

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**SANDÍA: CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DURANTE SU  
ALMACENAMIENTO REFRIGERADO**

**por**

**Mónica KAETSU TORII**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2025**

**Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia  
“Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada”.**



**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobada por:

Director: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. Dra. Fernanda Zaccari

Tribunal: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. Dra. Ana Cecilia Silveira

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Mag. Federico Boschi

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Dra. Fernanda Zaccari

Fecha: 6 de mayo de 2025

Autor: \_\_\_\_\_

Mónica Kaetsu Torii

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Ing. Agr. Dra. Fernanda Zaccari por su tiempo, orientación y dedicación de compartir sus conocimientos en este trabajo final de grado y además a la Ing. Agr. Dra. Ana Cecilia Silveira por sus aportes y al personal del Laboratorio Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Agronomía por su colaboración.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PÁGINA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 <i>Objetivo general.....</i>	13
1.1.2 <i>Objetivos específicos .....</i>	13
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 IMPORTANCIA DE LA SANDÍA EN URUGUAY.....	14
2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ESPECIE.....	16
2.2.1 <i>Origen, taxonomía, descripción y requerimientos ambientales de la planta</i> .....	16
2.2.2 <i>Morfología y estructura del fruto.....</i>	17
2.2.2.1 <i>Características del fruto.....</i>	17
2.2.3 <i>Composición nutricional.....</i>	19
2.2.4 <i>Usos del fruto.....</i>	19
2.2.5 <i>Compuestos bioactivos en el fruto de sandía.....</i>	21
2.2.5.1 <i>Los carotenoides .....</i>	22
2.2.5.2 <i>Los compuestos fenólicos y métodos para su determinación .....</i>	23
2.2.5.3 <i>Otros compuestos bioactivos.....</i>	26
2.3 CRECIMIENTO Y MADURACIÓN DE LOS FRUTOS.....	26
2.4 FISIOLÓGÍA POSCOSECHA DEL FRUTO.....	28
2.4.1 <i>Madurez de fruto.....</i>	28
2.5 CAMBIOS EN EL FRUTO DURANTE LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA ...	30
2.5.1 <i>Pérdida de peso.....</i>	30
2.5.2 <i>Peso específico.....</i>	31
2.5.3 <i>Color de cáscara y de pulpa.....</i>	32
2.5.4 <i>Textura: firmeza y jugosidad de pulpa.....</i>	33

2.5.5	Sólidos solubles totales (SST) .....	35
2.5.6	pH y acidez titulable (AT) .....	35
2.6	PRINCIPALES ALTERACIONES DE LA CALIDAD EN POSCOSECHA .....	36
2.7	ALMACENAMIENTO REFRIGERADO .....	39
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1	MATERIAL VEGETAL .....	41
3.2	DETERMINACIÓN DE VARIABLES .....	42
3.2.1	<i>Pérdida de peso</i> .....	42
3.2.2	<i>Aspecto general externo de fruto</i> .....	43
3.2.3	<i>Temperatura del fruto</i> .....	44
3.2.4	<i>Dimensiones y peso específico</i> .....	45
3.2.5	<i>Color de cáscara y de pulpa</i> .....	46
3.2.6	<i>Aspecto general de pulpa</i> .....	49
3.2.7	<i>Textura: firmeza y jugosidad de pulpa</i> .....	51
3.2.8	<i>Sólidos solubles totales (SST)</i> .....	51
3.2.9	<i>Jugo de pulpa</i> .....	51
3.2.10	<i>pH y acidez titulable (AT)</i> .....	52
3.2.11	<i>Carotenoides totales y licopeno</i> .....	53
3.2.12	<i>Polifenoles totales (PT)</i> .....	54
3.2.13	<i>Capacidad antioxidante total (CAT)</i> .....	54
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	55
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
4.1	PÉRDIDA DE PESO .....	57
4.2	ASPECTO GENERAL EXTERNO DE FRUTO .....	58
4.3	TEMPERATURA DEL FRUTO.....	60
4.4	DIMENSIONES Y PESO ESPECÍFICO DE LOS FRUTOS.....	61
4.5	COLOR DE CÁSCARA Y DE PULPA.....	62
4.6	ASPECTO GENERAL DE PULPA.....	65
4.7	TEXTURA: FIRMEZA Y JUGOSIDAD DE PULPA.....	66
4.8	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) .....	68
4.9	JUGO DE PULPA .....	69
4.10	PH Y ACIDEZ TITULABLE (AT) .....	70
4.11	CAROTENOIDES TOTALES Y LICOPENO.....	71
4.12	POLIFENOLES TOTALES (PT) .....	74

