2000, con un marco de plantación de 4 m y 4.5 m sobre y entre hilera, respectivamente, conducida en parrón español. El sistema de riego es por microaspersión, con un emisor (modelo Modular, marca DAN®, Israel) de  $47 \text{ L h}^{-1}$  por planta y con una presión de operación aproximada a 13 m.c.a.

La investigación se realizó durante tres temporadas productivas (2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012), las precipitaciones registradas se muestran en el Cuadro 1 (Davis Vantage Pro2, Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA).

El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cinco tratamientos, un testigo (T0) y cuatro correspondientes a estrategias de RDC (T1, T2, T3 y T4), cuatro repeticiones y cada unidad experimental estuvo compuesta por 21 plantas ( $378 \text{ m}^2$ ).

Los riegos se aplicaron cada semana durante todo el estudio. Los volúmenes de agua aplicados a los tratamientos fueron determinados en función del control de la humedad en el suelo y la restricción hídrica programada para cada tratamiento (RDC).

El testigo (T0) consistió en reponer 100 % de la demanda hídrica calculada mediante el uso de coeficiente de cultivo (Kc) y la evapotranspiración de referencia (ET<sub>r</sub>) obtenida de una bandeja de evaporación tipo A instalada en el predio, mientras que para T1, T2, T3 y T4 se consideró cuatro períodos de estrés durante el desarrollo del fruto. En T1 se suspendió el riego antes de la floración (octubre), bajo el supuesto que las condiciones de precipitación y humedad del suelo lo permitiesen; en T2 se suspendió el riego con el fruto formado, con más del 60 % del peso final esperado; en T3 se causó estrés hídrico cuando los frutos presentaban un peso mayor al 70 % del peso final esperado; y en T4 se suspendió el riego en la etapa final del desarrollo de los frutos, cuando los frutos presentaban un peso mayor al 80 % del peso final esperado.

Para causar estrés en la planta el riego se suspendió hasta que la humedad en el suelo descendió al 50 % de la humedad

plantation was established in 2000, with a planting of 4 m by 4.5 m on and between rows, each, conducted in Spanish vine arbour. The used irrigation system was micro-irrigation, with an emitter (Modular model, brand DAN, Israel) of  $47 \text{ L h}^{-1}$  per plant and an approximate operation pressure of 13 m.c.a.

This research was conducted during three productive seasons (2009-2010, 2010-2011 and 2011-2012), the registered precipitations are shown in Table 1 (Davis Vantage Pro2, Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA).

The experimental design was of complete randomized blocks with five treatments, a control (T0) and four corresponding strategies CDI (T1, T2, T3 and T4), four replicates and each experimental unit was composed of 21 plants ( $378 \text{ m}^2$ ).

Irrigation was applied every week throughout the study. The water volumes applied to the treatments were determined based on the soil moisture control and water restriction scheduled for each treatment (CDI).

The control (T0) consisted of the replacement of a 100 % of the water demand calculated using the crop coefficient (Kc) and the reference evapotranspiration (ET<sub>r</sub>) obtained from an A type evaporation pan installed on the property, while for T1, T2, T3 and T4 four stress periods during the development of the fruits were considered. In T1 irrigation was suspended before flowering (October), under the assumption that the precipitation conditions and soil moisture allowed it; in T2 irrigation was suspended when the fruits were formed with more than 60 % of their expected final weight; in T3 water stress was caused when the fruits had a weight higher than 70 % of the expected final weight; in T4 irrigation was suspended in the final stage of fruit development, when the fruits had a weight higher than 80 % of their expected final weight.

In order to cause plant stress, irrigation was suspended until the soil moisture decreased to 50 % of the available moisture in the first 60 cm deep. For each experimental treatment, units were composed of three rows of seven plants each, a total of 84 plants per treatment, with 0.151 ha per treatment and 0.756 ha total.

The soil moisture content was measured with a neutron probe (model 4300, Troxler Inc, Triangle Park, North Caroline,

**Cuadro 1. Precipitaciones entre el periodo septiembre-abril para las tres temporadas (2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012).**

**Table 1. Rainfall between September-April for three seasons (2009-2010, 2010-2011 and 2011-2012).**

Temporada	Precipitación (mm)
2009-2010	160
2010-2011	280
2011-2012	104

aprovechable de los primeros 60 cm de profundidad. Para cada tratamiento se consideró unidades experimentales compuestas por tres hileras de siete plantas cada una, un total de 84 plantas por tratamiento, con 0.151 ha por cada tratamiento y 0.756 ha totales.

El contenido de humedad del suelo se midió con una sonda de neutrones (modelo 4300, Troxler Inc, Triagle Park, North Caroline, USA), con una frecuencia promedio de 3 d. Estas mediciones se realizaron a través de tubos de acceso de aluminio a cuatro profundidades (0-0.3, 0.3-0.6, 0.6-0.9 y 0.9-1.2 m), y con 60 tubos en todo el experimento. Para cada tratamiento hubo 12 tubos y tres tubos para cada unidad experimental. Los tres tubos se ubicaron alrededor de las plantas centrales de la unidad experimental y dispuestos a una distancia de 0.8 m entre hilera (Tubo A) y a 1 m y 2 m sobre hilera (Tubo B y Tubo C, respectivamente), todos por sobre el camellón.

Para evaluar el efecto del RDC en el estado hídrico de la planta se midió conductancia estomática y presión xilemática. En la planta, la conductancia estomática fue medida cada 7 d entre las 12:00 y 14:00 h (hora local), con un Porómetro (modelo AP4, DELTA-T Device, Cambridge, UK). La medición se realizó en 24 hojas expuestas al sol pertenecientes a los cargadores frutales para cada tratamiento y distribuidas en seis hojas por repetición. Las hojas medidas fueron tomadas en el mismo cuadrante donde se midió el contenido de humedad del suelo, para correlacionar la información. De manera similar, la presión xilemática de la planta fue medida cada 7 d durante todo el estudio, utilizando una bomba de presión (tipo Scholander, Eijkelkamp, Glesbeeh, Netherlands). En cada tratamiento se midieron ocho hojas, distribuidas en dos hojas por cada repetición. De acuerdo con las recomendaciones de Sellés y Ferreyra (2002), una hora antes de realizar las mediciones (12:00 h), las hojas seleccionadas fueron cubiertas con bolsas de aluminio para bloquear la transpiración y radiación solar en la hoja.

