

## El riego en nopal influye en el almacenamiento y acondicionamiento de la tuna\*

### Irrigation in nopal influences the storage and packaging of tuna

Yamileth Varela-Gómez<sup>1</sup>, Ana Karen Caldera-Arellano<sup>1</sup>, Jorge A. Zegbe<sup>2§</sup>, Alfonso Serna-Pérez<sup>2</sup> y Jaime Mena-Covarrubias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Ciudad Universitaria Siglo XXI. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 6, Ejido 'La Escondida', Zacatecas, Zacatecas, México, C. P. 98160. (telimayco@hotmail.com; kardia\_punks@hotmail.com). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, A. P. Núm. 18, Calera de V.R., Zacatecas, C. P. 98500. (aserna@zacatecas.inifap.gob.mx; jmena@zacatecas.inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jzegbe@zacatecas.inifap.gob.mx.

#### Resumen

El riego en la calidad y vida de anaquel de la tuna no ha sido documentado. El objetivo de esta investigación fue estudiar la influencia del riego en la calidad, vida de anaquel y acondicionamiento de la tuna 'Cristalina' y 'Amarilla Olorosa' después de un periodo en refrigeración. Los frutos se cosecharon de los siguientes tratamientos de riego: sin riego (SR) como testigo, riego suplementario (RS) y riego completo (RC). Se hicieron tres lotes con 72 frutos (24 frutos por tratamiento), cada uno para evaluar la calidad de éste en la cosecha y después del almacenamiento a temperatura ambiente (ATA) y refrigeración más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente (R + TA). En la cosecha, el peso del fruto (PF) de 'Cristalina' fue menor en las plantas SR que con RS o RC. La firmeza (F), la concentración de sólidos solubles totales (SST) y la materia seca del fruto (MS) fueron similares entre tratamientos. Después del ATA o R + TA, el RC mantuvo alto el PF y la F, pero redujo la MS. En ambos sistemas de almacenamiento, la pérdida de peso del fruto fue menor en el RC o RS. La tuna 'Amarilla Olorosa' experimentó resultados similares a 'Cristalina' y no presentó daños por hongos o frío. Comparado con el RC, el RS indujo respuestas similares en ambos tipos de tuna y ahorró ≈56% de agua de riego; por lo tanto, esta estrategia de riego podría sugerirse para ésta y áreas agro-ecológicas similares.

#### Abstract

Irrigation in the quality and shelf-life of tuna has not been documented so far. The objective of this research was to study the influence of irrigation on quality, shelf-life and packaging of tuna 'Cristalina' and 'Amarilla Olorosa' after a cooling period. The fruits were harvested from the following irrigation treatments: no irrigation (NI) as control, supplementary irrigation (SI) and full irrigation (FI). Three batches of 72 fruit (24 fruits per treatment), each made to evaluate its quality at harvest and after storage at room temperature (SRT) and cooling over seven days in room conditioning (R+RT). At harvest, the fruit weight (FW) of 'Cristalina' was lower in NI plants than SI or FI. The firmness (F), the concentration of total soluble solids (CSS) and fruit dry matter (DM) were similar between the treatments. After SRT or R+RT, the FI held high the FW and F, but reduced the DM. In both storage systems, loss of fruit weight was lower in the FI or SI. The tuna 'Amarilla Olorosa' behaved like 'Cristalina' and had no damage by fungi or cold. Compared to the FI, SI induced similar responses in both types of tuna and saved ≈56% of irrigation water; therefore, this irrigation strategy could be suggested for this and similar agro-ecological areas.

**Keywords:** *Opuntia* spp., fruit quality, post-harvest of tuna.

\* Recibido: abril de 2014  
Aceptado: septiembre de 2014

**Palabras clave:** *Opuntia* spp., calidad del fruto, poscosecha de la tuna.

## Introducción

El nopal tunero (*Opuntia* spp.) es una planta xerófila cultivada en regiones áridas y semi-áridas marginales de México y en agro-ecosistemas similares del mundo. Esta planta ha sido usada para solucionar problemas de erosión del suelo, como alimento para ganado en épocas de sequía hídrica, usos industriales y para consumo humano como hortaliza y fruta (Barros y Buenrostro, 1998; Nobel, 1998; Nefzaoui y Ben Salem, 2002; Pichler *et al.*, 2012). Como fruto, al igual que en otros cultivos frutales, el nopal tunero requiere de prácticas agrícolas para optimizar tanto la producción como mejorar la calidad del fruto. El manejo agronómico de este cultivo incluye prácticas de control de organismos no deseables, poda de fructificación, raleo de fruta, fertilización mineral-orgánica y riego (Pimienta-Barrios, 1990; Inglese, 1995; Potgieter, 2001; Mena-Covarrubias, 2013; Méndez-Gallegos *et al.*, 2013).

A diferencia de nopal tunero bajo condiciones de secano, la aplicación del riego ha incrementado el rendimiento y la calidad de la tuna, en particular, el tamaño de fruto (Inglese, 1995; Gugliuzza *et al.*, 2002). Sin embargo, excepto por otras prácticas agrícolas aplicadas durante la estación de crecimiento (Ochoa *et al.*, 2002; Schirra *et al.*, 1999a, 1999b), el efecto del riego en la vida de anaquel y mantenimiento de la calidad de la tuna ha recibido poca atención (Zegbe *et al.*, 2006). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue estudiar la influencia del riego en la calidad, vida de anaquel y acondicionamiento de la tuna ‘Cristalina’ y ‘Amarilla Olorosa’ después de un periodo en refrigeración. Para este estudio se eligió el cultivar ‘Cristalina’ porque es el más ampliamente cultivado en la región; mientras que ‘Amarilla Olorosa’ es un cultivar emergente, cuyos atributos de calidad son menos conocidos en relación con otros genotipos (Gallegos-Vázquez y Mondragón-Jacobo, 2013).

## Materiales y métodos

### Sito experimental

El experimento se condujo de febrero a octubre de 2012 en el Campo Experimental Zacatecas (22° 54’ latitud norte, 102° 39’ longitud oeste). Está ubicado a una altitud de 2 197 m,

## Introduction

The prickly pear (*Opuntia* spp.) is a xerophytic plant cultivated on marginal arid and semi-arid regions of Mexico and similar agro-ecosystems in the world. This plant has been used to solve problems of soil erosion, livestock feed in times of drought, industrial use and human consumption as a vegetable and fruit (Barros and Buenrostro, 1998; Nobel, 1998; Nefzaoui and Ben Salem, 2002; Pichler *et al.*, 2012). As a result, as in other fruit crops, prickly pear farming practices required to optimize both production and improve fruit quality. The agronomic management of the crop includes control practices of undesirable organisms, fructification pruning, fruit thinning, mineral-organic fertilization and irrigation (Pimienta-Barrios, 1990; Inglese, 1995; Potgieter, 2001; Mena-Covarrubias, 2013; Méndez-Gallegos *et al.*, 2013).

Unlike prickly pear under dryland conditions, the application of irrigation has increased the yield and quality of the tuna, particularly on fruit size (Inglese, 1995; Gugliuzza *et al.*, 2002). However, except for other agricultural practices applied during the growing season (Ochoa *et al.*, 2002; Schirra *et al.*, 1999a, 1999b), the effect of irrigation on the shelf-life and maintaining the quality of tuna has received little attention (Zegbe *et al.*, 2006). Therefore, the objective of this research was to study the influence of irrigation on quality, shelf-life and packaging of tuna ‘Cristalina’ and ‘Amarilla Olorosa’ after a cooling period. For this study we chose the cultivar ‘Cristalina’ because it is the most widely cultivated variety in the region; while ‘Amarilla Olorosa’ is an emerging cultivar, whose quality attributes are less known compared to other genotypes (Gallegos-Vázquez and Mondragón-Jacobo, 2013).

