

Postharvest quality and behavior of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) fruits due to the effects of agronomic practices

Calidad y comportamiento poscosecha de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) por efectos de prácticas agronómicas

Carlos Hugo Avendaño-Arrazate¹; Esaú del Carmen Moreno-Pérez²; María Teresa Martínez-Damián^{2*}; Oscar Cruz-Alvarez³; Haidel Vargas-Madríz²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas, C. P. 30700, MÉXICO.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

³Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, C. P. 31350, MÉXICO. *Corresponding author: teremd13@gmail.com, tel. (595) 101 9586.

Abstract

Nephelium lappaceum L. is a highly perishable tropical fruit because of its susceptibility to pericarp dehydration and oxidation, which decreases its acceptance in the fresh produce market. The aim of this study was to evaluate the effect of agronomic practices such as pruning, girdling and water stress on some postharvest quality parameters in rambutan fruits from 'RJA Clone' trees in Chiapas, Mexico. A split-plot experimental design in randomized complete blocks with a factorial arrangement and six replicates was used. Fruits from trees managed under water stress conditions showed greater fresh weight (40.2 g), concentration of total soluble solids (TSS, 22.62 °Brix), total sugars (423 mg·100 g⁻¹), vitamin C (37.79 mg·100 g⁻¹) and titratable acidity (0.30 %). On the other hand, it was found that water stress caused a 33 % weight loss in fruits, in relation to fruits from irrigated trees (48 %). The latter were characterized by having less sweetness (between 18 and 19 °Brix) and higher acidity (0.417 %). In general, the application of temporal drought, girdling and pruning contributed to the obtaining of fruits with greater size, shelf life and sweetness, less weight loss and with a higher concentration of bioactive compounds (vitamin C and total phenols), in addition to acquiring physical and biochemical characteristics desirable for fresh consumption.

Keywords: agronomic management, fruit quality, browning, water loss.

Resumen

Nephelium lappaceum L. es un fruto tropical altamente perecedero debido a que es susceptible a la deshidratación y oxidación del pericarpio, lo que disminuye su aceptación en el mercado para consumo en fresco. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de prácticas agronómicas como la poda, anillado y estrés hídrico sobre algunos parámetros de calidad poscosecha en frutos de rambután provenientes de árboles del 'Clon RJA' en Chiapas, México. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar con arreglo factorial con seis repeticiones. Los frutos de árboles manejados bajo condiciones de estrés hídrico mostraron mayor peso fresco (40.2 g), concentración de sólidos solubles totales (SST, 22.62 °Brix), azúcares totales (423 mg·100 g⁻¹), vitamina C (37.79 mg·100 g⁻¹) y acidez titulable (0.30 %). Por otro lado, se encontró que el estrés hídrico provocó la pérdida de 33 % del peso de los frutos, en relación con los frutos provenientes de árboles con riego (48 %). Estos últimos se caracterizaron por poseer menor dulzor (entre 18 y 19 °Brix) y mayor acidez (0.417 %). En general, la aplicación de sequía temporal, anillado y poda contribuyeron en la obtención de frutos con mayor tamaño, vida de anaquel y dulzor, menor pérdida de peso y con mayor concentración de compuestos bioactivos (vitamina C y fenoles totales), además de adquirir características físicas y bioquímicas deseables para su consumo en fresco.

Palabras clave: manejo agronómico, calidad de la fruta, oscurecimiento, pérdida de agua.



Introduction

The rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) is a fruit of tropical origin appreciated for its sweet, juicy pulp, and its high nutritional value (Melvin & Calvo, 2014). In Mexico, it has only recently been cultivated and is mainly produced in Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Tabasco and Chiapas, the last being the leading producer in the Soconusco region (Tuxtla Chico, Cacahoatán, Tapachula and Metapa de Domínguez) (Pérez-Romero & Jürgen-Pohlen, 2004). In Chiapas, for 2015, the area sown was 835.96 ha with production totaling 8,730.27 t, with a value of 10.02 million pesos (Sistema de Información Agrícola y Pesquera [SIAP], 2015).

The rambutan is round or ovoid and has either a red or yellow pericarp, long spinterns and a white or translucent edible aril (Arias-Cruz, Velásquez-Ramírez, Mateus-Cagua, Chaparro-Zambrano, & Orduz-Rodríguez, 2016). Its ripening pattern suggests that it is a non-climacteric fruit (Caballero-Pérez et al., 2011), so they are harvested when they are ripe for consumption and have an optimal external appearance (Tindall, Menini, & Hodder, 1994). However, due to its morphological and physiological characteristics, it is a highly perishable fruit, since its shelf life does not exceed seven days after being harvested. This is because the spinterns and pericarp are easily dehydrated and oxidized, resulting in a dark and undesirable appearance that limits its marketing potential for fresh consumption (Hernández-Arenas et al., 2010).

Considering the above, a viable alternative that has proven to be efficient in delaying the degradation processes is the combined use of modified atmospheres and refrigeration, since they allow decreasing the loss of water through transpiration in the fruit (Hernández-Arenas et al., 2012). However, it is possible to increase the quality characteristics of the fruit through proper agronomic management (Melvin & Calvo, 2014).

Agronomic practices that have been found to have an impact on the shelf life of fruit species include: a) girdling or ring-barking of tree branches (promotes greater accumulation of carbohydrates in fruits; Wall, 2006), b) pruning (favors the distribution of photosynthesis products in those trees with a homogeneous shape and structure; Crane et al., 2005) and c) water stress. The last one, in apple tree (*Malus domestica* L.), mango (*Mangifera indica* L.) and kiwi (*Actinidia deliciosa* A. Chev.), induces resistance on the epidermis in relation to the loss of water from the fruits, which is why it prolongs their shelf life (Burdon & Clark, 2001; Osuna-García, Pérez-Barraza, Vázquez-Valdivia, & Urías-López, 2009; Parra-Quezada, Robison, Osborne, & Parra-Bujanda, 2008).

Introducción

El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es un frutal de origen tropical apreciado por su pulpa dulce y jugosa, además de su valor nutrimental elevado (Melvin & Calvo, 2014). En México, su cultivo es relativamente reciente y se produce principalmente en Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, siendo este último el que encabeza la producción en la región del Soconusco (Tuxtla Chico, Cacahoatán, Tapachula y Metapa de Domínguez) (Pérez-Romero & Jürgen-Pohlen, 2004). En Chiapas, para 2015, la superficie sembrada fue de 835.96 ha y la producción de 8,730.27 t, con un valor de 10.02 millones de pesos (Sistema de Información Agrícola y Pesquera [SIAP], 2015).

El rambután es redondo u ovoide y presenta pericarpio rojo o amarillo, espiternos largos y un arilo comestible blanco o traslúcido (Arias-Cruz, Velásquez-Ramírez, Mateus-Cagua, Chaparro-Zambrano, & Orduz-Rodríguez, 2016). Su patrón de maduración sugiere que se trata de un fruto no climatérico (Caballero-Pérez et al., 2011), por lo que se cosechan cuando presentan madurez de consumo y apariencia externa óptima (Tindall, Menini, & Hodder, 1994). Sin embargo, por sus características morfológicas y fisiológicas, es un fruto altamente perecedero, ya que su vida de anaquel no supera los siete días después de ser cosechado. Lo anterior debido a que los espiternos y el pericarpio se deshidratan y se oxidan fácilmente, dando como resultado una apariencia oscura e indeseable que limita su comercialización para consumo en fresco (Hernández-Arenas et al., 2010).

Considerando lo anterior, una alternativa viable que ha demostrado ser eficiente para retardar los procesos degradativos es el uso combinado de atmósferas modificadas y refrigeración, ya que permiten disminuir la pérdida de agua por transpiración en el fruto (Hernández-Arenas et al., 2012). No obstante, se puede optar por incrementar las características de calidad del fruto mediante un manejo agronómico adecuado (Melvin & Calvo, 2014).