El calibre del fruto se midió cada semana con un vernier (pie de metro), y se obtuvo el diámetro polar y ecuatorial de 40 frutos seleccionados al azar en cada tratamiento (10 frutos por cada repetición). Los frutos fueron seleccionados cada semana desde las plantas centrales de cada unidad experimental. El kiwi es una fruta de forma irregular, por lo cual el diámetro ecuatorial fue medido por ambos costados de la fruta. Con los resultados se determinó la categoría de exportación de acuerdo con la homogeneidad de la fruta (Cuadro 2).

#### Análisis estadístico de los datos

Para el análisis de datos (resistencia estomática, presión xilemática, tamaño del fruto y producción) de las tres temporadas, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para conocer la normalidad

USA), with an average frequency of 3 d. These measurements were performed through aluminum access tubes at four depths (0-0.3, 0.3-0.6, 0.6-0.9 and 0.9-1.2 m), and 60 tubes throughout the experiment. For each treatment, there were 12 tubes and three tubes for each experimental unit. All three tubes were placed around the experimental unit central plants and arranged at a distance of 0.8 m between rows (tube A) and at 1 and 2 along the row (tube B and tube C respectively), all over the windrow.

In order to evaluate the effect of the CDI in the water status of the plant, the stomatal conductance and xylem pressure were measured. On the plants, stomatal conductance was measured every 7 d between 12:00 and 14:00 (local time) with a porometer (AP4 model, DELTA-T Device, Cambridge, UK). The measurements were performed in 24 leaves exposed to sunlight. These were part of the fruit chargers for each treatment and distributed in six leaves by repetition. The measured leaves were taken in the same treatment where the soil moisture content was measured in order to correlate information. Similarly, the plant xylem pressure was measured every 7 d throughout the study using a pressure pump (Scholander type, Eijkelkamp, Glesbeeh, Netherlands). In each treatment, eight leaves were measured, these were distributed in two leaves per repetition. According to Sellés and Ferreyra (2002) recommendations, one hour before taking measurements (12:00 h), the selected leaves were covered with aluminum bags to block transpiration and solar radiation on the leaf.

The fruit size was weekly measured using a vernier (foot meter). The polar and equatorial diameter of 40 randomly selected fruits in each treatment (10 fruits per repetition) was obtained. The fruits were selected weekly from the central plants of each experimental unit. Kiwifruit is a fruit of irregular shape, whereby the equatorial diameter was measured on both sides of the fruit. With the results, the export category was determined according to the homogeneity of the fruits (Table 2).

#### Cuadro 2. Relación entre el diámetro ecuatorial mayor y diámetro ecuatorial menor de los frutos, según normas de los mercados internacionales.

Table 2. Relationship between the largest and smaller equatorial diameter of the fruit, according to international markets standards.

Relación	Categoría	Fruto
1.0 a 1.1	1	cilíndrico
1.11 a 1.15	1b	cilíndrico semi plano
1.16 a 1.25	2	semi plano
> 1.25	2	plano

de datos y luego la prueba de Bartlett para corroborar la homogeneidad de varianzas. La transformación de variables de Box-Cox (Box y Cox, 1964) se usó después para homogenizar las varianzas y normalizar los datos. Luego se realizó un ANDEVA conjunto (Kuehl, 2001) y cuando se encontró significancia (prueba F), las medias se analizaron con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los análisis de varianza se realizaron con el software R versión 3.1.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Humedad en el suelo

De octubre a enero (2009 al 2012) la humedad en el suelo fue uniforme en los tres puntos de monitoreo (Tubos A, B y C). La fluctuación del contenido de humedad aumentó desde enero hasta la cosecha, periodo en el cual se realizó la aplicación programada del RDC en T1, T2, T3 y T4 y se aumentó la frecuencia del riego en T0. En la Figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de humedad medido en los primeros 0.3 m de profundidad en el perfil de suelo (temporada 2009-2010).

El Tubo A (0.8 m de la planta) mostró en todos los tratamientos (Figura 1A), mayor sensibilidad respecto a los cambios en el contenido de humedad del Tubo B y Tubo C, lo cual indica que la actividad radical para la extracción de agua fue más alta en ese punto de monitoreo. En el Tubo B (1 m de la planta) y el Tubo C (2 m de la planta) la extracción de agua no fue mayor a la obtenida en el Tubo A (Figura 1B y 1C), lo que se puede atribuir a la gran variabilidad espacial que presenta la zona radical de la planta de kiwi, y estos resultados son similares a los reportados por Hughes *et al.* (2001). Los resultados de las otras estratas y las otras temporadas fueron similares: T0 mantuvo valores cercanos a CC y los otros tratamientos con valores que no disminuyeron el contenido de humedad bajo el 50 % de la humedad aprovechable.

### Resistencia estomática (Re)

Los resultados de Re muestran valores promedios durante la primera temporada de 0.5 y 1.0 s  $\text{cm}^{-1}$ , en la segunda y tercera temporada los valores variaron de 1.2 a 2.2 s  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente para todos los tratamientos, y estas dos últimas temporadas obtuvieron un mayor valor promedio de Re con

### Statistical analysis of data

For the data analysis (stomatal resistance, xylem pressure, fruit size and production) of the three seasons, the Shapiro-Wilk test was applied to assess the data normality and then the Bartlett test in order to corroborate the homogeneity of variance. The Box-Cox (Box and Cox, 1964) transformation of variables was then used to homogenize the variances and standardize data. A conjunct ANOVA was then made (Kuehl, 2001) when significance was found (F test), means were analyzed with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). Analyses of variance were performed using the R statistical software (version 3.1.0).