## Materials and methods

### Experimental site

The experiment was conducted from February to October 2012, at the Experimental Field Zacatecas (22° 54’ north latitude, 102° 39’ west longitude). It is located at an elevation of 2 197 m, average annual temperature of 14.6 °C and annual rainfall of 416 mm, of which 75% occurs during the summer, particularly from June to September. The average annual evaporation is 1 609 mm, the highest differences between

temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 416 mm, de la cual, 75% ocurre durante el verano, particularmente de junio a septiembre. La evaporación promedio anual es de 1 609 mm, las mayores diferencias entre la lluvia y la evaporación se registran de diciembre a mayo. El suelo es franco, con pH de 7.75 y un contenido de materia orgánica de 1.73%.

### Material genético y tratamientos de riego

Se evaluaron los cultivares de nopal tunero ‘Cristalina’ (*Opuntia albicarpa* Scheinvar) y ‘Amarilla Olorosa’ (*Opuntia* spp.), ambas de siete años de edad, espaciadas a 4 y 3 metros entre hileras y plantas, respectivamente, y conducidas a centro abierto. Excepto por el riego, las plantas fueron manejadas con prácticas locales de producción que incluyeron: poda de fructificación, raleo del fruto y fertirrigación. El control de plagas, enfermedades y maleza fueron realizados como fue requerido. El control de grana cochinilla (*Dactylopius opuntiae*) se hizo con la aplicación de 1.5 kg de jabón biodegradable y 1.5 kg de silicio orgánico en 400 L de agua. Con el propósito de reducir la erosión hídrica y eólica entre hileras de árboles el suelo se mantuvo cubierto con pasto nativo, el cual fue segado periódicamente.

Los tratamientos fueron: sin riego (SR) como testigo, riego suplementario (RS) y riego completo (RC). Las plantas en el tratamiento SR recibieron únicamente agua de lluvia, aquellas bajo el RS recibieron riego cuando el contenido del agua en suelo ( $\theta$ ) se redujo a 50%; mientras que las plantas bajo RC recibieron semanalmente 100% de la evapotranspiración del cultivo, el cual se estimó a través de un balance hídrico (Zegbe y Serna-Pérez, 2012). El experimento fue conducido en bloques incompletos al azar. Cada tratamiento se repitió tres veces. La unidad experimental la constituyeron nueve plantas, pero únicamente tres de ellas en plena competencia fueron usados para recabar la información experimental. El sistema de riego fue por goteo controlado con válvulas de paso para aplicar los tratamientos. Dos emisores, que descargaron cuatro l h<sup>-1</sup> cada uno, se colocaron a 50 cm en ambos lados de la planta. El  $\theta$  se registró semanalmente por reflectometría (TDR, Trase System-Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). Se colocaron cuatro pares de sondas por bloque a una distancia de 10 cm y 70 cm de los emisores y de las plantas, respectivamente, y a una profundidad del suelo de 30 cm. La lámina de riego (LR) se estimó semanalmente usando el contenido del agua en suelo a capacidad de campo ( $\theta_{CC} = 26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) y el contenido del agua en suelo antes de cada riego ( $\theta_{AR}$ ) a

rainfall and evaporation are recorded from December to May. The soil is frank, with pH of 7.75 and an organic matter content of 1.73%.

### Genetic material and irrigation treatments

Prickly cactus cultivars ‘Cristalina’ (*Opuntia albicarpa* Scheinvar) and ‘Amarilla Olorosa’ (*Opuntia* spp.), both seven years old, spaced 4 and 3 meters between rows and plants, respectively, were evaluated and taken to opened centre. Except for irrigation, the plants were managed with local production practices that included: fructification pruning, fruit thinning and fertigation. The control of pests, diseases and weeds were performed as requested. Control of cochineal (*Dactylopius opuntiae*) was done with the application of 1.5 kg of biodegradable soap and 1.5 kg of organic silicon in 400 L of water. In order to reduce wind and water erosion between rows of trees, the ground remained covered with grass, which was mowed periodically.

The treatments were: no irrigation (NI) as control, supplementary irrigation (SI) and full irrigation (FI). Plants in the NI treatment received only rainwater, those under the SI were irrigated when the soil water content ( $\theta$ ) was reduced to 50%; while plants under FI received 100% of crop evapotranspiration, which was estimated using a water balance weekly (Zegbe and Serna-Pérez, 2012).

The experiment was conducted in randomized incomplete blocks. Each treatment was replicated three times. The experimental unit was constituted of nine plants, but only three of them in full competition were used to obtain the experimental data. The irrigation system was by dripping, controlled with flow valves to apply the treatments. Two emitters, who downloaded four l h<sup>-1</sup> each were placed 50 cm on both sides of the plant. The  $\theta$  was recorded every week by reflectometry (TDR, Trase System-Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). Four pairs of probes per block were placed at a distance of 10 cm and 70 cm of issuers and plants, respectively, and at a soil depth of 30 cm. The irrigation requirement (IR) was estimated weekly using the soil water content at field capacity ( $\theta_{CC} = 26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) and soil water content before each irrigation ( $\theta_{AR}$ ) at a depth 30 cm soil (Zegbe and Serna-Pérez, 2012). The irrigation depths applied during the growing season for both cultivars were 0 mm, 146 mm and 331 mm for the treatment NI, SI and FI, respectively.

una profundidad de suelo de 30 cm (Zegbe y Serna-Pérez, 2012). Las láminas de riego aplicadas durante la estación de crecimiento para ambas cultivares fueron: 0 mm, 146 mm y 331 mm para el tratamiento SR, RS y RC, respectivamente.

### Tratamientos poscosecha

De cada tratamiento (SR, RS o RC) se cosecharon 72 frutos (8 frutos por repetición) uniformes en tamaño y sin lesiones físicas de la parte externa y alrededor de dos plantas. Se formaron tres lotes con 72 frutos cada uno. El primer lote se usó para evaluar la calidad del fruto en la cosecha, los dos lotes restantes se asignaron aleatoriamente a los siguientes tratamientos de almacenamiento: 1) temperatura ambiente de  $23 \pm 1$  °C y  $34 \pm 3\%$  de humedad relativa (HR); y 2) en refrigeración a 10 °C y 85% de HR más 7 días en acondicionamiento a temperatura ambiente. El criterio para cambiar la fruta en refrigeración al periodo de acondicionamiento a temperatura ambiente fue cuando el fruto perdió 8% del peso inicial. Antes de someter la tuna a las dos condiciones de almacenamiento, éstas fueron desespínadas y desinfectadas manualmente con una solución de cloro y cobre (1% y 1.5 ml l<sup>-1</sup>, respectivamente). Posteriormente se aplicó aire directo con un ventilador con el objetivo de eliminar el exceso de humedad. En seguida, cada tuna fue enumerada progresivamente para diferenciar cada tratamiento.

### Variables de respuesta

Peso, firmeza y color del fruto. El peso individual de cada fruto se registró en una balanza analítica (VE-303, Velab, USA). El color de la epidermis (ángulo hue) se determinó con un espectrómetro (SP60 X-Rite, Inc., Isenburg, Germany) en dos sitios opuestos de la parte media de cada fruto. Después, la firmeza se determinó con un penetrómetro equipado con un puntal de 11.1 mm de diámetro (modelo FT 327, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA). Esto se hizo en dos sitios opuestos en la parte media de cada fruto.

Concentración de sólidos solubles totales. De ambas perforaciones hechas con el penetrómetro se tomaron y mezclaron algunas gotas de jugo para determinar la concentración de sólidos solubles totales con un refractómetro digital con compensación automática por temperatura (Modelo PR-32α, Atago, Co. Ltd., Tokyo, Japan).