4.13 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL (CAT) .....	77
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> <i>Composición química en 100 g de porción comestible de sandía</i> .....	19
<b>Tabla 2</b> Aspecto general externo del fruto .....	44
<b>Tabla 3</b> Aspecto general de pulpa .....	50
<b>Tabla 4</b> Temperatura del fruto a 2, 5 y 10 cm de profundidad según tiempo de conservación.....	61
<b>Tabla 5</b> Peso específico de los frutos según tiempo de conservación .....	62
<b>Tabla 6</b> Luminosidad, Tono y Croma en la zona de apoyo según tiempo de conservación.....	63
<b>Tabla 7</b> Luminosidad, Tono y Croma en el color de fondo según tiempo de conservación.....	63
<b>Tabla 8</b> Luminosidad, Tono y Croma en el sobrecolor según tiempo de conservación.....	64
<b>Tabla 9</b> Luminosidad, Tono y Croma en el color de pulpa según tiempo de conservación.....	65
<b>Tabla 10</b> Firmeza (N) en la pulpa según tiempo de conservación.....	67
<b>Tabla 11</b> Jugo de pulpa (%) según tiempo de conservación .....	70
<b>Tabla 12</b> pH y acidez titulable (% ácido málico) en jugo de pulpa según tiempo de conservación.....	71
<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Zona de producción y mercado principal .....	15
<b>Figura 2</b> Estructura interna del fruto de sandía.....	18
<b>Figura 3</b> Frutos almacenados en la cámara refrigerada .....	42
<b>Figura 4</b> Zonas de medición de la temperatura en pulpa del fruto .....	45
<b>Figura 5</b> Zonas de color en el fruto.....	48
<b>Figura 6</b> Zonas de muestreo para determinación de color de pulpa .....	49
<b>Figura 7</b> Pérdida de peso fresco (%) en fruto entero según tiempo de conservación ..	58
<b>Figura 8</b> Aspecto general externo de fruto según tiempo de conservación.....	59
<b>Figura 9</b> Sonido emitido al golpear los frutos enteros según tiempo de conservación ..	60
<b>Figura 10</b> Aspecto general de pulpa según tiempo de conservación .....	66
<b>Figura 11</b> Jugosidad en la pulpa (%) según tiempo de conservación .....	68
<b>Figura 12</b> Sólidos solubles totales (°Brix) en el jugo de pulpa según tiempo de conservación.....	69

<b>Figura 13</b> Carotenoides totales (mg/100 g PF) según tiempo de conservación .....	72
<b>Figura 14</b> Licopeno (mg/100 g PF) según tiempo de conservación .....	73
<b>Figura 15</b> Relación licopeno/carotenoides totales (%) según tiempo de conservación	74
<b>Figura 16</b> Polifenoles totales (mg AGE 100 g <sup>-1</sup> PF) según tiempo de conservación ...	76
<b>Figura 17</b> Capacidad antioxidante total (método DPPH) según tiempo de conservación .....	77
<b>Figura 18</b> Capacidad antioxidante total (método ABTS) según tiempo de conservación .....	78
<b>Figura 19</b> Capacidad antioxidante total (método FRAP) según tiempo de conservación .....	79

## RESUMEN

La sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai] es una de las principales frutas comercializadas y demandadas en el verano. En el año 2023 ingresaron al principal mercado mayorista de Montevideo la Unidad Agroalimentaria Metropolitana (UAM) 7.493 toneladas de sandía, de las cuales 6.443 provenían del departamento de Rivera, principal zona de producción en Uruguay. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad poscosecha de los frutos de sandía comercializados en la UAM, bajo condiciones refrigeradas (11 °C y 98% HR) al inicio (0 días), a los 7, 14, 21 y 28 días. En todos los momentos de salida de los frutos de la cámara se evaluó el efecto del tiempo de la conservación refrigerada sobre la pérdida de peso, el aspecto general externo, el peso específico, el color de cáscara del fruto y de pulpa, el aspecto general de pulpa, la firmeza y jugosidad de pulpa, sólidos solubles totales (SST), el contenido de jugo, pH y acidez titulable (AT), el contenido de carotenoides totales y licopeno, polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante total (CAT). El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos (0, 7, 14, 21 y 28 días). Las sandías fueron almacenadas al azar en la cámara refrigerada (41 frutos) y en cada momento de muestreo se analizó 8 frutos (repetición) seleccionados aleatoriamente y se consideró como factor el tiempo (días). Los resultados fueron que algunos atributos físicos y químicos en los frutos de sandía permanecieron incambiados durante los 28 días, como las dimensiones, peso específico, el color de cáscara, la firmeza, el contenido de SST, pH, AT y el porcentaje de jugo de pulpa. Mientras que otros se modificaron como la pérdida de peso, el aspecto general externo de fruto y de pulpa. El color de pulpa fue de un tono rojo oscuro hasta los 7 días modificándose a un tono menos rojo y más claro, indicando sobremadurez y/o deterioro de la calidad y a su vez, disminuyendo el contenido de carotenoides totales y licopeno. El contenido de PT aumentó un 36% en la última semana de conservación. La CAT medida por el método DPPH disminuyó un 57% mientras que, por los métodos ABTS y FRAP presentó leves modificaciones. El contenido de compuestos de interés nutricional y/bioactivos que aportan al color de la pulpa y a la capacidad antioxidante, mantuvo la calidad de la pulpa aceptable hasta los 14 días. Este estudio caracterizó por primera vez la conservación en condiciones refrigeradas de sandías comercializadas en la UAM, cuantificando y evaluando la preservación de atributos físicos, compuestos como potenciales nutrientes y compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de la pulpa de estos frutos.