## RESULTS AND DISCUSSION

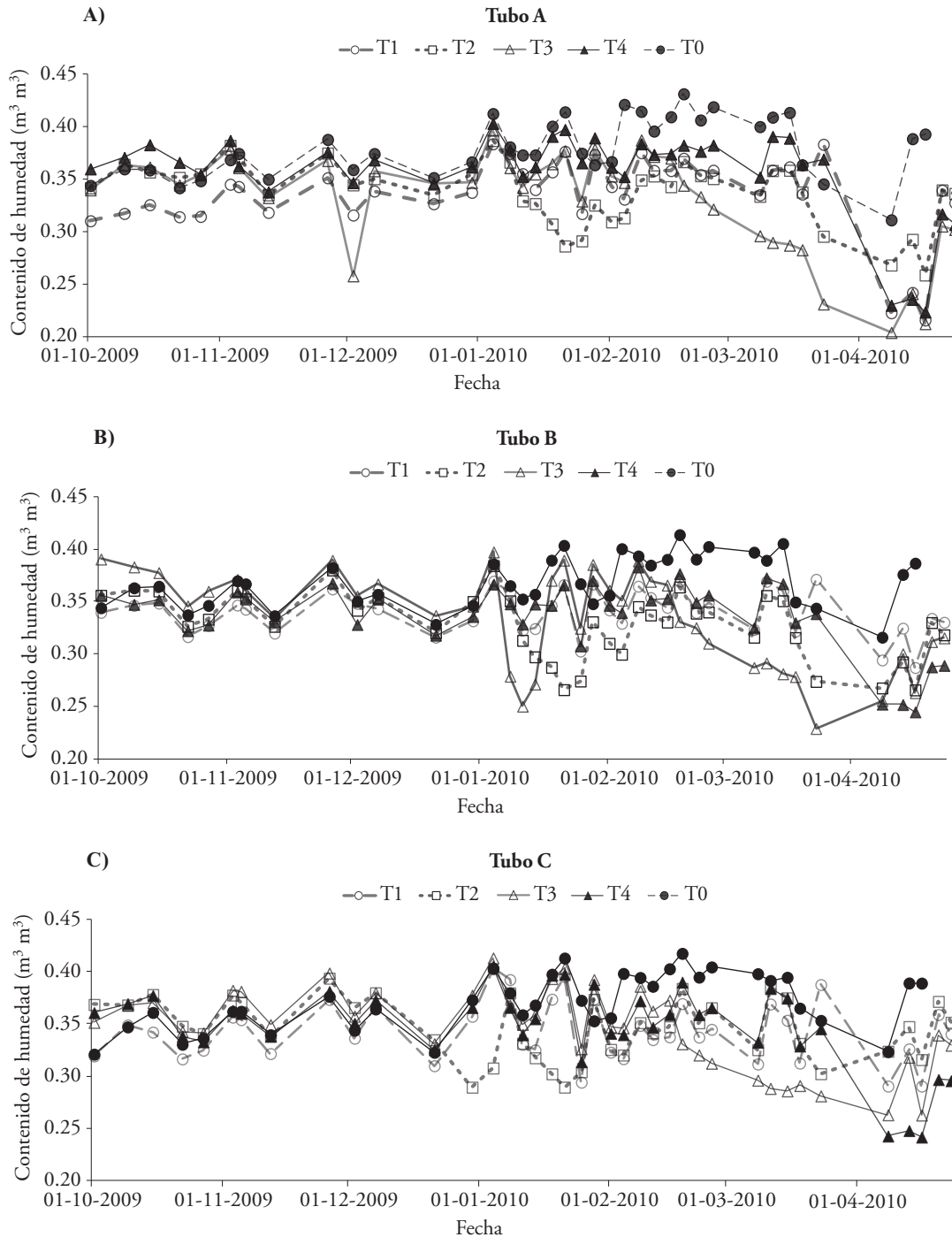
### Soil moisture

Between October and January (2009 to 2012) the soil moisture was consistent across the three monitoring points (Tubes A, B and C). The moisture content fluctuation increased from January to harvest, a period in which the application of the CDI scheduled at T1, T2, T3 and T4 were performed and the T0 irrigation frequency was increased. In Figure 1, the behavior of moisture content measured in the first 0.3 m deep in the soil profile (2009-2010 seasons) is shown.

Tube A (0.8 m from the plant) showed in all treatments (Figure 1A) greater sensitivity to changes in the moisture content than B and C tubes, indicating that the radical water extraction activity was higher at that monitoring point. In tube B (1 m from the plant) and tube C (2 m from the plant), water withdrawal was not higher than that obtained in tube A (Figure 1B and 1C), which is attributed to the large spatial variability that the root zone of the kiwi plants showed. These results are similar to those reported by Hughes *et al.* (2001). The results measured for the other strata and the other seasons were similar: T0 kept near FC values, the other treatments with values that on average did not decrease the moisture content below 50 % of the available moisture.