Contenido de materia seca del fruto. Esta variable se determinó basándose en el peso fresco del fruto (contenido de materia seca del fruto en miligramos de peso seco por

### Postharvest treatments

From each treatment (NI, SI or FI) 72 fruits were harvested (8 fruits per repetition) uniform in size and no physical injuries outside. Three batches of 72 fruits each were formed. The first batch was used to evaluate the quality of the fruit at harvest, the remaining two lots were randomly assigned to the following storage treatments: 1) ambient temperature of  $23 \pm 1$  °C and  $34 \pm 3\%$  of relative humidity (RH); and 2) cooling at 10 °C and 85% RH over 7 days in room conditioning. The criterion for change in cooling the fruit conditioning period at room temperature when the fruit was lost 8% of initial weight. Before submitting the tuna to two storage conditions, they were manually un-thorn and disinfected with a bleach solution and copper (1% and 1.5 ml l<sup>-1</sup>, respectively). Subsequently air was applied directly with a fan in order to remove excess of moisture. Then, each tuna was progressively listed to differentiate each treatment.

### Response variables

Weight, firmness and fruit colour. Individual weight of each fruit was recorded on an analytical balance (VE-303, Velab, USA). The skin colour (hue angle) was determined with a spectrophotometer (SP60 X-Rite, Inc., Isenburg, Germany) on two opposite sides of the middle part of each fruit. Then, firmness was determined with a penetrometer equipped with a strut diameter of 11.1 mm (model FT 327, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA). This was done in two opposite locations in the middle of each fruit.

Soluble solids concentration. From both perforations made with the penetrometer a few drops of juice were taken and mixed to determine the concentration of soluble solids using a digital refractometer with automatic temperature compensation (Model PR-32α, Atago, Co. Ltd., Tokyo, Japan).

Dry matter content of the fruit. This variable was determined based on the fresh weight (dry matter content of the fruit in milligrams dry weight per gram of fresh weight) taking a sample of 25g of fresh pulp (excluding the epidermis) of four fruits per replicate per treatment. The composite sample was oven-dry weight steady for a week at 65 °C.

Weight loss of the fruit and postharvest fruit quality. Losing weight of tuna during storage was determined by the individual weight of each fruit. This variable was recorded

gramo de peso fresco) tomando una muestra de 25 g de la pulpa fresca (excluyendo la epidermis) de cuatro frutos por repetición por tratamiento. La muestra compuesta se llevó a peso seco constante en estufa por una semana a 65 °C.

**Pérdida de peso del fruto y calidad del fruto en poscosecha.** La pérdida de peso de la tuna durante el almacenamiento se determinó con el peso individual de cada fruto. Esta variable se registró semanalmente hasta que la pérdida de peso alcanzó 8%. La calidad del fruto se analizó al final de cada condición de almacenamiento. La temperatura y humedad relativa ambiental fueron monitoreadas cada dos horas con un registrador programable (Data Logger Modelo 42276, ExTech, Instruments, MA, USA).

**Daño por hongos y frío en los frutos.** Antes de determinar los atributos físico-químicos de los frutos, cada uno de ellos fue dividido en cuadrantes para estimar el porcentaje de daño por hongos (no identificados). De igual forma, se evaluó el daño por frío.

### **Análisis de la información**

La información se analizó en un modelo en bloques incompletos aleatorizados con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA). Antes del análisis, las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas a arco-seno. Los valores medios por tratamiento, de las variables transformadas, se indican después de su re-transformación. La separación de medias de tratamientos se hizo con la prueba de Tukey con  $p \leq 0.05$ .

## **Resultados**

### **Cultivar ‘Cristalina’**

Atributos de calidad de la fruta en la cosecha y después de almacenamiento. En la evaluación de la calidad del fruto en la cosecha, el peso del fruto (PF) fue mayor en las plantas con riego completo (RC) que con riego suplementario (RS) o sin riego (SR). En contraste, la firmeza (F), la concentración de sólidos solubles totales (SST) y el contenido de materia seca (MS), en promedio, fueron similares entre tratamientos (Cuadro 1). Después de 28 días en almacenamiento a temperatura ambiente, el PF fue consistente con la respuesta observada con la evaluación en la cosecha. La F, en promedio, se mantuvo alta en el fruto

weekly until weight loss reached 8%. Fruit quality was analysed at the end of each storage condition. The ambient temperature and relative humidity were monitored every two hours with a programmable recorder (Data Logger Model 42276, ExTech, Instruments, MA, USA).

**Damage by fungi and cold in the fruit.** Before determining the physical and chemical attributes of the fruit, each was divided into quadrants to estimate the percentage of damage by fungi (unidentified). Similarly, cold damage was also evaluated.

### **Information analysis**

The information was analysed in a randomized incomplete block model with the GLM procedure of statistical analysis system (SAS Institute, Cary, NC, USA). Before the analysis, the variables were expressed as percentages to arc-sine transformed. Average values for treatment, the transformed variables are indicated after the re-transformation. Separation of treatment means were made with Tukey's test at  $p \leq 0.05$ .

## **Results**

### **Cultivar ‘Cristalina’**

Attributes of fruit quality at harvest and after storage. At the evaluation quality of the fruit at harvest, fruit weight (FW) was higher in plants with full irrigation (FI) with supplementary irrigation (SI) or no irrigation (NI). In contrast, firmness (F), the concentration of total soluble solids (CSS) and the content of dry matter (DM), on average, were similar among the treatments (Table 1). After 28 days of storage at room temperature, the FW was consistent with the response observed with assessment at harvest. The F, on average, remained high in the fruit that received FI compared to that fruit cultivated with SI or NI. In contrast, the concentration of SST, on average was similar between the treatments, but the DM content was reduced in fruit with FI and SI regarding the NI (Table 1). The response of the FW, F, concentration of CSS and DM content recorded in this final storage condition was consistent with the assessment of fruit under refrigeration for 49 days plus 7 days conditioning at room temperature (Table 1). Moreover, during the evaluation, external damage by cold and fungi was observed. Fungal incidence

que recibió RC en comparación con aquel fruto cultivada con RS o SR. En cambio, la concentración de SST, en promedio, se mantuvo similar entre tratamientos, pero el contenido de MS se redujo en el fruto con RC y RS en relación con la fruta SR (Cuadro 1). La respuesta del PF, F, la concentración de SST y el contenido de MS registrada en esta última condición de almacenamiento fue consistente con la evaluación de la fruta bajo refrigeración por 49 días más 7 días en acondicionamiento a temperatura ambiente (Cuadro 1). Además, durante la evaluación se observó daño externo de la epidermis por hongos y por frío. La incidencia de hongos fue mayor en el fruto producido SR (Figura 1A); mientras que el daño por frío fue similar entre los frutos de los tratamientos de riego (Figura 1B).

was highest in the fruit produced NI (Figure 1A); while chilling injury was similar between irrigation treatments (Figure 1B).

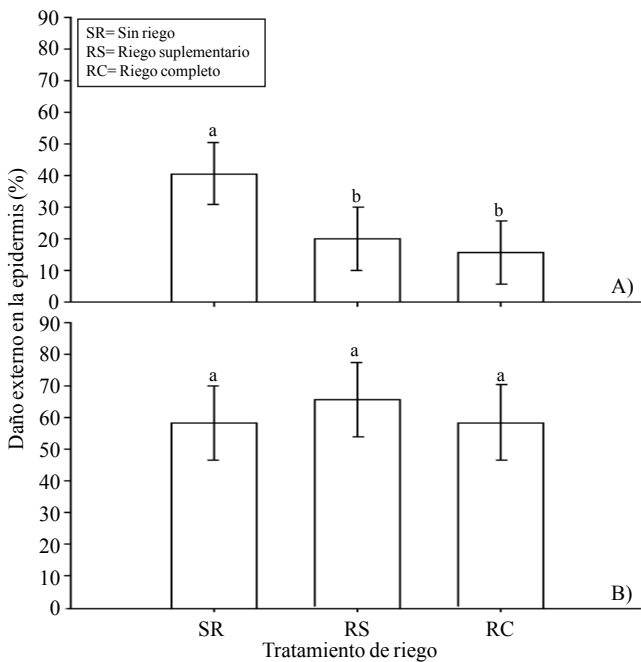
Weight loss and skin colour. When the fruit was stored at room temperature, the weight loss (WL) was consistently higher from 21 days in storage than the fruit produced in the fruit NI SI or FI. In fact, the fruit of the latter two treatments did not reach the threshold of WL (8%) in both storage systems (Figure 2). This suggests that under FI or SI tuna has more potential storage than that produced with NI. Furthermore, when the fruit was exposed conditioned to room temperature, the WL tended to increase more rapidly in the fruit NI; while the result of FI or SI did not reach the threshold of WL 8% during conditioning (Figure 2).