Se ha observado que entre las diversas prácticas agronómicas que tienen impacto en la vida de anaquel de especies frutales se encuentran: a) el anillado o rayado de las ramas de los árboles (promueve mayor acumulación de carbohidratos en los frutos; Wall, 2006), b) la poda (favorece la distribución de los productos de la fotosíntesis en aquellos árboles con forma y estructura homogéneas; Crane et al., 2005) y c) el estrés hídrico. Este último, en manzano (*Malus domestica* L.), mango (*Mangifera indica* L.) y kiwi (*Actinidia deliciosa* A. Chev.), induce resistencia sobre la epidermis en relación con la pérdida de agua de los frutos, por lo que prolonga su vida de anaquel (Burdon & Clark, 2001; Osuna-García, Pérez-Barraza, Vázquez-Valdivia, & Urías-López, 2009; Parra-Quezada, Robison, Osborne, & Parra-Bujanda, 2008).

At present, rambutan cultivars are selected considering their content of sugars, total soluble solids (TSS) and titratable acidity at the time the fruit reaches consumption maturity (Hernández-Arenas et al., 2012). However, international standards set out in the Codex Alimentarius for rambutan (CODEX STAN 246-2005) indicate that a commercial quality fruit should be uniformly red, with fruit weight between 18 and 24 g and TSS content between 16 and 18 °Brix.

As is the case for other tropical fruit trees, there is insufficient information to adequately discern the role of cultural practices (pruning, girdling and irrigation) on the postharvest physiological behavior of rambutan fruit. Additionally, in the last decade, the level of acceptance of regional and national markets is positioning the rambutan as an economic alternative in fruit-producing areas where the predominant crop is usually coffee, that is, areas located between 100 and 700 masl (Arias-Cruz et al., 2016; Caballero-Pérez et al., 2011). Therefore, the aim of the present study was to evaluate the effect of agronomic practices such as pruning, girdling and water stress on some postharvest quality parameters in rambutan fruits from 'RJA Clone' trees in Chiapas, Mexico.

Materials and methods

Study area location

Rambutan fruits were obtained from the "La Chinita" commercial orchard, located at km 4.5 on the Huehuetán Estación-Nueva Victoria highway in Huehuetán, Chiapas, Mexico (15° 00' 33" North latitude and 92° 26' 17" West longitude, at 19 masl), with average annual precipitation and temperature of 2,326 mm and 28 °C, respectively (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2010). The soil of this orchard has a sandy-loam texture, 1.31 % organic matter, pH 6.1 and 37.2 % porosity.

Study factors

From January to May 2011, 48 'RJA Clone' trees averaging 14 years of age and in their productive stage were selected and subjected to different agronomic practices, individually or in combinations. The treatments were: girdling (G), pruning (P), water stress (WS) and irrigation (I). For G, a razor was used to make incisions of 3 mm in depth and circumference; this activity took place in mid-April. P was carried out in February, removing branches of approximately 30 cm in length, corresponding to the penultimate vegetative flush. WS was implemented in January and concluded at the end of May, coinciding with the beginning of the rainy season. For this practice, the irrigation schedule was suspended until the temporary wilting percentage (TWP), that is, 13 % usable moisture, was reached.

En la actualidad, los cultivares de rambután son seleccionados considerando su contenido de azúcares, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable al momento en que el fruto alcanza la madurez de consumo (Hernández-Arenas et al., 2012). Sin embargo, los estándares internacionales establecidos en el Codex Alimentarius para rambután 246-2005 indican que un fruto de calidad comercial debe ser de color rojo uniforme, peso de fruto entre 18 y 24 g y contenido de SST entre 16 y 18 °Brix.

De manera similar a lo que ocurre en otros frutales tropicales, no existe información suficiente que permita discernir de forma adecuada el papel que representan las prácticas culturales (poda, anillado y riego) sobre el comportamiento de la fisiología poscosecha del fruto de rambután. Adicionalmente, en la última década, el nivel de aceptación de los mercados regionales y nacionales está posicionando al rambután como alternativa económica en zonas frutícolas donde de forma habitual el cultivo predominante es el café; es decir, áreas ubicadas entre los 100 y 700 msnm (Arias-Cruz et al., 2016; Caballero-Pérez et al., 2011). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de prácticas agronómicas como la poda, anillado y estrés hídrico sobre algunos parámetros de calidad poscosecha en frutos de rambután provenientes de árboles del 'Clon RJA' en Chiapas, México.

Materiales y métodos

Localización del sitio de estudio

Los frutos de rambután se obtuvieron del huerto comercial "La Chinita", ubicado en carretera Huehuetán Estación-Nueva Victoria km 4.5, Huehuetán, Chiapas, México (15° 00' 33" latitud norte y 92° 26' 17" longitud oeste, a 19 msnm) con precipitación y temperatura media anual de 2,326 mm y 28 °C, respectivamente (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2010). El suelo de este huerto presenta una textura franco-arenosa, 1.31 % de materia orgánica, pH de 6.1 y porosidad de 37.2 %.

Factores de estudio

De enero-mayo de 2011, se seleccionaron 48 árboles del 'Clon RJA', con promedio de 14 años edad y en etapa productiva, y se sometieron a diferentes prácticas agronómicas, individual o en combinaciones. Los tratamientos fueron: anillado (A), poda (P), estrés hídrico (E) y riego (R). Para el A, con una navaja, se realizaron incisiones de 3 mm de profundidad y en circunferencia; esta actividad se llevó a cabo a mediados de abril. La P se realizó en febrero, eliminando las ramas de aproximadamente 30 cm de longitud, correspondientes al penúltimo flujo vegetativo. El E se implementó a partir de enero y concluyó a finales de

Finally, I was applied in the normal way using a drip irrigation system. The irrigation conditions consisted in maintaining the usable moisture content at values higher than 25 % throughout the experiment. Thus, the study factors were water stress (drought), pruning, girdling, irrigation (control) and their combination, resulting in eight treatments (Table 1).

Experimental design

The treatments were established under a split-plot experimental design in randomized complete blocks with a factorial arrangement and six replicates, where each tree was considered as a replicate. In July, 75 fruits at consumption maturity (pericarp 90 % bright red) were harvested from each tree and each treatment. For the evaluation of the different postharvest quality parameters, the fruits were distributed as follows: for 30 fruits of each treatment, fresh weight, weight loss, pericarp browning and shelf life were determined, with three replicates and ten fruits per replicate; for 15 fruits, aril thickness, pericarp thickness, number of spinterns, spintern size and TSS content were quantified, in triplicate with five fruits per experimental unit. The remaining 30 fruits were evaluated in terms of total sugars, vitamin C, total phenols and titratable acidity, with five replicates and six fruits per experimental unit.

The analyses were carried out in the Plant Science Department's Fruit Physiology Laboratory at the *Universidad Autónoma Chapingo* under ambient temperature conditions of 30 ± 2 °C and 80-90 % relative humidity.

The postharvest behavior of the fruits was evaluated by recording the following variables:

Fresh weight (FW, g). It was determined at the time of harvest using an electronic scale (Ohaus® model Scout Pro SP2001).

mayo, coincidiendo con el inicio del periodo de lluvias. Para esta práctica, se suspendió el calendario de riego hasta alcanzar el porcentaje de marchitez temporal (PMT), es decir, 13 % de humedad aprovechable. Finalmente el R se aplicó de manera normal mediante un sistema de riego por goteo. Las condiciones de riego consistieron en mantener el contenido de humedad aprovechable con valores superiores a 25 % durante todo el periodo del experimento. De esta manera, los factores de estudio fueron estrés hídrico (sequía), poda, anillado, riego (testigo) y su combinación; con lo cual se obtuvieron ocho tratamientos (Cuadro 1).

Diseño experimental

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar en arreglo factorial con seis repeticiones; donde cada árbol se consideró como una repetición. En julio, de cada árbol y cada tratamiento, se cosecharon 75 frutos con madurez de consumo (90 % del pericarpio de color rojo brillante). Para la evaluación de los diferentes parámetros de calidad poscosecha, los frutos se distribuyeron de la siguiente manera: a 30 de cada tratamiento se les determinó peso fresco, pérdida de peso, oscurecimiento del pericarpio y vida de anaquel, con tres repeticiones y diez frutos por repetición. A 15 frutos, se les cuantificó el grosor del arilo, grosor del pericarpio, número de espiternos, tamaño de espiternos y contenido de SST, por triplicado con cinco frutos por unidad experimental. A los 30 frutos restantes, se les realizó la determinación de azúcares totales, vitamina C, fenoles totales y acidez titulable, con cinco repeticiones y seis frutos por unidad experimental.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo bajo condiciones de

Table 1. Agronomic management treatments in rambutan trees.