### Stomatal resistance (Sr)

Results of the Sr showed average values during the first season of 0.5 and 1.0 s  $\text{cm}^{-1}$ , during the second and third seasons the values ranged from 1.2 to 2.2 s  $\text{cm}^{-1}$  in all treatments. The last two seasons obtained



**Figura 1. Contenido de humedad en el suelo en los tubos de acceso A, B y C a 0.3 m de profundidad.**  
**Figure 1. Soil moisture content at 0.3 m depth in access A, B and C tubes.**

respecto a la primera. Los valores de  $R_e$  aumentaron sólo en la tercera temporada cuando los niveles de humedad del suelo se acercan al 50 % de la humedad aprovechable a 0.3 m de profundidad (Figura 2). En las tres temporadas del estudio no hubo una diferencia significativa de  $R_e$  frente a los cambios

a higher average value of  $S_r$  respect to the first values. They increased only in the third season when soil moisture levels were close to 50 % of available soil water at 0.3 m depth (Figure 2). During the three seasons of the study, there was no significant difference of the  $S_r$  against changes in soil moisture

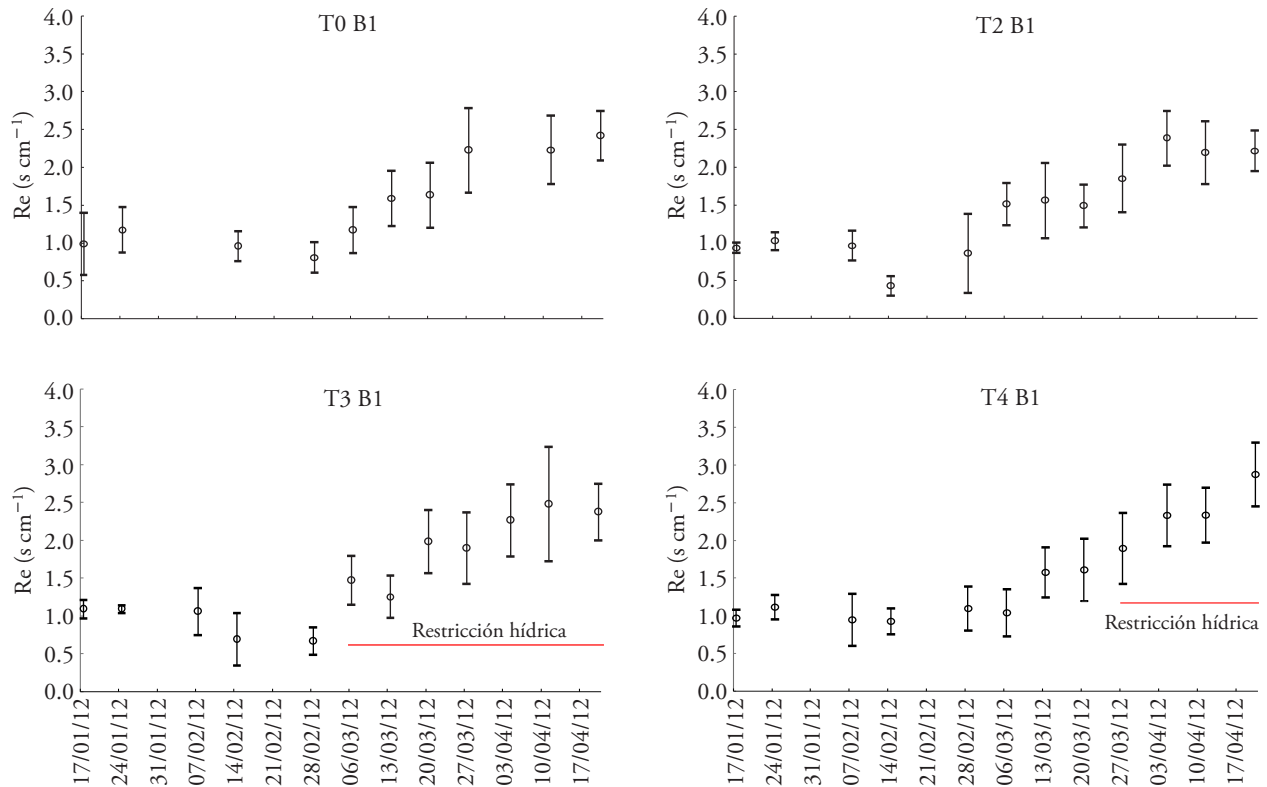


Figura 2. Resistencia estomática (Re) medida al medio día (12:00 - 14:00 h) para los tratamientos en el primer bloque.  
 Figure 2. Stomatal resistance (Sr) measured at noon (12:00 to 14:00 h) for the treatments at the first block.

en los niveles de humedad del suelo ( $p > 0.05$ ), lo cual indica que la restricción hídrica no afectó la apertura estomática. Esto concuerda con Gratacos y Gurovich (2003), quienes indican que el kiwi tiene control estomático relativamente menos eficiente. Además, Judd *et al.* (1989) reportan control estomático pobre en kiwi con hojas bajo déficit de agua severos, como consecuencia de un cierre estomático incompleto las hojas mantuvieron la transpiración incluso durante la noche.

### Presión xilemática

Durante la primera temporada la presión xilemática fue cercana a  $-0.5$  MPa, en la segunda temporada los valores promedio fueron  $-0.55$  MPa y en la tercera temporada  $-0.43$  MPa para todos los tratamientos, sin diferencias significativas durante la restricción hídrica ( $p > 0.05$ ). Los valores máximos en todo el estudio alcanzaron  $-0.7$  MPa, y los mínimos  $-0.4$  MPa. Clearwater *et al.* (2007) midieron potencial del xilema en plantas de kiwi y los valores fueron  $-0.5$  MPa en plantas injertadas

levels ( $p > 0.05$ ), indicating that the evaluated water restriction did not affect stomatal opening. This is also consistent with that proposed by Gratacos and Gurovich (2003), who indicated that the kiwi plants has a relatively less efficient stomatal control. Besides, Judd *et al.* (1989) reported poor stomatal control in kiwi plants with leaves under severe water shortages, as a result of an incomplete stomatal closure leaves kept transpiration even overnight.

### Xylem pressure

During the first season xylem pressure was close to  $-0.5$  MPa. During the second season, the average values were  $-0.55$  MPa and  $-0.43$  MPa in the third season in all treatments. No significant differences during the water stress treatment were measured ( $p > 0.05$ ). The maximum values throughout the study reached  $-0.7$  MPa, and a minimum of  $-0.4$  MPa. Clearwater *et al.* (2007) measured xylem potential in kiwi plants and the values were  $-0.5$  MPa in plants grafted under normal water conditions. The 50 % water restriction of the available moisture used in our



bajo condiciones hídricas normales. Una restricción hídrica del 50 % de la humedad aprovechable usada en nuestro estudio no alteró el estado hídrico ni los procesos internos de transporte de agua que desarrolla la planta.