**Cuadro 1. Influencia de tratamientos de riego en algunos atributos de calidad de la tuna ‘Cristalina’ a la cosecha y en almacenamiento. La concentración de sólidos solubles totales es SST, y MS es la concentración de materia seca del fruto en miligramos (mg) de peso seco por gramo de peso fresco (PF).**

**Table 1. Influence of irrigation treatments on some quality attributes of tuna ‘Cristalina’ at harvest and storage. The total soluble solids concentration is SST, and DM is the concentration of dry matter of the fruit in milligrams (mg) of dry weight per gram fresh weight (FW).**

Tratamientos de riego	Peso (g)	Firmeza (Newtons)	SST (%)	MS (mg g <sup>-1</sup> de PF)
	Cosecha			
Sin riego	138.9b	20.9a	13.8a	155.3a
Riego suplementario	161.8ab	19.2a	13.7a	151.8a
Riego completo	186.9a	21.2a	12.9a	146.7a
Probabilidad	0.02	0.4	0.2	0.46
DMS	28.7	3.6	1.2	17.6
	Temperatura ambiente (23 ± 1 °C y 34 ± 3% HR) por 28 días			
Sin riego	113.7c	14.1b	12.1a	161.3a
Riego suplementario	143.4b	14.2b	13.0a	142.8ab
Riego completo	183.7a	18.2a	12.5a	134b
Probabilidad	0.001	0.002	0.5	0.04
DMS	21.1	1.8	1.2	25.1
	Refrigeración (10 °C y 85% HR) por 49 días + 7 días en acondicionamiento			
Sin riego	103c	13.3a	12.5a	174.8a
Riego suplementario	157.2b	15.1a	12.7a	169ab
Riego completo	171.7a	17.8a	11.9a	155.4b
Probabilidad	0.0001	0.064	0.45	0.02
DMS	11.6	4	1.4	15.8

<sup>a</sup>Valores promedio con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo con la diferencia mínima significativa (DMS) de Tukey con  $p \leq 0.05$

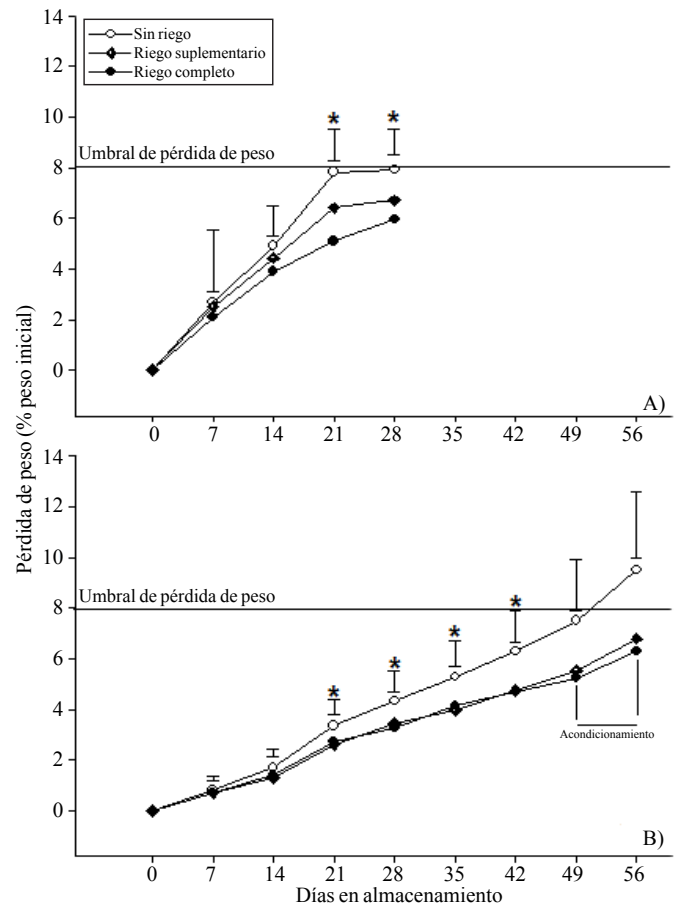


**Figura 1. Daño externo de la epidermis en la tuna ‘Cristalina’ por hongos (A) y frío (B) durante el almacenamiento en cuarto frío (10 °C y 85% HR, DVP ≈ 0.19 kPa) por 49 días más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente (20.2 °C y 34.5 ± 7% HR) en función de tratamientos de riego.** Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa de Tukey con  $p \leq 0.05$ .

**Figure 1. External damage to the epidermis in the tuna ‘Cristalina’ by fungi (A) and cold (B) during storage at room temperature (10 °C and 85% RH, DVP ≈ 0.19 kPa) for 49 days, seven days conditioned at room temperature (20.2 °C and 34.5 ± 7% RH) depending on irrigation treatments.** Vertical bars indicate the least significant difference Tukey  $p \leq 0.05$ .

Pérdida de peso y color de la epidermis. Cuando el fruto se almacenó a temperatura ambiente, la pérdida de peso (PP) fue consistentemente mayor a partir de los 21 días en almacenamiento en el fruto producido SR que en el fruto con RS o RC. De hecho, el fruto de estos dos últimos tratamientos no alcanzó el umbral de PP (8%) en ambos sistemas de almacenamiento (Figura 2). Esto sugiere que la tuna bajo RC o RS presenta mayor potencial de almacenamiento que aquella producida SR. Además, cuando el fruto se expuso en acondicionamiento a temperatura ambiente, la PP tendió a incrementarse más rápidamente en el fruto SR; mientras que el fruto de RC o RS no alcanzó el umbral de PP de 8% durante el acondicionamiento (Figura 2).

Los tratamientos de riego no indujeron cambios significativos en el color de la epidermis del fruto cuando la tuna se mantuvo a temperatura ambiente (Figura 3A)



**Figura 2. Pérdida de peso de la tuna ‘Cristalina’ a temperatura ambiente (déficit de presión de vapor= 1.8 kPa) por 28 días (A) o en cuarto frío (10 °C y 85% de humedad relativa) por 49 días más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente (20.2 °C y 34.5 ± 7% HR) (B) en función de tratamientos de riego.** Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa y los asteriscos indican diferencias estadísticas de Tukey con  $p \leq 0.05$ .

**Figure 2. Weight loss of tuna ‘Crystal’ at room temperature (vapour pressure deficit=1.8 kPa) for 28 days (A) or in cold room temperature (10 °C and 85% relative humidity) for 49 days, seven days in preparation at room temperature (20.2 °C and 34.5 ± 7% RH) (B) as a function of irrigation treatments.** Vertical bars represent least significant difference and asterisks indicate statistical differences with Tukey  $p \leq 0.05$ .