Cuadro 1. Tratamientos de manejo agronómico en árboles de rambután.

Soil condition / Condición del suelo	Management practice / Práctica de manejo	Symbols / Simbología	Treatment / Tratamiento
Irrigation / Riego	Pruning and girdling / Poda y anillado	I+P+G / R+P+A	1
	Pruning / Poda	I+P / R+P	2
	Girdling / Anillado	I+G / R+A	3
	No practice / Sin práctica	I / R	4
Water stress / Estrés hídrico	Pruning and girdling / Poda y anillado	WS+P+G / E+P+A	5
	Pruning / Poda	WS+P / E+P	6
	Girdling / Anillado	WS+G / E+A	7
	No practice / Sin práctica	WS / E	8

Weight loss (%). Fruits were weighed daily for five days with a balance scale (Ohaus®) and the formula applied was:

$$\text{Weight loss} = \frac{\text{Initial weight} - \text{Final weight}}{\text{Initial weight}} \times 100$$

Aril thickness (AT, mm) and pericarp thickness (PT, mm). Fruits of each treatment were cut transversely and the thickness of the aril and pericarp were measured with a digital Vernier caliper.

Number of spinterns (NS) and their length (SL, cm). They were evaluated at the time of harvest. Their length was measured with a digital Vernier caliper, from the base to the apex.

Pericarp browning (PD). It was determined daily for five days based on a subjective scale proposed by Caballero-Pérez et al. (2011): 1 = total oxidation (100 %), 2 = intense oxidation (about 75 %), 3 = medium oxidation (about 50 %), 4 = low oxidation (about 25 %) and 5 = no oxidation.

Total soluble solids (TSS, °Brix). The aril was scraped from each fruit and placed in a sieve to extract the juice, which was deposited in a digital refractometer (Atago model Master-BR, Tokyo, Japan).

Total sugars (TS, mg·100 g⁻¹). They were quantified by the anthrone method; for this, 0.5 g of pulp were weighed and mixed with 50 mL of ethyl alcohol (70 %), and then boiled for 15 min. The solution was filtered on Whatman® grade 40 paper and filled to 100 mL with 70 % ethanol. From this, a 1 mL aliquot was taken in a test tube and 6 mL of anthrone reagent (66 % stock [v/v] of H₂SO₄ + 340 mL of water, 10 g of Thiourea [MERCK®] were dissolved with 0.5 g of Anthrone [MERCK®] and filled to 1 L) were added to it. The tubes were then placed in a water bath for 10 minutes, stained in a container with ice and at the end the absorbance at 630 nm was determined on a UNICO model 1100RS® spectrophotometer using a standard glucose curve (MERCK®) of 30 mg·mL⁻¹.

Titrateable acidity (TA, % malic acid). It was determined according to the methodology proposed by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), with 5 g of pulp which were neutralized with 0.1 N NaOH. Phenolphthalein was used as an indicator.

Vitamin C (VC, mg·100 g⁻¹). It was estimated according to the method of Tillman (AOAC, 1990), known as DFI (2,6 dichlorophenol-indophenol).

Total phenols (TP, mg·100 g⁻¹). The determination was made using the method of Rathjen and Robinson (1992) with some modifications. First, 1 g of pulp was homogenized with 25 mL of distilled water.

temperatura ambiental de 30 ± 2 °C y humedad relativa de 80 a 90 %.

El comportamiento poscosecha de los frutos se evaluó a través del registro de las siguientes variables:

Peso fresco (PF, g). Se determinó al momento de la cosecha mediante balanza electrónica (Ohaus® modelo Scout Pro SP2001).

Pérdida de peso (%). Se pesaron los frutos diariamente durante cinco días con una balanza granataria (Ohaus®) y se aplicó la fórmula:

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Grosor del arilo (GA, mm) y grosor del pericarpio (GP, mm). Los frutos de cada tratamiento se cortaron de manera transversal y se midió su grosor del arilo y pericarpio con un vernier digital.

Número de espiternos (NE) y longitud de espiternos (LE, cm). Se evaluaron al momento de la cosecha. La longitud se midió con un vernier digital, desde la base hasta el ápice.

Oscurecimiento del pericarpio (OP). Se determinó diariamente durante cinco días con base en una escala subjetiva propuesta por Caballero-Pérez et al. (2011): 1=oxidación total(100%), 2=oxidación intensa(alrededor de 75 %), 3 = oxidación media (alrededor de 50 %), 4 = oxidación baja (alrededor de 25 %) y 5 = sin oxidación.

Sólidos solubles totales (SST, °Brix). Se raspó el arilo de cada fruto y se colocó en un cedazo para extraer el jugo, el cual se depositó en un refractómetro digital (Atago modelo Master-BR, Tokio, Japón).

Azúcares totales (AzT, mg·100 g⁻¹). Se cuantificaron por el método de antrona, para esto se pesaron 0.5 g de pulpa y se mezclaron con 50 mL de alcohol etílico (70 %), luego se sometió a ebullición durante 15 min; la solución se filtró en papel Whatman® grado 40 y se aforó a 100 mL con etanol al 70 %. Del aforo, se tomó una alícuota de 1 mL en un tubo de ensayo y se le adicionaron 6 mL de reactivo de antrona (stock al 66 % [v/v] de H₂SO₄ + 340 mL de agua, se disolvieron 10 g de Tiourea [MERCK®] con 0.5 g de Antrona [MERCK®] y se aforó a 1 L). Posteriormente, los tubos se colocaron en baño maría durante 10 minutos, se coloran en un recipiente con hielo y al final se determinó la absorbancia a 630 nm en un espectrofotómetro marca UNICO modelo 1100RS®, usando una curva estándar de glucosa (MERCK®) de 30 mg·mL⁻¹.

Acidez titulable (AT, % de ácido málico). Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), con

The solution was filtered, 2 mL were taken, 4 mL of the methanol: chloroform:water (2:1:1) extraction solution were added to it and then the mixture was centrifuged at 2,200 rpm for 15 min. The supernatant was taken, 4 mL of the methanol:chloroform:water (2:1:1) extraction solution were added to it and then the mixture was centrifuged at 2,200 rpm for 15 min. Next, 10 mL of 10 % NaCO_3 were added to the mixture, which was then placed at 38 °C for 15 min. Of this solution, 1 mL was taken and 1 mL of the Folin-Ciocalteu® reagent (Sigma-Aldrich®) (1:1 in distilled water) was added to it; it was left to stand for 15 min under dark conditions, where the change of absorbance at 660 nm was evaluated in a spectrophotometer (UNICO model 1100RS®). Quantification was performed using a standard tannic acid curve (Sigma-Aldrich®)

Statistical analysis

Except for the variables percentage of weight loss and pericarp browning, which were plotted as a function of time, the remainder were subjected to an analysis of variance and Tukey's range test ($P \leq 0.05$) using Statistical Analysis System software (SAS, 2002).

Results and discussion

Fresh weight

As shown in Table 2, fruits from trees subjected to water stress showed higher fresh weight (40.2 g, $P \leq 0.05$), which could at first be regarded as a rather inconsistent result. However, in this case, it is important to point out that in trees subjected to drought a smaller number of fruits, but with a larger individual size, was frequently observed. In this regard, Tindall et al. (1994) mention that, in rambutan, irrigation is a predominant factor because it is a crop highly susceptible to water scarcity, mainly affecting yield.

By contrast, Ferreyra, Selles, and Lemus (2002) indicate that possibly the water contained in the soil after the winter rains was sufficient and managed to meet the plant's water supply needs. In this study, it could also be correlated with the presence of favorable soil characteristics at the tree growth site, such as organic matter content and percentage of soil porosity. Arias-Cruz et al. (2016) indicate that, as in other tropical fruit trees, floral induction in rambutan is directly related to water supply, as well as a decrease in temperature, as occurs during the winter period. Additionally, Parra-Quezada et al. (2008) mention that the effect of water stress on fruits depends on the severity and time to which the plant is subjected to this condition.

Weight loss

Weight loss in rambutan fruits after harvest is gradual and constant, losing up to 7 % of their weight daily,

5 g de pulpa que fueron neutralizados con NaOH al 0.1 N. Se utilizó fenolftaleína como indicador.