### Volúmenes de agua aplicados

Durante la primera temporada en el tratamiento testigo se aplicaron  $9609 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , lo cual tuvo un costo en energía eléctrica de US\$ 248 ha por temporada. Al comparar este tratamiento con los resultados obtenidos bajo el manejo realizado con RDC, se obtuvo una diferencia en volumen aplicado de  $3670 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  por el riego aplicado en T3 (Figura 3), lo cual generó un ahorro en el costo de energía eléctrica de US\$ 94.25 ha por temporada.

Durante la primera temporada el descenso de la humedad en el perfil de suelo hasta el 50 % de la humedad aprovechable, no fue homogéneo para todas las repeticiones de un tratamiento dentro de todo el experimento, debido a la variabilidad de textura en el suelo. Por esta razón, para la segunda y tercera temporada, el control del riego se realizó de manera independiente a través de la aplicación de agua por cada unidad experimental (repetición de cada tratamiento). Durante la segunda y la tercera temporada se aplicaron volúmenes de  $3000$  a  $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , valores similares a los reportados por Currie *et al.* (2008). El manejo independiente del riego aumentó las diferencias entre los resultados de T0 y los tratamientos con RDC (Cuadro 3). En la segunda temporada el volumen de agua aplicado para T3 fue  $3050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , el más bajo medido durante todo

study caused no alteration in the water status and internal water transport processes developed by the plant.

### Applied water volumes

During the first season,  $9609 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  were applied in the control treatment, which had an electricity cost of US\$ 248 per ha by season. When comparing this treatment with the results obtained under CDI management, the difference of the applied volume was of  $3670 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  by the irrigation applied to T3 (Figure 3), which generated savings in the electric power cost of US\$ 94.25 ha per season.

During the first season, the soil moisture profile descended up to 50 % of the available moisture. It was not uniform for all the replicates in a treatment within the whole experiment due to the soil texture. Therefore, in the second and third season, irrigation control was independently performed by the application of water in each experimental unit (replicate of each treatment). During the second and third season, volumes between  $3000$  and  $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  were applied. These values were similar to those reported by Currie *et al.* (2008). Independent irrigation management increased differences between the results for T0 and treatments with CDI (Table 3). During the second season, the water volume applied to T3 was of  $3050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , which was the lowest applied throughout the study. As a consequence, there was 60 % water saving and electricity cost relative to T0, which reduced the production costs per hectare of cultivation and maintained humidity available moisture levels over 50 % of the usable.

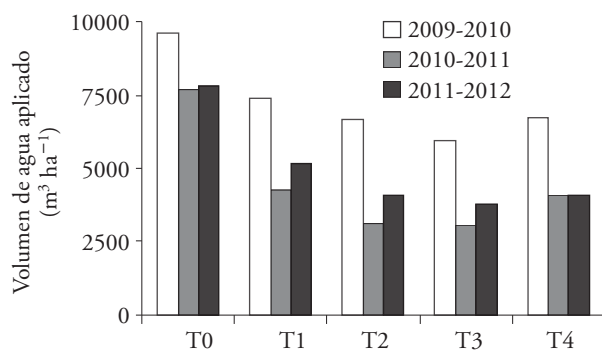


Figura 3. Volumen de agua aplicada durante el estudio para todos los tratamientos.

Figure 3. Volume of water applied during the study for all treatments.

Cuadro 3. Porcentaje de ahorro de agua para cada tratamiento respecto al tratamiento control durante el periodo de estudio.

Table 3. Water saving percentage for each treatment compared to control treatment during the study period.

	Volumen de agua ahorrado (%)			
	T1	T2	T3	T4
2009-2010	24	31	38	30
2010-2011	44	59	60	47
2011-2012	34	47	52	48

el estudio. Como consecuencia, se ahorró 60 % de agua y del costo de energía eléctrica respecto a T0, lo cual redujo los costos de producción por hectárea del cultivo y mantuvo niveles de humedad sobre el 50 % de la humedad aprovechable.

### Calibre del fruto

Durante el estudio se observaron dos fases definidas en el crecimiento del fruto. La primera fase abarcó las primeras cuatro semanas (desde el 21 de diciembre para todas las temporadas), cuando el desarrollo del fruto es más rápido; y la segunda fase se inició alrededor de la quinta semana de desarrollo del fruto (18 de enero), cuando la tasa de crecimiento del fruto disminuye, y se mantiene casi constante hasta dos semanas antes de la cosecha. Luego de esta segunda fase, aunque menos clara, hay una tercera fase de crecimiento (8 de marzo) con un nuevo aumento en la tasa de desarrollo del fruto. Estos resultados se observaron en todas las temporadas y concuerdan con los de Ciordia *et al.* (1993), quienes reportan dos fases definidas y destacan las seis primeras semanas por incrementos acentuados del fruto. Por ejemplo, en la Figura 4 se muestra el crecimiento del fruto en diámetro polar para T0 y T2. La comparación de T0 y T2 mostró que el comportamiento de la curva de crecimiento se mantiene homogénea entre ambos tratamientos. Esto indica que el RDC aplicado durante el estudio no afectó el calibre del fruto.

Las tres temporadas mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el diámetro polar (Figura 4). La curva del diámetro polar del fruto se redujo cada año y el valor promedio en cosecha fue 68.2 mm en la temporada 2009-2010, 63.5 mm en la temporada 2010-2011 y 59.5 mm en la temporada 2011-2012. Sin embargo, al análisis del comportamiento de la curva del tratamiento T0 muestra que la reducción en el tamaño del fruto no fue un efecto del RDC, sino del aumento de la carga frutal (frutos  $m^{-2}$ ) producto del manejo interno del huerto. Esta situación concuerda con los resultados en la producción. Godoy *et al.* (2002) midieron el efecto de la carga frutal en el calibre del fruto en cosecha y concluyen que una carga frutal elevada limita el tamaño alcanzado por el fruto debido a una tasa de crecimiento más lenta.