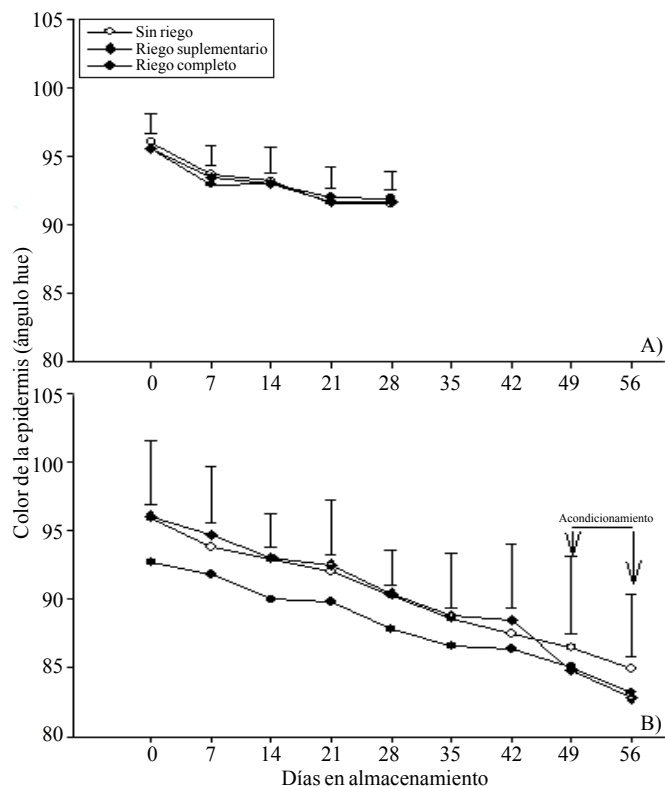
Irrigation treatments did not induce significantly in the skin colour of the fruit changes when the tuna was kept at room temperature (Figure 3A) or cold room conditioning plus seven days at room temperature (Figure 3B). However, the epidermis of the tuna tended to turn from green to yellow; this was more evident in the cooling treatment (Figure 3B).

o en cuarto frío más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente (Figura 3B). Sin embargo, la epidermis de la tuna tendió a virar del color verde hacia el amarillo; esto fue más evidente en el tratamiento de refrigeración (Figura 3B).

### Cultivar ‘Amarilla Olorosa’

Atributos de calidad de la fruta en la cosecha y después de almacenamiento. La evaluación de la calidad del fruto en la cosecha reveló que el PF fue mayor en los tratamientos con RS y RC que en la fruta SR. La F fue mayor en el fruto con RC que en la fruta producida SR y con RS. La concentración de SST y el contenido de MS fue menor en la tuna con RS en comparación con el fruto SR o RC (Cuadro 2). El comportamiento de los atributos de calidad medidos en la cosecha fue consistente después de 21 días en almacenamiento a temperatura ambiente (Cuadro 2). Pero cuando el fruto se mantuvo en refrigeración por 42 días más 7 días en acondicionamiento a temperatura ambiente el PF y la F (numéricamente) se mantuvieron altas en la fruta con RS y RC en comparación la fruta SR, la concentración de SST tendió a ser mayor en el fruto SR, mientras que el contenido de MS se mantuvo alta en la fruta SR (Cuadro 2). A diferencia de la tuna ‘Cristalina’, el fruto de este cultivar no observó daños externos en la epidermis por hongos o por frío.

Pérdida de peso y color de la epidermis. La PP fue significativa y consistentemente mayor en la fruta SR que en la fruta bajo los tratamientos de riego a partir de los siete días y hasta los 21 en almacenamiento a temperatura ambiente (Figura 4A). Aun cuando no se detectaron diferencias entre tratamientos cuando el fruto se mantuvo en refrigeración por 42 días más siete días, el patrón de PP en refrigeración fue similar al observado a temperatura ambiente; pero además el fruto producido con RS o RC retrasaron 5 días el umbral de PP de 8%, durante el acondicionamiento a temperatura ambiente (Figura 4B). El color de la epidermis del fruto inducido por los tratamientos de riego en este cultivar fue consistente con el observado en la tuna ‘Cristalina’ (Figura 5).



**Figura 3. Cambios de color de la epidermis de la tuna ‘Cristalina’ a temperatura ambiente (déficit de presión de vapor= 1.8 kPa) por 28 días (A) o en cuarto frío (10 °C y 85% de humedad relativa) por 49 días más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente (20 °C y 34 ± 7% HR) (B) en función de tratamientos de riego.** Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa de Tukey con  $p \leq 0.05$ .

**Figure 3. Changes in skin colour of the tuna ‘Crystal’ at room temperature (vapour pressure deficit= 1.8 kPa) for 28 days (A) or cold room temperature (10 °C and 85% relative humidity) for 49 days and, seven days in preparation at room temperature (20 °C and 34 ± 7% RH) (B) as a function of irrigation treatments.** Vertical bars represent least significant difference Tukey  $p \leq 0.05$ .

### Cultivar ‘Amarilla Olorosa’

Attributes of fruit quality at harvest and after storage. Assessing fruit quality at harvest revealed that the FW was higher in SI and FI treatments than in fruit NI. The F



**Cuadro 2. Influencia de tratamientos de riego en algunos atributos de calidad de la tuna ‘Amarilla Olorosa’. La concentración de sólidos solubles totales es la SST y MS es la concentración de materia seca del fruto en miligramos (mg) de peso seco por gramo de peso fresco (PF).**

**Table 2. Influence of irrigation treatments on some quality attributes of tuna ‘Amarilla Olorosa’. The concentration of total soluble solids is the SST and DM is the concentration of dry matter of the fruit in milligrams (mg) of dry weight per gram of fresh weight (FW).**

Tratamientos de riego	Peso (g)	Firmeza (Newtons)	SST (%)	MS mg g <sup>-1</sup> de PF)
	Cosecha			
Sin riego	76b <sup>z</sup>	15.3b	14.1a	191.4a
Riego suplementario	107.4a	15.3b	13.6b	176.3b
Riego completo	117.1a	17.4a	14.2a	190.1ab
Probabilidad	0.001	0.006	0.007	0.003
DMS	17.2	1.5	0.4	10.2
	Temperatura ambiente (23 ± 1 °C y 34 ± 3% HR) por 28 días			
Sin riego	70.7b	13.7b	13.8a	184a
Riego suplementario	95.2a	16.2b	13.1a	168.4b
Riego completo	102a	19.4a	13.4a	174.2ab
Probabilidad	0.005	0.003	0.07	0.04
DMS	18.2	2.4	0.8	14.4
	Refrigeración (10 °C y 85% HR) por 49 días + 7 días en acondicionamiento			
Sin riego	68.6b	13.7a	14.3a	196.2a
Riego suplementario	99a	15.1a	12.5a	172b
Riego completo	92a	17.1a	12.8a	172.4b
Probabilidad	0.04	0.1	0.1	0.0001
DMS	25.8	4.2	2	12.3

<sup>z</sup>Valores promedio con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo con la diferencia mínima significativa (DMS) de Tukey con  $p \leq 0.05$ .

## Discusión

El cultivo del nopal tunero se ha desarrollado en zonas áridas y semi-áridas donde la escasez del agua es una limitante no sólo para este cultivo sino para otros tales como frijol y maíz (Pimienta-Barrios, 1990). Sin embargo, en países como Italia (Inglese, 1995; Gugliuzza *et al.*, 2002), Israel (Nerd *et al.*, 1989) y Chile (García de Cortázar y Nobel, 1992), entre otros, la productividad y la calidad de la fruta, en términos del peso, han mejorado significativamente a través del riego. En relación al tamaño del fruto, esta investigación estableció que el riego completo y el riego suplementario incrementaron el tamaño del fruto, en términos de peso, en ambos cultivares (Cuadro 1 y 2). En el área de estudio, el recurso hídrico es escaso para cubrir la demanda hídrica total del cultivo, por lo que mediante el riego suplementario se puede ahorrar 56% del agua aplicada, pero con una reducción aproximada de 8% y 13% del peso de la tuna ‘Amarilla Olorosa’ y ‘Cristalina’, respectivamente, en relación al riego completo.

was higher in the fruit with FI fruit than in NI and SI. The concentration of CSS and DM content was lower in the SI prickly pear fruit compared with NI or CR (Table 2). The behaviour of the quality attributes measured at harvest was consistent after 21 days of storage at room temperature (Table 2). Nevertheless, when the fruit is kept refrigerated for 42 days plus 7 days at room conditioning, FW and F (numerically) remained high in fruit with SI and FI compared with the NI fruit, CSS concentration tended to be increased in the fruit NI, while the DM content remained high in the NI (Table 2). Unlike tuna ‘Cristalina’, the fruit of this cultivar observed external damage to the epidermis by fungal or cold.