Vitamina C (VC, mg·100 g⁻¹). Se estimó de acuerdo con el método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI (2,6-diclorofenol-indofenol).

Fenoles totales (FT, mg·100 g⁻¹). Se realizó la determinación mediante el método de Rathjen y Robinson (1992) con algunas modificaciones. Se homogenizó 1 g de pulpa con 25 mL de agua destilada. La solución se filtró, se tomaron 2 mL y se les adicionaron 4 mL de la solución de extracción metanol:cloroformo:agua (2:1:1) y se centrifugó a 2,200 rpm durante 15 min. Se tomó el sobrenadante, se le adicionaron 4 mL de la solución de extracción metanol:cloroformo:agua (2:1:1) y se centrifugó a 2,200 rpm durante 15 min. A esta mezcla se le agregaron 10 mL de NaCO_3 al 10 % y se colocaron a 38 °C por 15 min; de esta solución se tomó 1 mL y se le adicionó 1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu® (Sigma-Aldrich®) (1:1 en agua destilada), se dejó reposar 15 min en condiciones de oscuridad, donde se evaluó el cambio de absorbancia a 660 nm en espectrofotómetro (UNICO modelo 1100RS®). La cuantificación se realizó mediante una curva patrón de ácido tánico (Sigma-Aldrich®)

Análisis estadístico

Con excepción de las variables porcentaje de pérdida de peso y oscurecimiento del pericarpio, que se graficaron en función del tiempo, el resto se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) en el programa *Statistical Analysis System* (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Peso fresco

Como se observa en el Cuadro 2, los frutos provenientes de árboles sometidos a estrés hídrico presentaron mayor peso fresco (40.2 g; $P \leq 0.05$); lo que en primera instancia podría considerarse un resultado poco consistente. Sin embargo, en este caso, es importante señalar que en los árboles sometidos a sequía se observó, de manera frecuente, un número menor de frutos, pero con mayor tamaño individual. En este sentido, Tindall et al. (1994) mencionan que, en rambután, la aplicación de riego es un factor preponderante debido a que es un cultivo altamente susceptible a la escasez de agua, afectando principalmente el rendimiento.

En contraste, Ferreyra, Selles, y Lemus (2002) indican que, posiblemente, el agua contenida en el suelo después de las lluvias invernales fue suficiente y logró cubrir las necesidades de suministro de agua de la planta. En este estudio, también se pudo correlacionar

Table 2. Comparisons of means of different physical variables and postharvest behavior of fruits of rambutan trees subjected to different agronomic management systems.

Cuadro 2. Comparaciones de medias de diferentes variables físicas y de comportamiento postcosecha de frutos de árboles de rambután sometidos a distintos manejos agronómicos.

Treatment/ Tratamiento	FW ¹ (g)/ PF ¹ (g)	AT (mm)/ GA (mm)	PT (mm)/ GP (mm)	SL (cm)/ LE (cm)	NS/NE	SL (days)/ VA (días)
I/R	30.02 bc ^z	7.93 b	2.73 bc	1.28 c	314 ± 20.45	3.20 c
I+P/R+P	21.79 d	6.63 c	2.40 c	1.39 a	345 ± 23.67	3.40 c
I+G/R+A	27.79 bc	7.06 bc	2.80 bc	1.39 a	300 ± 20.10	3.93 b
I+P+G/R+P+A	28.81 bc	7.10 bc	2.63 bc	1.32 b	321 ± 27.80	3.13 c
WS/E	40.20 a	9.13 a	3.66 a	1.01 f	357 ± 22.90	4.93 a
WS+P/E+P	27.58 bc	6.70 c	3.03 b	1.12 e	368 ± 29.67	4.46 a
WS+G/E+A	26.30 c	7.96 b	2.66 bc	0.98 g	357 ± 20.45	4.73 a
WS+P+G/E+P+G	26.90 c	7.33 bc	2.73 bc	1.16 d	368 ± 28.67	4.56 a
CV (%)	17.38	11.66	15.64	10.36	-	15.38

¹FW = fresh weight, AT = aril thickness, PT = pericarp thickness, SL = spintern length, NS = number of spinterns, SL = shelf life, CV = coefficient of variation, I = irrigation, WS = water stress, P = pruning and G = girdling. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹PF = peso fresco, GA = grosor del arilo, GP = grosor del pericarpio, LE = longitud de los espiternos, NE = número de espiternos, VA = vida de anaquel, CV = coeficiente de variación, R = riego, E = estrés hídrico, P = poda y A = anillado. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

depending on temperature and relative humidity conditions (Landrigan, Morris, Eamus, & Mcglasson, 1996; Nakano, Ogura, Kubo, & Inaba, 2003). Figures 1 and 2 show the weight loss in fruits of rambutan trees subjected to different agronomic management systems, with fruits with water stress and its respective combinations, with pruning and girdling, having greater resistance to weight loss (up to 38 % in the case of water stress with pruning and 33 % only with water stress). On the other hand, fruits of trees subjected

con la presencia de características favorables propias del suelo en el sitio de crecimiento de los árboles, tales como el contenido de materia orgánica y el porcentaje de porosidad del suelo. Por su parte, Arias-Cruz et al. (2016) indican que, como ocurre en otros frutales tropicales, la inducción floral en rambután está directamente relacionada con el suministro de agua, así como una disminución de temperatura, tal como ocurre durante el periodo invernal. Adicionalmente, Parra-Quezada et al. (2008) mencionan que el efecto del

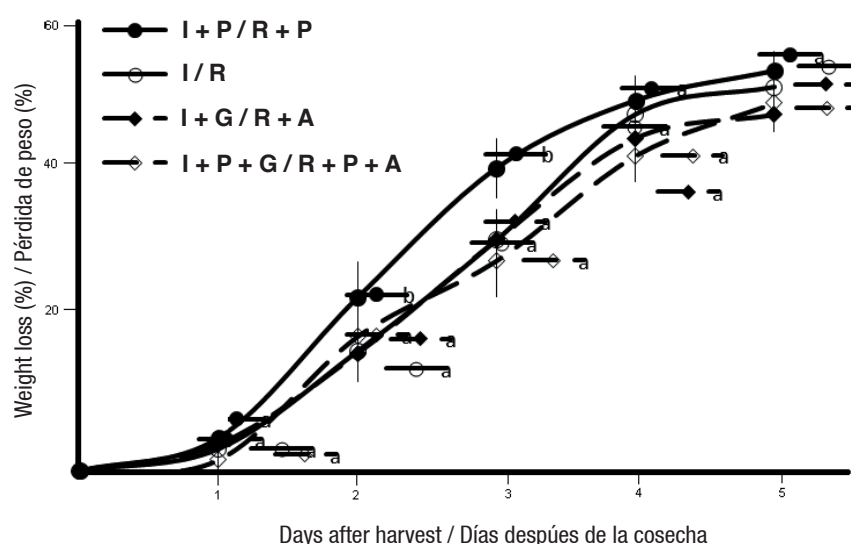


Figure 1. Weight loss in fruits of rambutan trees subjected to different agronomic management systems. I = irrigation, P = pruning and G = girdling.

Means with the same letter within each series do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figura 1. Pérdida de peso en frutos de rambután sometidos a diferentes manejos agronómicos. R = riego, P = poda y A = anillado.

Medias con la misma letra dentro de cada serie no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

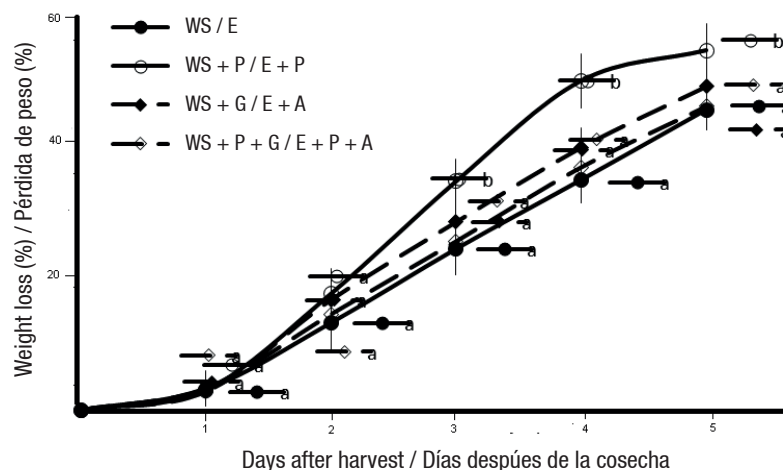


Figure 2. Weight loss in fruits of rambutan trees subjected to different agronomic managment systems. WS = water stress, P = pruning and G = girdling.