### Fruit size

Two defined phases in fruit growth were observed during the study. The first covered the first four weeks (from December 21 in all seasons), when fruit development is faster; the second phase began around the fifth week of fruit development (January 18), when fruit growth rate decreased. This remained almost constant until two weeks before harvest. After this second phase, though less clear, there was a third growth phase (March 8) with a further increase in the fruit development rate. These results were observed in all seasons and consistent with those of Ciordia *et al.* (1993), who reported two distinct phases that include the first six weeks which stand out because of a sharp increase of the fruits. For example, Figure 4 shows the polar fruit growth in T0 and T2 diameter. Comparing the results between T0 and T2 showed that the growth curve behavior remain homogeneous in both treatments. This indicated that the CDI applied during the study did not affect the fruit size.

The three study seasons showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in the polar diameter (Figure 4). The polar diameter curve of the fruit reduced each year, the average value was of 68.2 mm at the 2009-2010 season harvest, 63.5 mm and 59.5 mm in the 2010-2011 and 2011-2012 seasons. However, the analysis of the behavior of the curve in treatment T0 showed that the reduction in fruit size was not a CDI effect, but because of the increased fruit load (fruit  $m^{-2}$ ) due to the orchard's internal management; this situation is consistent with the results in production. Godoy *et al.* (2002) measured the effect of the fruit load on the fruit size at harvest and concluded that a high fruit load limits the size reached by the fruits due to a slower growth rate.

### Export category

During the first season, a difference between the uniformity of the harvested fruit in the treatments under CDI compared to the control was observed. Uniform fruit has a greater acceptance in international markets. Because of that, we included the measurements of the equatorial diameter during the subsequent seasons that allowed categorize with more precision the type of fruit obtained at harvest.

Thus, in the 2010-2011 harvest season: 1) 24.2 % of the fruit was classified as category one, thus, being

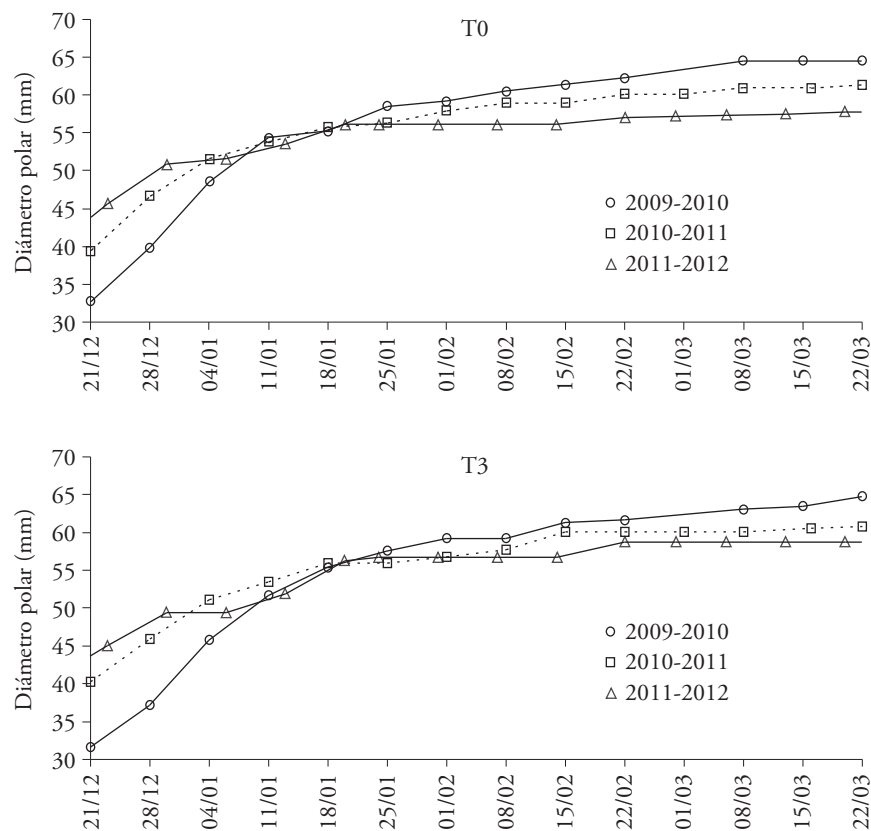


Figura 4. Crecimiento del diámetro polar del fruto para T0 y T3 durante las tres temporadas.

Figure 4. Growth of the polar diameter of the fruits for T0 and T3 during the three seasons.

### Categoría de exportación

Durante la primera temporada se observó una diferencia entre la uniformidad de la fruta cosechada en los tratamientos bajo RDC, frente al tratamiento testigo. Una fruta más homogénea tiene mayor aceptación por los mercados internacionales, por lo que se incluyó en la investigación mediciones de diámetro ecuatorial durante las otras temporadas, que permitieran categorizar de manera más precisa el tipo de fruto obtenido en la cosecha.

Así, en la cosecha de la temporada 2010-2011: 1) 24.2 % de los frutos fue clasificado como categoría uno, y por ser fruto cilíndrico puede ser exportado a cualquier mercado del mundo; 2) 63.1 % de los frutos fue categoría 1b (fruto cilíndrico semiplano), y el destino de la exportación depende de las exigencias y estándares de calidad que rijan en el país de destino y; 3) 12.6 % de los frutos fue categoría

a cylindrical fruit can be exported to any world market; 2) 63.1 % of the fruit was categorized as 1b (semi plane cylindrical fruit), and export destination depends on the requirements and quality standards that apply in the country of destination; 3) 12.6 % of the fruit was qualified as category two (semi plane fruit), which cannot be exported to East countries and Europe. Thus, T2 had the highest rate of cylindrical category 1 fruits; T4 had cylindrical and cylindrical semi plane fruits; T1 and T3 with a larger amount of cylindrical semi plane fruits; T0 had the highest amount of category two fruits (Table 4).