Weight loss and skin colour. The WL was significantly and consistently higher in the NI fruit than in fruits under irrigation treatments with seven days through 21 in storage at room temperature (Figure 4A). Although no differences between treatments were detected when the fruit was kept refrigerated for 42 days and seven days, the WL in cooling

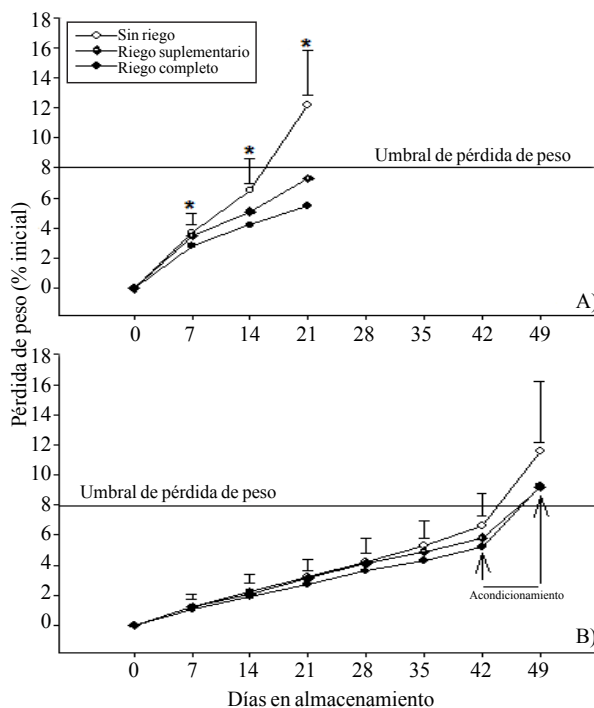
Las prácticas de manejo como el riego influyen en la calidad del fruto, en particular, la firmeza. Normalmente, cuando el fruto es producido bajo déficit hídrico (Mpelasoka *et al.*, 2001), éste es más pequeño y observa mayor firmeza que el fruto grande, debido a una mayor densidad celular (Behboudian y Mills, 1997). Sin embargo, en este experimento ocurrió lo opuesto, es decir, en comparación con el fruto sin riego, el riego completo produjo un fruto más firme y esta característica se mantuvo alta hasta el final del almacenamiento a temperatura ambiente o en cuarto frío en ambos cultivares (Cuadro 1 y 2).

Una posible explicación podría estar relacionada con la concentración de calcio (Ca) en la cáscara (El Kossori *et al.*, 1998), porque este elemento mantiene la pared celular y conserva la firmeza, entre otros atributos de calidad de frutos templados (Crisosto *et al.*, 2000). La concentración de Ca en el cáscara no se midió, sin embargo, el suelo donde se desarrolló el experimento tiene un contenido moderadamente alto de este elemento (de 2 900 a 3 522 mg kg<sup>-1</sup>), por lo tanto, con la disponibilidad de agua en el suelo debido al riego, pudo haberle facilitado a la planta la extracción de grandes cantidades de Ca y depositarlas, principalmente, en la cáscara del fruto. No obstante esto debe ser corroborado.

El estado nutrimental de las plantas, está directamente relacionado con la sanidad de éstas y sus productos. Es decir, deficiencias, excesos o desbalances de varios nutrientes pueden hacer que los frutos sean más o menos susceptibles a desordenes fisiológicos, mismos que pueden limitar la vida de anaquel durante el almacenamiento (Crisosto y Mitchell, 2007). Lo anterior pudo ocurrir con la tuna ‘Cristalina’ producida sin riego, la cual fue más proclive al ataque por hongos (no especificados), y por ende, redujo el tiempo de almacenamiento en comparación con el fruto producido con riego completo y suplementario (Figura 1).

Esto último no sucedió con la tuna ‘Amarilla Olorosa’, lo cual es indicativo de que este cultivar es más tolerante al ataque de estos patógenos. También, el daño por frío observado en la tuna ‘Cristalina’ indica que este cultivar es susceptible a bajas temperaturas en comparación con la ‘Amarilla Olorosa’, lo cual está relacionado con la carga genética de cada cultivar (Cantwell, 1995). No obstante, la

pattern was similar to that observed at room temperature; but also the fruit produced SI delayed 5 days or FI threshold WL 8%, during preparation at room temperature (Figure 4B). The colour of the skin of the fruit induced by irrigation treatments in this cultivar was consistent with that observed in the tuna ‘Cristalina’ (Figure 5).



**Figura 4. Pérdida de peso de la tuna ‘Amarilla Olorosa’ a temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C y  $37 \pm 8\%$  HR) por 21 días (A) o en cuarto frío ( $10$  °C y  $85\%$  HR) por 42 días más 7 días en acondicionamiento a temperatura ambiente ( $24 \pm 1$  °C y  $31 \pm 5$  HR) (B) en función de tratamientos de riego. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa y los asteriscos indican diferencias estadísticas de Tukey con  $p \leq 0.05$ .**

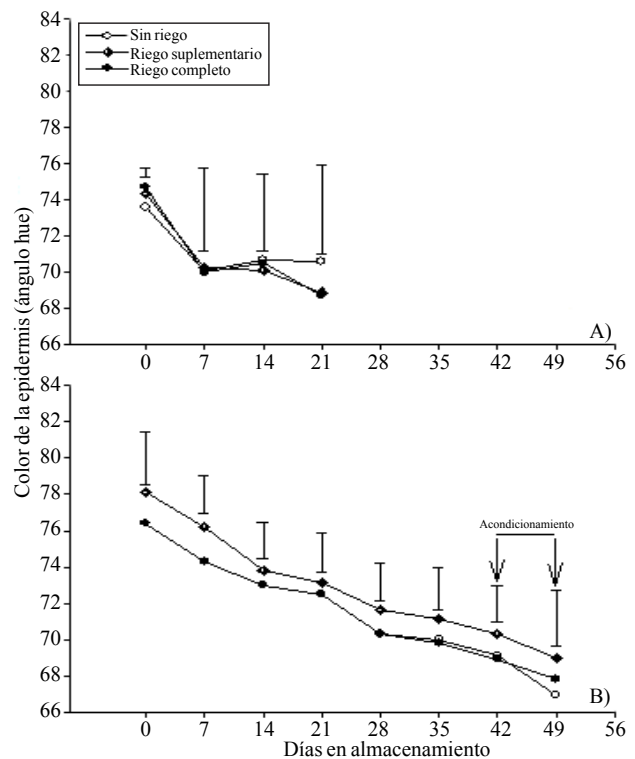
**Figure 4. Weight loss of tuna ‘Amarilla Olorosa’ at room temperature ( $25 \pm 1$  °C and  $37 \pm 8\%$  RH) for 21 days (A) or cold room temperature ( $10$  °C and  $85\%$  RH) for 42 days plus 7 days conditioning at room temperature ( $24 \pm 1$  °C and RH  $31 \pm 5$ ) (B) as a function of irrigation treatments. Vertical bars represent least significant difference and asterisks indicate statistical differences at  $p \leq 0.05$  Tukey.**

tuna ‘Amarilla Olorosa’ observó menor vida poscosecha (siete días) que la tuna ‘Cristalina’, lo cual también puede estar relacionado con la carga genética.