Means with the same letter within each series do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figura 2. Pérdida de peso en frutos de rambután sometidos a diferentes manejos agronómicos. E = estrés hídrico, P = poda y A = anillado.

Medias con la misma letra dentro de cada serie no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

to constant irrigation lost up to 43 % of their weight during the five days of evaluation, at a temperature and relative humidity of 30 ± 2 °C and 80 to 90 %, respectively.

Kaewchana, Niyomlao, and Kanlayanarat (2006) and Landrigan et al. (1996) found that the greatest weight loss (23 %) in rambutan occurs six days after harvest (dah), at 22 °C and 95 % relative humidity. However, the results of this research show that the loss was much greater, which could be due to the temperature (30 °C) and relative humidity (from 80 to 90 %) conditions to which the fruits were subjected during the five days of storage. The results are consistent with those reported by Burdon and Clark (2001), who observed that kiwifruit fruits that were well hydrated during the harvest had greater postharvest water loss than those that had been subjected to water stress during cultivation.

Pericarp and aril thickness

The I+P treatment showed the least thickness (2.4 mm), while WS+P and WS only presented the greatest pericarp thickness with 3.0 and 3.6 mm, respectively (Table 2). According to Caballero-Pérez et al. (2011) and van Welzen and Verheij (1991), in rambutan, the thickness of the pericarp is 2 to 4 mm, depending on the cultivar; in addition, some authors state that size, composition, and color are important marketing characteristics and that they define shelf life behavior (Aparecida-de Andrade, de Macedo-Lemos, Geraldo-Martins, de Paula, & Pitta-Junios, 2008; Hernández-Arenas et al., 2010). On the other hand, Huang et al. (2004) showed that litchi cv. Huaizhi fruits with thicker spongy tissue in the pericarp showed minor dehydration.

estrés hídrico en los frutos depende de la severidad y el tiempo que se someta la planta a dicha condición.

Pérdida de peso

La pérdida de peso en frutos de rambután después de la cosecha es gradual y constante, llegando a perder hasta 7 % del peso del fruto diariamente, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad relativa a la que se encuentra sometido (Landrigan, Morris, Eamus, & Mcglasson, 1996; Nakano, Ogura, Kubo, & Inaba, 2003). Las Figuras 1 y 2 muestran la pérdida de peso en frutos de rambután sometidos a los distintos manejos agronómicos, siendo los frutos con estrés hídrico y sus respectivas combinaciones, con poda y anillado, los que tuvieron mayor resistencia a la pérdida del mismo (hasta 38 % en el caso de estrés hídrico con poda y 33 % solo con estrés hídrico). Por otra parte, los frutos de árboles sometidos a riego constante perdieron hasta 43 % de su peso durante los cinco días de evaluación, a temperatura y humedad relativa de 30 ± 2 °C y de 80 a 90 %, respectivamente.

Kaewchana, Niyomlao, y Kanlayanarat (2006) y Landrigan et al. (1996) encontraron que la mayor pérdida de peso (23 %) en rambután se produce a los seis días después de la cosecha (ddc), a 22 °C y 95 % de humedad relativa. No obstante, los resultados de esta investigación muestran que la pérdida fue mucho mayor; lo que pudo deberse a las condiciones de temperatura (30 °C) y humedad relativa (de 80 a 90 %) a las que estuvieron sometidos los frutos durante los cinco días de almacenamiento. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Burdon y Clark (2001),

On the other hand, aril thickness is a very important characteristic for the commercialization and acceptance of rambutan fruits in the market, since it is the edible part of the fruit. This variable had significant differences between treatments with water stress and with constant irrigation. Table 2 shows that fruits subjected to drought produced greater aril thickness, while with the other management methods there was no significant statistical difference ($P \leq 0.05$) in relation to this variable.

Number and length of spinterns

The NS varied from 300 to 368, without showing significant statistical differences ($P \leq 0.05$) among treatments (Table 2). Their size varied greatly, which is associated with the heterogeneity of the crop in the production area. Previous studies have shown that the fruit's morphology affects the loss of the characteristic red color, due to the presence of stomata in the spinterns that allows water to escape from the fruit (Avendaño-Arrazate, Arévalo-Galarza, Sandoval-Esquivel, & Caballero-Pérez, 2011; Caballero-Pérez et al., 2011; Wongs & Kanlayanarat, 2005). These results contrast with those results obtained in the present study, since the fruits subjected to water stress have practically the same number of spinterns and, nevertheless, a smaller weight loss was obtained during the five days of storage (Figures 3 and 4). On the other hand, the length of the spinterns was greater for the I+P and I+G treatments (1.39 cm in both cases, Table 2), values that exceeded those obtained by Caballero-Pérez et al. (2011), who report lengths ranging from 1.07 to 1.19 cm.

Pericarp browning and shelf life

With the irrigation treatment, pericarp browning started from the second dah, while in the fruits subjected to water stress it was noticed on the third dah. On the other hand, shelf life was prolonged one day when stored at 30 ± 3 °C and 80-90 % relative humidity (Table 2; Figures 3 and 4). Caballero-Pérez et al. (2011) showed that the oxidation of rambutan fruits can vary according to the variety. Among their studied selections, RI-115 presented 30 % oxidation at two dah, RI-148 at three dah and RI-104 at four dah, this under conditions of 95 % relative humidity, 22 °C and 1 atm.

Although the edible part of the fruit is not affected, oxidation causes it to lose quality and commercial acceptance. The results of the present study suggest that rambutan fruits subjected to water deficit have a higher number of solutes that allow them to increase the pressure of the solutes and to counteract the effects of the vapor pressure caused by the environment, thus allowing the dehydration to occur gradually (del Ángel-Pérez, Adame-García, & Villagómez-del Ánge, 2014;

quienes observaron que los frutos de kiwi que estaban bien hidratados durante la cosecha presentaron pérdida poscosecha de agua mayor que aquellos que habían sido sometidos a estrés hídrico durante su cultivo.

Grosor de pericarpio y del arilo

El tratamiento R+P mostró el menor grosor (2.4 mm); mientras que E+P y E solamente presentaron mayor grosor del pericarpio con 3.0 y 3.6 mm, respectivamente (Cuadro 2). Según Caballero-Pérez et al. (2011) y van Welzen y Verheij (1991), en rambután, el grosor del pericarpio es de 2 a 4 mm, dependiendo del cultivar; además, algunos autores citan que el tamaño, la composición y el color son características importantes para la comercialización y que éstos definen el comportamiento de vida de anaquel (Aparecida-de Andrade, de Macedo-Lemos, Geraldo-Martins, de Paula, & Pitta-Junios, 2008; Hernández-Arenas et al., 2010). Por su parte, Huang et al. (2004) mostraron que los frutos de litchi cv. Huaizhi con tejido esponjoso más grueso en el pericarpio presentaron deshidratación menor.

Por otro lado, el grosor del arilo es una característica muy importante para la comercialización y la aceptación de los frutos de rambután en el mercado, ya que es la parte comestible del fruto. Esta variable tuvo diferencias significativas entre los tratamientos con estrés hídrico y con riego constante. En el Cuadro 2, se observa que los frutos sometidos a sequía produjeron mayor grosor del arilo; mientras que con las otras formas de manejo no hubo diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) en relación con esta variable.

Número y longitud de espiternos

El NE varió de 300 a 368, sin mostrar diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 2). Su tamaño tuvo mucha variación, lo que se asocia a la heterogeneidad del cultivo en la zona de producción. Estudios previos han mostrado que la morfología del fruto afecta la pérdida del color rojo característico, debido a la presencia de estomas en los espiternos que permiten la salida de agua del fruto (Avendaño-Arrazate, Arévalo-Galarza, Sandoval-Esquivel, & Caballero-Pérez, 2011; Caballero-Pérez et al., 2011; Wongs & Kanlayanarat, 2005). Dichos resultados contrastan con lo obtenido en el presente trabajo, ya que los frutos sometidos a estrés hídrico poseen prácticamente la misma cantidad de espiternos y, sin embargo, se obtuvo una pérdida de peso menor durante los cinco días de almacenamiento (Figuras 3 y 4). Por otra parte, la longitud de los espiternos fue mayor para los tratamientos de R+P y R+A (1.39 cm en ambos casos, Cuadro 2), valores que superaron a los obtenidos por Caballero-Pérez et al. (2011), quienes reportan un rango de longitud de 1.07 a 1.19 cm.