During the 2011-2012 season: 1) 28.3 % of the fruits were classified as category 1; 2) 59.5 % was 1b category; 3) 11.4 % was category 2; 4) 0.7 % was category 2b and 59 % at T0, 50 % and 50 % at category 1b and 1. The results showed that in T2 and T3 the predominant category was 1b for the four replicates within each treatment. For T1 and T4 75 % was of 1b category and 25 % category 1 (Table 4).

dos (fruto semiplano), que no puede ser exportado a los países de Oriente y Europa. Entonces, T2 tuvo la mayor cantidad de frutos cilíndricos categoría 1; T4 tuvo frutos cilíndricos y cilíndricos semiplanos; T1 y T3 con una mayor cantidad de frutos cilíndrico semiplano; T0 tuvo la mayor cantidad de frutos categoría dos (Cuadro 4).

En la temporada 2011-2012; 1) 28.3 % de los frutos fueron categoría 1; 2) 59.5 % categoría 1b; 3) 11.4 % categoría 2; 4) 0.7 % categoría 2b y 59 % en T0, 50 % y 50 % categoría 1b y 1. Los resultados mostraron que en T2 y T3 la categoría predominante fue 1b para las cuatro repeticiones dentro de cada tratamiento; para T1 y T4 75 % fue categoría 1b y 25 % categoría 1 (Cuadro 4).

**Producción**

La producción mayor de kiwi se obtuvo durante la tercera temporada y el valor promedio para todo el experimento fue 44.1 Mg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 5). Además hubo diferencias significativas (p≤0.05) entre la temporada 2011-2012 y las anteriores. En el último año de investigación el promedio del rendimiento aumentó 10 Mg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 5).

El aumento del rendimiento en la temporada 2011-2012 (Cuadro 5) se atribuyó al manejo distinto al de temporadas anteriores. Este manejo nuevo fue un aumento del número de frutos por planta (carga frutal) a través de un raleo menos exigente, que a su vez causó una disminución en el calibre de la fruta en cosecha. Además, los rendimientos obtenidos en las tres temporadas están entre 30 y 45 Mg ha<sup>-1</sup>. Esto concuerda con ODEPA (2013) y Comité del Kiwi Chile (2014).

**Production**

The highest kiwi production was obtained during the third season and the average value for the entire experiment was of 44.1 Mg ha<sup>-1</sup> (Table 5). Besides, there were significant differences (p≤0.05) between the 2011-2012 season and the previous ones. During the last research year, the average yield increased 10 Mg ha<sup>-1</sup> (Table 5).

The yield increase in the 2011-2012 season (Table 5) was attributed to a different operation done in previous seasons. This new operation resulted in increased number of fruits per plant (fruit load) through less demanding thinning, which in turn caused a reduction in the fruit size at harvest. Also, the yields obtained in the three seasons were between 30 and 45 Mg ha<sup>-1</sup>. This is consistent with ODEPA (2013) and Comité del Kiwi Chile (2014).

During the three evaluated seasons, no significant differences among all treatments were detected (p>0.05), including the control. This shows that water stress treatments were adequate to not adversely affect production. These results are similarly to that found by Currie *et al.* (2008) with plants subjected to moderate water stress treatments.

**CONCLUSIONS**

The xylem pressure and stomatal resistance observed during periods of water restriction were not affected by the evaluated deficit irrigation strategies. Irrigation water saving due to the application of controlled irrigation deficit reduced the energy required for pumping irrigation, which decreases production costs.

**Cuadro 4. Resultados de la categoría de los frutos por tratamiento en cada bloque de las temporadas 2010-2011 y 2011-2012.**

**Table 4. Results of the category of fruits per treatment in each block of the 2010-2011 and 2011-2012 seasons.**

2010-2011 Bloque	Tratamientos					2011-2012 Bloque					
	0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
1	2	1	1b	1	1b	1	1	1b	1b	1b	1b
2	1b	1b	1	1b	1	2	1b	1b	1b	1b	1b
3	1b	1b	1	1b	1	3	1	1	1b	1b	1b
4	2	1b	1	2	1b	4	1b	1b	1b	1b	1

**Cuadro 5. Resultados de producción (Mg ha<sup>-1</sup>) para cada tratamiento.**  
**Table 5. Yield per (Mg ha<sup>-1</sup>) treatment.**

Temporada	Tratamientos				
	T0	T1	T2	T3	T4
2009-2010 a	30.5	32.6	33.7	32.7	30.5
2010-2011 a	31.7	34.9	32.4	34.9	32.9
2011-2012 b	45.8	43.9	43.0	48.3	39.6

Coefficiente de variación (CV)=9.81 %. Temporadas con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ❖ Coefficient of variation (CV)=9.81 %. Seasons with a different letter in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

Durante las tres temporadas de evaluación no hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos ( $p > 0.05$ ), incluido el testigo. Esto muestra que las estrategias de estrés hídrico aplicado sobre los tratamientos fueron adecuadas para no afectar negativamente la producción. Estos resultados son similares encontrados por Currie *et al.* (2008) con plantas sometidas a tratamientos de estrés hídrico moderado.

## CONCLUSIONES

La presión xilemática y la resistencia estomática observada en los períodos de restricción hídrica no fueron afectadas por las estrategias de riego deficitario evaluadas. El ahorro de agua de riego mediante la aplicación de riego deficitario controlado redujo la energía requerida para el bombeo de riego, lo cual disminuye los costos de producción.