No obstante que el tamaño del fruto, en términos de peso, fue mayor en riego completo que en el riego suplementario, la concentración de sólidos solubles totales en ambos cultivares fue similar entre tratamientos. La concentración de materia seca de la tuna de ambos cultivares tendió a disminuir en la fruta con riego completo o suplementario en la evaluación a la cosecha y fue consistente en ambos sistemas de almacenamiento (Cuadro 1 y 2). Esto pudo deberse a una competencia por foto-asimilados, la cual se intensifica cuando los puntos de demanda (frutos) se encuentran en mayor número, como fue el caso de los frutos producidos en los tratamientos de riego. El número promedio de frutos ( $\pm$  error estándar) por planta en el cultivar ‘Cristalina’ en el tratamiento sin riego, riego suplementario y riego completo fueron:  $156 \pm 20$ ,  $180 \pm 23$  y  $215 \pm 18$ , respectivamente. Mientras que los valores para ‘Amarilla Olorosa’, en ese mismo orden de tratamientos, fueron:  $115 \pm 18$ ,  $143 \pm 13$  y  $157 \pm 22$ , respectivamente.

En ambos cultivares, la pérdida de peso de la tuna durante el almacenamiento a temperatura ambiente o en refrigeración fue menor en los tratamientos de riego. Esto sugiere cambios favorables a nivel de la cutícula, en particular, en las células epidermales las cuales sintetizan y secretan lípidos protectores contra la pérdida de agua y entrada de patógenos (Taiz y Zeiger, 2006). Esto, en teoría, haría una cobertura más uniforme de las grietas cuticulares que minimizarían la pérdida de peso. Aun cuando esto último tiene que ser confirmado, investigaciones poscosecha con tuna tratada con aire caliente saturado, han revelado un re-arreglo de los lípidos epicuticulares, que en parte, han explicado la reducción de la pérdida de peso durante el almacenamiento (Schirra *et al.*, 1999b; López-Castañeda *et al.*, 2010).

Cuando el fruto se mantuvo almacenado a temperatura ambiente o en refrigeración, el color de la epidermis del fruto, en promedio, fue similar entre tratamientos en ambos cultivares. No obstante, se observó una tendencia a desarrollar el color amarillo sobre el verde en la tuna ‘Cristalina’ y del color anaranjado sobre el color verde en la tuna ‘Amarilla Olorosa’ (Figura 3 y 5). Esto es indicativo de que la pigmentación de la fruta hacia la tonalidad típica de cada tuna continúa durante el almacenamiento. Esto último tiene implicaciones en relación a la comercialización de esta fruta hacia mercados distantes, y por ende al consumidor.



**Figura 5. Cambios de color de la epidermis de la tuna ‘Amarilla Olorosa’ a temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C y  $37 \pm 8\%$  HR) (A) por 21 días o en cuarto frío ( $10$  °C y  $85\%$  HR) por 42 días más siete días en acondicionamiento a temperatura ambiente ( $24 \pm 1$  °C y  $31 \pm 5$  HR) (B) en función de tratamientos de riego. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa de Tukey con  $p \leq 0.05$ .**

**Figure 5. Changes in skin colour of the tuna ‘Amarilla Olorosa’ at room temperature ( $25 \pm 1$  °C and  $37 \pm 8\%$  RH) (A) or for 21 days in cold room temperature ( $10$  °C and  $85\%$  RH) for 42 days and seven days in preparation at room temperature ( $24 \pm 1$  °C and RH  $31 \pm 5$ ) (B) as a function of irrigation treatments. Vertical bars represent Tukey's least significant difference with  $p \leq 0.05$ .**

## Discussion

Prickly pear cultivation has developed in arid and semi-arid areas where water scarcity is a limiting factor not only for this but also for other crops such as beans and corn (Pimentabarrios, 1990). However, in countries such as Italy (Inglese, 1995; Gugliuzza *et al.*, 2002) Israel (Nerd *et al.*, 1989.) and Chile (García de Cortázar and Nobel, 1992), among others, productivity and quality of fruit in terms of weight, have significantly improved through irrigation. Regarding the size of the fruit, this investigation established that, the full

Entonces, retrasar el desarrollo de betalainas en la piel (Fondom *et al.*, 2009) sería un reto para que la fruta llegue con la apariencia deseada por el consumidor final; no obstante esto último habrá de explorarse con una prueba sensorial.

## Conclusiones

El riego suplementario es una alternativa factible de implementarse para el ahorro de agua ( $\approx 56\%$ ) para ésta y otras áreas agro-ecológicas similares con impacto mínimo en la pérdida de peso del fruto y la firmeza de la tuna de ambos cultivares en comparación con el riego completo.

La tuna ‘Cristalina’ tiene un potencial de almacenamiento mayor (14%) que la tuna ‘Amarilla Olorosa’, pero ésta última resultó ser más tolerante al ataque de hongos y menos susceptible al daño por frío que la ‘Cristalina’.

La refrigeración de la tuna incrementó 75% y 100% la vida poscosecha de la tuna ‘Cristalina’ y ‘Amarilla Olorosa’, respectivamente, lo cual es importante para la comercialización del fruto fuera de temporada en mercados domésticos e internacionales.

## Agradecimientos

Esta investigación fue parte, financiada por la Fundación Produce Zacatecas, A. C., a través del proyecto ahorro de agua para riego en frutales templados (Núm. Ref. FPZ/75/2004). Se agradece el apoyo técnico del Sr. Pedro Castañón Hernández, también las valiosas sugerencias de los tres revisores anónimos.

## Literatura citada

- Barros, C. y Buenrostro, M. 1998. El maravilloso nopal, sus propiedades alimenticias y curativas. Editorial Grijalbo, S. A. de C. V., México, D. F. 243 p.
- Behboudian, H. M. and Mills, T. M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Hort. Rev.* 21:105-131.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. *In*: Barbera, G.; Inglese, P. and Pimienta, B. E. (Eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection. Paper 132. Rome, Italy. 120-136 pp.

irrigation and supplemental irrigation increased fruit size in terms of weight in both cultivars (Table 1 and 2). In the study area, water resources are insufficient to cover the total water demand of the crop, so by supplemental irrigation can save 56% of water applied, but with a reduction of approximately 8% and 13% by weight of the tuna ‘Amarilla Olorosa’ and ‘Cristalina’, respectively, compared to full irrigation.

Management practices such as irrigation influence fruit quality, particularly firmness. Regularly, when the fruit is produced under water deficit (Mpelasoka *et al.*, 2001), it is smaller and firmer than the large fruit, due to a higher cell density (Behboudian and Mills, 1997). However, in this experiment, the opposite occurred, that is, compared to the result without irrigation, full irrigation produced a firmer fruit and this property remained high until the end of storage at room temperature or in a cold room for both cultivars (Table 1 and 2).

One possible explanation could be related to the concentration of calcium (Ca) in the shell (The Kossori *et al.*, 1998), because this maintains cell wall element and retains the firmness, among other attributes of fruit quality (Crisosto *et al.*, 2000). The concentration of Ca in the shell was not measured; however, the soil in which the experiment was conducted has a moderately high content (2 900 to 3 522 mg kg<sup>-1</sup>), hence the water availability in the soil due to irrigation could have provided the plant extraction of large amounts of Ca and deposit mainly in the peel of the fruit. However, this must be corroborated.

The nutritional status of plants is directly related to their health and their products. That is, failures, excess or imbalance of various nutrients can make the fruits more or less susceptible to physiological changes, some disorders that may limit the shelf-life during storage (Crisosto and Mitchell, 2007). This could occur with tuna ‘Cristalina’ produced without irrigation, which was more prone to be attacked by fungi (not specified), and thus reduced the storage time compared to the fruit produced with full and supplemental irrigation (Figure 1).

The latter did not happen with the tuna ‘Amarilla Olorosa’, which indicates that this cultivar is more tolerant to be attacked by these pathogens. In addition, chilling injury observed in tuna ‘Cristalina’ indicates that this cultivar is susceptible to low temperatures compared to the ‘Amarilla Olorosa’, which is related to the genetics of each cultivar (Cantwell, 1995). However, the tuna ‘Amarilla Olorosa’ observed lower postharvest life (seven days) than the tuna ‘Cristalina’, which may also be related to the genetic load.