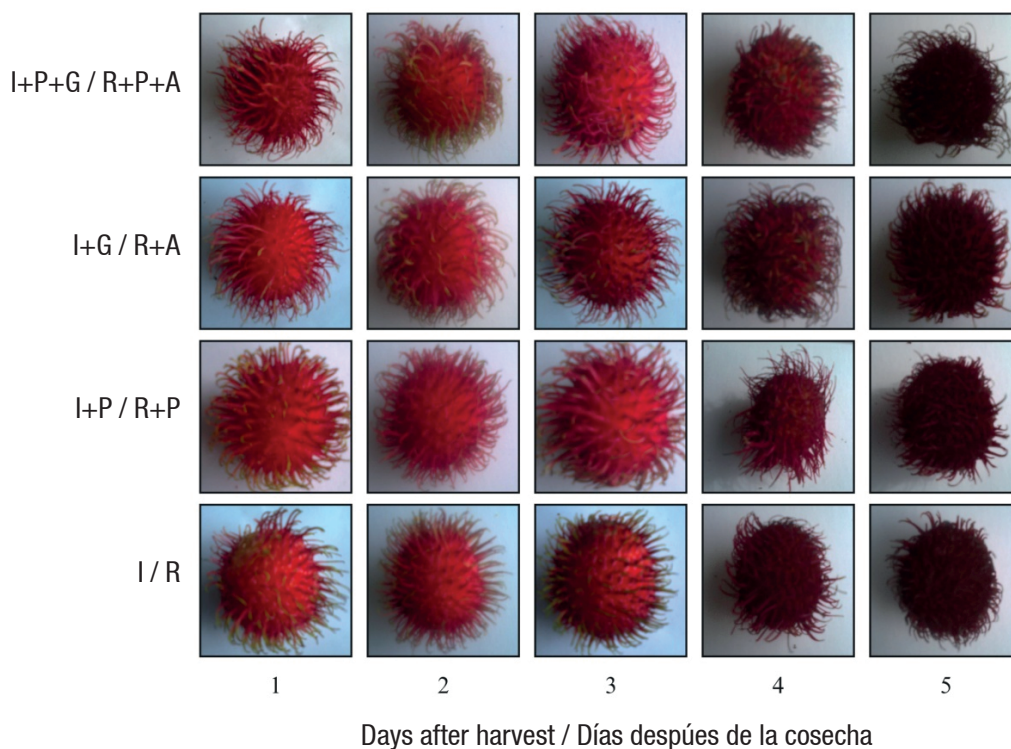


Figure 3. Pericarp browning in fruits of rambutan trees subjected to different agronomic management systems, stored at 30 ± 3 °C and 80-90 % relative humidity. I = irrigation, P = pruning and G = girdling.

Figura 3. Oscurecimiento del pericarpio en frutos de rambután sometidos a distintos manejos agronómicos, almacenados a 30 ± 3 °C y de 80 a 90 % de humedad relativa. R = riego, P = poda y A = anillado.

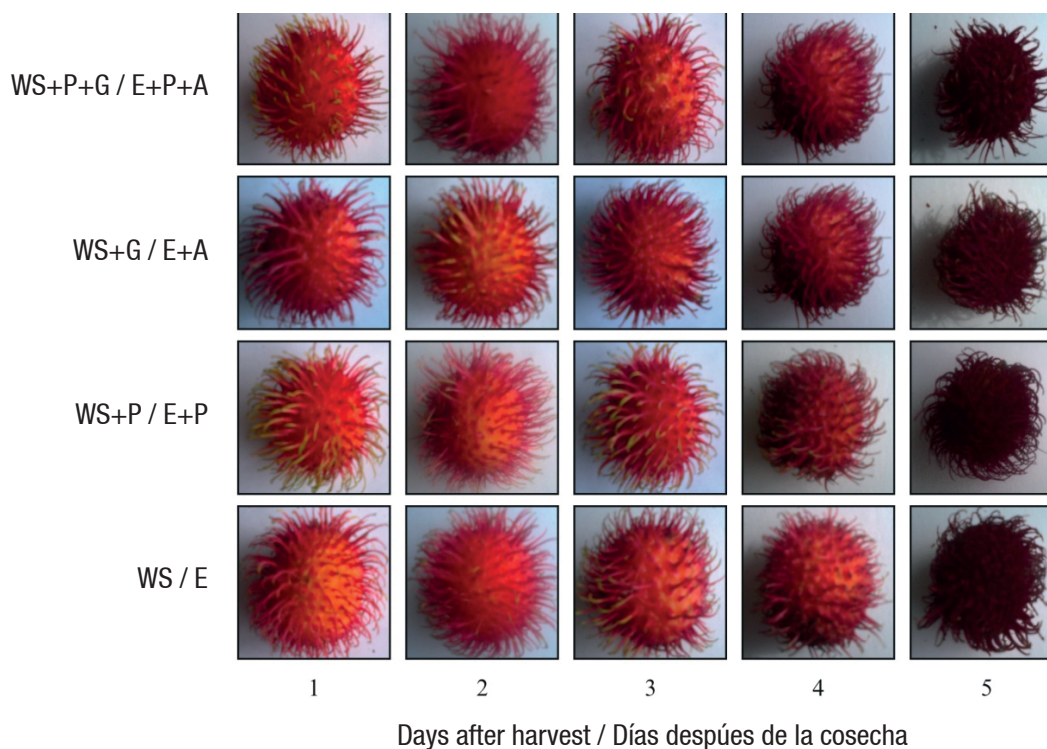


Figure 4. Pericarp browning in fruits of rambutan trees subjected to different agronomic management systems, stored at 30 ± 3 °C and 80-90 % relative humidity. WS = water stress, P = pruning and G = girdling.

Figura 4. Oscurecimiento del pericarpio en frutos de rambután sometidos a distintos manejos agronómicos, almacenados a 30 ± 3 °C y de 80 a 90 % de humedad relativa. E = estrés hídrico, P = poda y A = anillado.

Yingsanga, Srilaong, & Kanlayanarat, 2006). This is consistent with what was indicated by Kaewchana et al. (2006), who mention that weight loss in rambutan and litchi is closely related to the dehydration of the fruit; similarly, they indicate that pericarp browning is proportional to weight loss (Figures 3 and 4).

Total soluble solids

The concentration of TSS had significant statistical differences ($P \leq 0.05$) between the constant irrigation and water stress treatments, and even between the combinations with other agronomic practices (Table 3). The rambutan fruits subjected to water stress had more TSS (between 20 and 22 °Brix) than fruits with constant irrigation (between 18 and 19 °Brix). The results agree with those reported by Caballero-Pérez et al. (2011), del Ángel-Pérez et al. (2014) and Hernández-Arenas et al. (2010), who found, depending on the cultivar, a concentration of TSS in the range of 17 to 21 °Brix at maturity.

Total sugars

Significant statistical differences ($P \leq 0.05$) were also recorded in this variable. Fruits subjected to water stress had values between 343.60 and 423.93 mg·100 g⁻¹,

Oscurecimiento del pericarpio y vida de anaquel

Con el tratamiento de riego, el OP inició desde el segundo ddc; mientras que en los frutos sometidos a estrés hídrico se notó al tercer ddc. Por otro lado, la VA se prolongó un día al almacenarse a 30 ± 3 °C y humedad de 80 a 90 % (Cuadro 2; Figuras 3 y 4). Caballero-Pérez et al. (2011) demostraron que la oxidación de frutos de rambután puede variar según la variedad. Dentro de sus selecciones estudiadas, RI-115 presentó 30 % de oxidación a los dos ddc, la RI-148 a los tres ddc y la RI-104 a los cuatro ddc; esto en condiciones de 95 % de humedad relativa, 22 °C y 1 atm.