El rendimiento y el calibre de los frutos no fueron afectados por las estrategias de restricción hídrica; sin embargo, las estrategias de riego deficitario controlado permitieron obtener frutos más uniformes. Las estrategias de riego deficitario controlado analizadas ofrecen una alternativa para el manejo de riego del kiwi, reduciendo los costos de producción asociados al agua de riego, sin afectar los rendimientos y aumentando la calidad del fruto.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del Laboratorio de Investigación y Tecnologías para el Manejo del Agua en la Agricultura (ITECMA<sup>2</sup>), perteneciente a la facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción y al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), proyecto FONDAP código 15130015.

Yield and fruit size were not affected by water restriction strategies; however, deficit irrigation strategies allowed more uniform fruits. The analyzed deficit irrigation strategies offer an alternative for irrigation management in kiwi crops, reducing production costs associated with irrigation without affecting yield and increasing the fruit quality.

—End of the English version—



## LITERATURA CITADA

- Ambrosio, C., C. Linehan, and G. Kaine. 2008. Understanding the reasons for non-adoption of sustained deficit irrigation practices in the sunraysia wine grape industry. *Acta Hort.* 792: 27-32.
- BCN (biblioteca del congreso nacional de Chile). 2014. Información territorial séptima región de Chile. <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region7/clima.htm>. (Consulta: mayo 2015).
- Bonany, J., and F. Camps. 1998. Effects of different irrigation levels on apple fruit quality. *Acta Hort.* 466: 47-52.
- Box, G. E., and D. R. Cox. 1964. An analysis of transformations. *J. Royal Stat. Soc. Series B* 26: 211-252.
- Chalmers, Y. M., M. P. Krstic, M. O. Downey, P. R. Dry, and B. R. Loveys. 2008. Impacts of sustained deficit irrigation on quality attributes and flavonoid composition of shiraz grapes and wine. *Acta Hort.* 792: 163-169.
- Giordia M., B. Díaz, J. García, y M. Coque. 1993. Contenido mineral en hoja de kiwi en función de diversos tratamientos de riego. Instituto de experimentación y promoción agraria. Principado de Asturias. Serie técnica nº 5/93.
- Clearwater, M., J. P. Blattmann, Z. Luo, and R.G. Lowe. 2007. Control of scion vigour by kiwifruit rootstocks is correlated with spring root pressure phenology. *J. Exp. Bot.* 58: 1741-1751.
- Collins, M. J., E. W. R. Barlow, S. Fuentes, and G. Kelley. 2008. Water use responses of shiraz vines under partial root zone drying in a water-limiting environment. *Acta Hort.* 792: 179-186.

- Comité del Kiwi Chile. 2014. ¿Qué significa ser un buen productor de kiwi Hayward?. <http://www.comitedelkiwi.cl/component/content/article/34-noticias/noticias/455-que-significa-ser-un-buen-productor-de-kiwi-hayward.html>. (Consulta: mayo 2016).
- Currie, M., S. Green, P. Martin, and N. Currie. 2008. Thirsty vines can give tasty fruit, but at a cost. *N. Z. Kiwifruit J.* 1(185): 7-12.
- Ferreya E., R., G. Sellés V., y L. Burgos R. 1998. Frutales: riego deficitario controlado. Instituto de investigación agropecuaria y centro de investigaciones agropecuarias. Serie La Platina N° 70. Santiago, Chile. 66 p.
- Geerts, S., and D. Raes. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manage.* 96: 1275-1284.
- Godoy C., R. Arpaia., y J. Tognetti. 2002. Raleo de frutos en kiwi. *Rev. FCA UNCUYO* 34: 107-115.
- Gratacos E., y L. Gurovich. 2003. Uso de la técnica del fitomonitor como indicador del estado hídrico del kiwi y su uso en riego programado. *Cienc. Inv. Agr.* 30: 113-137.
- Hughes, K. A., P. de Willigen, P. W. Gandar, and B. E. Clothier. 2001. Kiwifruit root systems: structure and function. *Acta Hort.* 557: 113-119.
- Judd, M. J., K. J. McAneney, and K. S. Wilson. 1989. Influence of water stress on kiwifruit growth. *Irrig. Sci.* 10: 303-311.
- Kuehl, R. 2001. *Diseño de Experimentos*. González, M. 2a. ed. Thomson Editores S.A., México. 666 p.
- Leib, B. G., H. W. Caspari, C. A. Redulla, P. K. Andrews, and J. J. Jabro. 2006. Partial root zone drying and deficit irrigation of "Fuji" apples in a semi-arid climate. *Irrig. Sci.* 24: 85-99.
- Miller, S. A., G. S. Smith, H. L. Boldingh, and A. Johansson. 1998. Effects of water stress on fruit quality attributes of kiwifruit. *Ann. Bot.* 81: 73-81.
- O' Connell, M. G., I. Goodwin, and A. D. Wheaton. 2008. Response of pink lady apple to irrigation estimated from effective area of shade. *Acta Hort.* 792: 495-502.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2013. Ficha técnica-económica kiwi Región del Maule. <http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2013/12/fichaKiwiMaule2013.pdf>. (Consulta: mayo 2016).
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2014. Kiwi, en la senda correcta. [http://www.odepa.cl/wp-content/files\\_mf/1412697728Kiwi201409.pdf](http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1412697728Kiwi201409.pdf). (Consulta: mayo 2015).
- Reid, J. B., D. W. Brash, I. B. Sorensen, and B. Bycroft. 1996. Improvement in kiwifruit storage life caused by withholding early-season irrigation. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.* 24: 21-28.
- Sandoval E., M., J. Dörner F., O. Seguel S., J. Cuevas B., y D. Rivera S. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones del Departamento de Suelos y Recursos Naturales, número 5. Chillán, Chile. 80 p.
- Selles V. G., y R. Ferreyra E. 2002. Cámara de presión, instrumento para controlar el riego midiendo el estado hídrico de las plantas. *Chile Riego* 11: 44-48.
- Zhang, H., and H. Oweis. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean Region. *Agric. Water Manage.* 38: 195-21.