- Crisosto, C. H.; Day, K. R.; Johnson, R. S. and Garner, D. 2000. Influence of in-season foliar sprays on fruit quality and surface discoloration incidence of peach and nectarines. *J. Amer. Pomol. Soc.* 54(3):118-122.
- Crisosto, C. H. y Mitchell, J. P. 2007. Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. *In: Kader, A. A. (Ed.). Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas. centro de información e investigación en tecnología poscosecha. Universidad de California. Series de Horticultura Postcosecha No. 24. 55-61 pp.*
- El Kossori, R. L.; Villaume, C.; El Boustani, E.; Sauvaire, Y. and Méjean, L. 1998. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pear. *Plant Foods for Human Nutrition.* 52(3):263-270.
- Fondom, N. Y.; Castro, S. and Huerta, A. J. 2009. Photoprotective mechanisms during leaf ontogeny: cuticular development and anthocyanin deposition in two morphs of *Agave striata* that differ in leaf coloration. *Botany* 87(12):1186-1197.
- Gallegos-Vázquez, C. y Mondragón-Jacobo, C. 2013. Los recursos fitogenéticos de nopal y cultivares de tuna disponibles para el altiplano. *In: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. J. y Mondragón-Jacobo. (Eds.). Producción sustentable de la tuna. Colegio de Postgraduados y Fundación Produce San Luis Potosí, A. C. San Luis Potosí, México. 49-68 pp.*
- García de Cortázar, V. and Nobel, P. S. 1992. Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(4):558-562.
- Gugliuzza, G.; Inglese, P. and La Mantia, T. 2002. Relationship between fruit thinning and irrigation on determining fruit of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit. *Acta Hort.* 581: 205-209.
- Inglese, P. 1995. Orchard planting and management. *In: Barbera, G.; Inglese, P. and Pimienta, B. E. (Eds.). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection. Paper 132. Rome, Italy. 78-91 pp.*
- López, C. J.; Corrales, G. J.; Terrazas, S. T. and Colinas, L. T. 2010. Effect of saturated air heat treatments on weight loss reduction and epicuticular changes in six varieties of cactus pear fruit (*Opuntia spp.*). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 12:37-47.
- Mena-Covarrubias, J. 2013. Tecnología de manejo integrado para los insectos plaga del nopal tunero en el Altiplano Mexicano. *In: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. J. y Mondragón-Jacobo (Eds.). Producción sustentable de la tuna. Colegio de Postgraduados y Fundación Produce San Luis Potosí, A. C. San Luis Potosí, México. 125-161 pp.*
- Méndez-Gallegos, S. J.; Gallegos-Vázquez, C. y Mondragón-Jacobo, C. 2013. Manejo de huertos comerciales de nopal tunero. *In: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. J. y Mondragón-Jacobo (Eds.). Producción sustentable de la tuna. Colegio de Postgraduados y Fundación Produce San Luis Potosí, A. C. San Luis Potosí, México. 97-114 pp.*
- Mpelasoka, B. S.; Behboudian, M. H. and Green, S. R. 2001. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and crop load. *Irrig. Sci.* 20(3):107-131.
- Nefzaoui, A. and Ben. S. H. 2002. Cacti: efficient tool for rangeland rehabilitation, drought mitigation and to combat desertification. *Acta Hort.* 581:295-315.
- Nerd, A.; Karady, A. and Mizrahi, Y. 1989. Irrigation, fertilization, and polyethylene covers influence bud development in prickly pear. *HortScience.* 24(5):773-775.

Although, fruit size in terms of weight was higher in full irrigation than in supplemental irrigation, the concentration of total soluble solids in both cultivars was similar between the treatments. The concentration of dry matter in the tuna for both cultivars tended to decrease with full or supplementary irrigation in the crop assessment and was consistent in both storage systems (Table 1 and 2). This might be due to the competition for photo-assimilated, which intensifies when the demand points are found in greater numbers, as was the case of the fruit produced in the irrigation treatments. The average number of fruits ( $\pm$  standard error) per plant in the cultivar 'Cristalina' in the treatment without irrigation, supplemental irrigation and full irrigation were  $156 \pm 20$ ,  $180 \pm 23$  and  $215 \pm 18$ , respectively. While the values for 'Amarilla Olorosa', in that order of treatments were:  $115 \pm 18$ ,  $143 \pm 13$  and  $157 \pm 22$ , respectively.

In both cultivars, the loss of weight of the tuna during storage at room temperature or under refrigeration was lower in the irrigation treatments. This suggests favourable changes in the cuticle, especially in epidermal cells, which synthesize and secrete protective lipids against water loss and entry of pathogens (Taiz and Zeiger, 2006). This, in theory, would make a more uniform cuticular cracks minimizing weight loss. Even though, the latter has to be confirmed, postharvest research treated tuna with hot air saturated have revealed a re-arrangement of the epicuticular lipids, which partly explained the reduction of weight loss during storage (Schirra *et al.*, 1999b; López-Castañeda *et al.*, 2010).

When the fruit is kept stored at room temperature or under refrigeration, the colour of the skin, on average, was similar among the treatments for both cultivars. However, we observed a tendency to develop the yellow colour over the green in the tuna 'Cristalina' and orange over the green on the tuna 'Amarilla Olorosa' (Figure 3 and 5). This indicates that the pigment of the fruit to the typical colour continues during storage. The latter has implications in relation to the sale of the fruit to distant markets, and hence the consumer. Then, delaying the development of betalains in the skin (Fondom *et al.*, 2009) would be a challenge for the fruit to reach the desired look by the final consumer; however, the latter would be explored in a sensory test.

## Conclusions

Supplemental irrigation is a feasible alternative implemented to save water ( $\approx 56\%$ ) for this and other similar agro-ecological areas with minimal impact on weight loss and fruit firmness of both cultivars compared to full irrigation.

- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Editorial Trillas, S. A. de C. V., México, D. F. 211 p.
- Ochoa, M. J.; Leguizamón, G. and Uhart, S. A. 2002. Effect of nitrogen availability on cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) postharvest quality. *Acta Hort.* 581:225-2230.
- Pichler, T.; Young, K. and Alcantar, N. 2012. Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Sci. Technol. Water Suppl.* 12(2):179-186.
- Pimienta, B. E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. 246 p.
- Potgieter, J. P. 2001. Guidelines for the cultivation of cactus pears for fruit production. 4<sup>th</sup> revised edition. Group 7 Trust Printers, Sinoville, South Africa. 4-5 pp.
- Schirra, M.; Inglese, P. and La Mantia, T. 1999a. Quality of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruit in relation to ripening time, CaCl<sub>2</sub> pre-harvest sprays and storage conditions. *Scientia Hort.* 81(4):425-436.
- Schirra, M.; D'hallewin, G.; Inglese, P. and La Mantia, T. 1999b. Epicuticular changes and storage potential of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruit following gibberellic acid preharvest sprays and postharvest heat treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 17(2):79-88.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant physiology*. Sinauer Asso. Inc., Pub., Sunderland, Massachusetts, USA. 764 p.

The tuna 'Cristalina' has a higher storage potential (14%) than tuna 'Amarilla Olorosa', but the latter proved to be more tolerant to fungal attacks and, less susceptible to cold damage.

Cooling tuna increased by 75% to 100% the post-harvest life of tuna 'Cristalina' and 'Amarilla Olorosa', respectively, which is important for the marketing of the fruit out of season in domestic and international markets.

*End of the English version*



- Zegbe, J. A.; Serna, A.; Mena, J.; Bravo, A. G. and Echavarría, F. G. 2006. Cactus pear (*Opuntia* spp.) responses to reduced irrigation. *International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture*. Adana-Turkey April 4-8. 10 p.
- Zegbe J. A. and Serna-Pérez, A. 2012. Partial rootzone drying to save water while growing apples in a semi-arid region. *Irrig. Drain.* 61(2):251-259.