Aunque la parte comestible del fruto no se ve afectada, con la oxidación se pierde calidad y aceptación comercial. Los resultados del presente estudio sugieren que los frutos de rambután sometidos a déficit hídrico poseen una cantidad mayor de solutos que les permite aumentar la presión de los solutos y contrarrestar los efectos de la presión de vapor propiciada por el ambiente, permitiendo así que la deshidratación ocurra gradualmente (del Ángel-Pérez, Adame-García, & Villagómez-del Ánge, 2014; Yingsanga, Srilaong, & Kanlayanarat, 2006). Esto concuerda con lo indicado por Kaewchana et al. (2006), los cuales mencionan que la pérdida de peso en rambután y litchi está estrechamente

Table 3. Comparisons of means of the biochemical composition of rambutan fruits from trees subjected to different agronomic management systems.

Cuadro 3. Comparaciones de medias de la composición bioquímica de frutos de rambután de árboles sometidos a distintos manejos agronómicos.

Treatment/ Tratamiento	TSS ¹ (°Brix)/ SST (°Brix)	TS (mg·100 g ⁻¹)/ AzT (mg·100 g ⁻¹)	TA (% malic acid)/ AT (% ac. málico)	VC (mg·100 g ⁻¹)	TP (mg·100 g ⁻¹)/ FT (mg·100 g ⁻¹)
I/R	19.25 bc ^z	246.66 cd	0.417 b	13.90 b	1.39 c
I+P/R+P	18.41 c	203.13 d	0.296 cd	19.43 b	1.39 c
I+G/R+A	19.80 bc	234.16 dc	0.379 bc	17.13 b	1.42 c
I+P+G/R+P+A	18.88 bc	189.90 d	0.577 a	12.68 b	1.22 c
WS/E	22.62 a	372.46 ab	0.306 bc	37.79 a	2.31 a
WS+P/E+P	20.48 b	307.28 bc	0.355 bc	12.63 b	1.85 b
WS+G/E+A	21.39 a	423.93 a	0.196 d	39.90 a	2.33 a
WS+P+G/E+P+A	20.33 b	343.60 ab	0.27 c	14.23 b	1.98 b
CV (%)	8.31	30.54	15.87	29.28	6.49

¹TSS = total soluble solids, TS = total sugars, TA = titratable acidity, VC = vitamin C, TP = total phenols, CV = coefficient of variation, I = irrigation, WS = water stress, P = pruning and G = girdling. ^zMeans with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹SST = sólidos solubles totales, AzT = azúcares totales, AT = acidez titulable, VC = vitamina C, FT = fenoles totales, CV = coeficiente de variación, R = riego, E = estrés hídrico, P = poda y A = anillado. ^zMedias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

while fruits with constant irrigation had values from 189.90 to 246.66 mg·100 g⁻¹ (Table 3). The I+P and I+P+G treatments had the least amount of TS (203.13 and 189.90 mg·100 g⁻¹, respectively); however, these values were similar to those reported in rambutan by Paull and Chen (1987), with 201 mg·100 g⁻¹ at the time of harvest.

Titratable acidity

TA showed significant statistical differences ($P \leq 0.05$) between treatments with constant irrigation and with water stress, specifically between I+P+G and WS+G, which had the maximum (0.577 %) and minimum (0.196 %) titratable acidity, respectively (Table 3). In the other treatments, TA was between 0.27 and 0.41 %, similar to that reported in rambutan cv. 'Rongrien' (0.3 to 0.4 %) (Caballero-López et al., 2011; Harjadi & Tahitoe, 1992).

Vitamin C

Fruits from trees with constant irrigation had VC values ranging from 12.68 to 19.43 mg·100 g⁻¹ and those treated with I+P and WS+P+G obtained 12.63 and 14.23 mg·100 g⁻¹, respectively. However, the fruits of the treatment with only water stress had 37.79 mg·100 g⁻¹ and with WS+G 39.90 mg·100 g⁻¹ (Table 3). In general, VC results were low.

The ascorbic acid content has been reported for different cultivars such as 'R9' (22.02 mg·100 g⁻¹), characterized by being one of the cultivars with a lower VC content. Values of 38.12 and 39.34 mg·100 g⁻¹ have been found in 'Jitlee' and 'Rongrien' respectively (Wall, 2006). The latter two coincide with the results obtained in the fruits with WS+G.

Total phenols

All trees subjected to constant irrigation had from 1.22 to 1.42 mg·100 g⁻¹ of TP. These results agree with those reported by Gorinstein et al. (1999), who demonstrated that the amount of TP in fruits of rambutan var. 'Rongrien' was 1.66 mg·100 g⁻¹. On the contrary, fruits subjected to WS, WS+P and WS+G presented almost double that amount (between 1.85 and 2.33 mg·100 g⁻¹, Table 3).

Conclusions

The temporary lack of water (water stress) combined with pruning and girdling favored fruit size and shelf life. It also increased the concentration of bioactive compounds such as vitamin C and total phenols in fruits, which had a lower percentage of acidity and greater sweetness (°Brix). These physical and biochemical characteristics are considered important for the marketing of rambutan fruit as a product for fresh consumption.

relacionada con la deshidratación del fruto; de igual manera, indican que el oscurecimiento del pericarpio es proporcional a la pérdida de peso (Figuras 3 y 4).

Sólidos solubles totales

La concentración de SST tuvo diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos de riego constante y estrés hídrico, e incluso entre las combinaciones con otras prácticas agronómicas (Cuadro 3). Los frutos de rambutan sometidos a estrés hídrico presentaron mayor cantidad de SST (entre 20 y 22 °Brix) que los frutos con riego constante (entre 18 y 19 °Brix). Los resultados concuerdan con lo reportado por Caballero-Pérez et al. (2011), del Ángel-Pérez et al. (2014) y Hernández-Arenas et al. (2010), quienes encontraron, dependiendo del cultivar, una concentración de SST en el intervalo de 17 a 21 °Brix en la madurez.

Azúcares totales

En esta variable también se registraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). Los frutos sometidos a estrés hídrico presentaron valores entre 343.60 y 423.93 mg·100 g⁻¹; mientras que los frutos con riego constante tuvieron de 189.90 a 246.66 mg·100 g⁻¹ (Cuadro 3). Los resultados de los tratamientos R+P y R+P+A fueron los de menor cantidad de AzT (203.13 y 189.90 mg·100 g⁻¹, respectivamente); sin embargo, dichos valores fueron similares a los reportados en rambutan por Paull y Chen (1987), con 201 mg·100 g⁻¹ al momento de la cosecha.

Acidez titulable

La AT presentó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con riego constante y con estrés hídrico, específicamente entre R+P+A y E+A, los cuales tuvieron la máxima (0.577 %) y mínima (0.196 %) acidez titulable, respectivamente (Cuadro 3). En los otros tratamientos la AT resultó entre 0.27 y 0.41 %; similar a lo reportado en rambutan cv. 'Rongrien' (0.3 a 0.4 %) (Caballero-López et al., 2011; Harjadi & Tahitoe, 1992).

Vitamina C

Los frutos de los árboles con riego constante oscilaron entre 12.68 y 19.43 mg·100 g⁻¹ de VC y los tratados con E+P y E+P+A obtuvieron 12.63 y 14.23 mg·100 g⁻¹, respectivamente. No obstante, los frutos del tratamiento solo con estrés hídrico tuvieron 37.79 mg·100 g⁻¹ y con E+A 39.90 mg·100 g⁻¹ (Cuadro 3). En general, los resultados de VC fueron bajos.

Se ha reportado el contenido de ácido ascórbico para diferentes cultivares como 'R9' (22.02 mg·100 g⁻¹),

Acknowledgments

The authors thank the Rosario Izapa Experimental Field of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP) and the Plant Science Department of the *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH) for the economic and technical support provided to carry out this research.

End of English version

References / Referencias

- Aparecida-de Andrade, R., de Macedo-Lemos, E. G., Geraldo-Martins, A. B., de Paula, R. C., & Pitta-Junios, J. L. (2008). Caracterização morfológica e química de frutos de rambután. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4), 958-963. doi: 10.1590/SO100-29452008000400020
- Arias-Cruz, M. E., Velásquez-Ramírez, H. A., Mateus-Cagua, D., Chaparro-Zambrano, H. N., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2016). El rambután (*Nephelium lappaceum*), frutal asiático con potencial para Colombia: avances de la investigación en el piedemonte del Meta. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 262-272. doi: 10.17584/rcch.2016v10i2.5761
- Association of Official Analytical Chemists, International. (1990). *Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, USA: AOAC. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.law.aoac.methods.1.1990>
- Avendaño-Arrazate, C. H., Arévalo-Galarza, M. L., Sandoval-Esquivez, A., & Caballero-Pérez, J. F. (2011). El rambután (*Nephelium lappaceum*) un cultivo con amplio potencial de exportación en el sur de México. *Agroproductividad*, 4(2), 9-17. Retrieved from <http://www.colpos.mx/wb/index.php/agroproductividad/agroproductividad-2011#WZcmlHylUk>
- Burdon, J., & Clark, C. (2001). Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. *Postharvest Biology and Technology*, 22(3), 215-225. doi: 10.1016/S0925-5214(01)00095-3
- Caballero-Pérez, J. F., Arévalo-Galarza, M. L., Avendaño-Arrazate, C. H., Cadena-Iñiguez, J., Valdovinos-Ponce, G., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Cambios físicos y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 31-38. doi: 10.5154/r.rchsh.2011.17.005
- Crane, J. H., Zee, F., Bender, G. S., Faber, B., Brunner, B., & Chia, C. L. (2005). Commercial Sapindaceous fruit production. *Acta Horticulturae*, 665, 93-104. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.665.11
- Del Ángel-Pérez, A. L., Adame-García, J., & Villagómez-del Ángel, T. E. (2014). Características sensoriales y físico-químicas de seis clones de rambután (*Nephelium lappaceum* L.), como indicadores del potencial de cultivo en Veracruz, México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 31(2), 253-273. Retrieved from http://revfacagronluz.org.ve/PDF/abril_junio2014/v31n2a2014253273.pdf
- Ferreira, E. R., Selles, V. G., & Lemus, S. G. (2002). Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv. Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las planta. *Agricultura Técnica*, 62(4), 565-573. doi: 10.4067/S0365-28072002000400008
- Gorinstein, S., Zemser, M., Harvenkit, R., Chuthakorn, R., Graver, F., Martin-Belloso, O., & Trakhtenborg, S. (1999). Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 10(6), 367-371. doi: 10.1016/S0955-2863(99)00017-0
- Harjadi, S., & Tahitoe, D. (1992). The effects of plastic film bags at low temperature storage on prolonging the shelf-life of rambutan (*Nephelium lappaceum*) cv Lebak

caracterizado por ser uno de los cultivares con contenido de VC más bajo. En 'Jitlee' y 'Rongrien' se han encontrado valores de 38.12 y 39.34 mg·100 g⁻¹, respectivamente (Wall, 2006). Estos últimos concuerdan con los resultados obtenidos en los frutos con E+A.

Fenoles totales

Todos los árboles sometidos a riego constante presentaron de 1.22 a 1.42 mg·100 g⁻¹ de FT. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gorinstein et al. (1999), quienes demostraron que la cantidad de FT en frutos de rambután var. 'Rongrien' era de 1.66 mg·100 g⁻¹. Por el contrario, los frutos sometidos a E, E+P y E+A presentaron casi el doble (entre 1.85 y 2.33 mg·100 g⁻¹, Cuadro 3).

Conclusiones

La falta temporal de agua (estrés hídrico) combinada con poda y anillado favoreció el tamaño de fruto y su vida de anaquel. Estas mismas condiciones incrementaron la concentración de compuestos bioactivos como vitamina C y fenoles totales, aunado a la presencia de frutos con menor porcentaje de acidez y mayor dulzor (°Brix). Dichas características físicas y bioquímicas son consideradas importantes para la comercialización del fruto de rambután como producto para consumo en fresco.

Agradecimientos

Al Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) por el apoyo económico y técnico para la realización de la presente investigación.

Fin de la versión en español

- Bulus. *Acta Horticulturae*, 321, 778-781. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.321.98
- Hernández-Arenas, M., Nieto-Ángel, D., Martínez-Damián, M. T., Teliz-Ortiz, D., Nava-Díaz, C., & Bautista-Martínez, N. (2012). Almacenamiento postcosecha de rambutan en dos temperaturas y atmósferas modificadas. *Interciencia*, 37(7), 542-546. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925376009>
- Hernández-Arenas, M., Nieto-Ángel, D., Martínez-Damián, M. T., Teliz-Ortiz, D., Nava-Díaz, C., & Bautista-Martínez, N. (2010). Characterization of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruits from outstanding mexican selections. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(4), 1098-1104. doi: 10.1590/S0100-29452011005000004
- Huang, X. M., Yuan, W. Q., Wang, H. C., Li, J. G., Huang, H. B., Shi, L., & Jinhua, Y. (2004). Linking cracking resistance and fruit desiccation rate to pericarp structure in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 897-905. doi: 10.1080/14620316.2004.11511863
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Estado de Chiapas*. Ciudad de México, México: Secretaría de Gobernación. Retrieved from <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07037a.html>
- Kaewchana, R., Niyomlao, W., & Kanlayanarat, S. (2006). Relative humidity influences pericarp browning of litchi cv. 'Hong Huay'. *Acta Horticulturae*, 712, 823-827. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.712.107
- Landrigan, S. C., Morris, M., Eamus, D., & Mcglasson, W. B. (1996). Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Scientia Horticulturae*, 66(3-4), 201-208. doi: 10.1016/S0304-4238(96)00915-6
- Melvin, A. T., & Calvo, I. V. (2014). *El cultivo de rambután (Nephelium lappaceum L.) o mamón chino*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Retrieved from <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00353.pdf>
- Nakano, R., Ogura, E., Kubo, Y., & Inaba, A. (2003). Ethylene biosynthesis in detached Young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiology*, 131(1), 276-286. doi: 10.1104/pp.010462
- Osuna-García, J. A., Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., & Urías López, M. A. (2009). Alternativa comercial para extender vida de anaquel de papaya 'Maradol'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 199-204. doi: 10.5154/r.rchsh.2009.15.027
- Parra-Quezada, R. A., Robison, T. L., Osborne, J., & Parra-Bujanda, L. B. (2008). Efecto de carga de frutos y déficit hídrico en la calidad y producción de manzana. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 49-54. doi: 10.5154/r.rchsh.2006.02.014
- Paull, R. E., & Chen, N. J. (1987). Changes in longan and rambutan during postharvest storage. *Hortscience*, 22(6), 1303-1304. Retrieved from <https://eurekamag.com/request/index1.php>
- Pérez-Romero, A., & Jürgen-Pohlen, A. (2004). Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología*, 20(3), 24-26. Retrieved from <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-20-numero-3/2092-practicas-de-cosecha-y-poscosecha-del-rambutan-en-el-soconusco-chiapas-mexico>
- Rathjen, A. H., & Robinson, S. P. (1992). Characterisation of a variegated grapevine mutant showing reduced polyphenol oxidase activity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 19(1), 43-54. doi: 10.1071/PP9920043
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en 2015*. Retrieved from http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2002). *Software product support manual, ver. 9.0*. Cary, N. C.: Author.
- Tindall, H. D., Menini, U. G., & Hodder, A. J. (1994). *Rambutan cultivation*. Italia: FAO Plant production and protection paper.
- Van Welzen, P. C., & Verheij, E. W. M. (1991). *Nephelium lappaceum* L. In: Verheij, E. W. M., & Coronel, R. E. (Eds.), *Plant Resources of South-East Asia. No. 2. Edible fruits and nuts* (pp. 65-75). Wageningen, Netherlands: Pudoc.
- Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid and mineral composition of longan (*Dimocarpus longan*), lychee (*Litchi chinensis*) and rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (6-7), 655-663. doi: 10.1016/j.jfca.2005.12.001
- Wongs, A. C., & Kanlayanarat, S. (2005). CaCl₂ applications on storage quality of rambutan. *Acta Horticulturae*, 687, 213-217. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.687.26
- Yingsanga, P., Srilaong, V., & Kanlayanarat, S. (2006). Morphological differences associated with water loss in rambutan fruit cv. 'Rongrien' and 'See-Chompoo'. *Acta Horticulturae*, 712, 453-459. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.712.54