*Palabras clave:* sandía, almacenamiento refrigerado, vida poscosecha, compuestos bioactivos

## ABSTRACT

Watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai] is one of the most commercially traded and demanded fruits during the summer. In 2023, 7,493 tons of watermelon were delivered to the main wholesale market in Montevideo, the Unidad Agroalimentaria Metropolitana (UAM), 6,443 tons of which originated from the department of Rivera, Uruguay's principal production region. This study aimed to evaluate the postharvest quality of watermelon fruits marketed at the UAM under refrigerated conditions (11°C and 98% relative humidity) at the beginning (0 days) and after 7, 14, 21, and 28 days of storage. At each sampling point, the effects of refrigerated storage time on weight loss, external appearance, specific weight, rind and pulp color, pulp appearance, firmness, juiciness, total soluble solids (TSS), juice content, pH, titratable acidity (TA), total carotenoids and lycopene content, total polyphenols (TP), and total antioxidant capacity (TAC) were assessed. The experimental design was completely randomized (CRD) with five treatments (0, 7, 14, 21, and 28 days). Watermelons were randomly stored in a refrigerated chamber (41 fruits), and at each sampling point, 8 randomly selected fruits (replicates) were analyzed, with time (days) as the factor. The results showed that certain physical and chemical attributes, such as dimensions, specific weight, rind color, firmness, TSS, pH, TA, and pulp juice percentage, remained unchanged during the 28-day storage period. However, other attributes, including weight loss and the overall external and pulp appearance, were affected. The pulp color changed from a dark red hue up to 7 days to a lighter, less red tone, indicating overripeness and/or quality deterioration, along with a decrease in total carotenoid and lycopene content. TP content increased by 36% during the last week of storage, while TAC, measured using the DPPH method, decreased by 57%. In contrast, minor changes were observed using the ABTS and FRAP methods. The content of nutritionally significant and bioactive compounds contributing to pulp color and antioxidant capacity maintained pulp quality at acceptable levels up to 14 days. This study characterized, for the first time, the refrigerated storage of watermelons marketed at the UAM, quantifying and evaluating the preservation of physical attributes, nutritional and bioactive compounds, and antioxidant capacity in the fruit pulp.

*Keywords:* watermelon, refrigerated storage, postharvest life, bioactive compounds

## **1. INTRODUCCIÓN**

La sandía pertenece a la familia de las Cucurbitáceas y las variedades cultivadas corresponden a la especie botánica: *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai. El fruto llamado pepónide o falsa baya característica de esta familia, es de forma esférica o alargada y de tamaño grande pudiendo sobrepasar los 20 kg y alcanzar los 30 cm de diámetro. Posee una cáscara dura y lisa, cuyo color abarca la mayoría de los tonos verdes, que varía entre 0,5 a 4 cm de grosor. La pulpa es carnososa y según la variedad, su color puede ser de tono rosado, anaranjado, amarillo o rojo, de sabor dulce y conteniendo un alto porcentaje de agua (90%). Posee numerosas semillas de forma aplanada de colores variables de textura crocante y no harinosa. El sabor de la sandía es una combinación entre acuoso-refrescante y jugoso-dulce por lo que resulta una fruta muy atractiva para el consumo *in natura*, y es una fuente de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, licopeno y citrulina que proporcionan beneficios en la salud humana al ser ingeridos (Crawford, 2017).

En Uruguay, históricamente la mayor parte de la producción de sandía se ha desarrollado en el norte del país con cultivos a campo, principalmente en la zona de Tranqueras en el departamento de Rivera. También en el departamento de Salto hay producción de sandía bajo invernáculo de menor importancia, adelantando la cosecha en el mes de noviembre.

El ciclo anual de la sandía tiene una marcada estacionalidad de producción e ingresos del producto a la Unidad Agroalimentaria Metropolitana (UAM) principal mercado mayorista ubicado en Montevideo. En los meses de verano es una de las principales frutas comercializadas y demandadas. Las sandías procedentes del departamento de Rivera comienzan a llegar a la UAM a principios del mes de diciembre con picos de ingreso en enero y febrero (Observatorio Granjero, 2017). En el año 2023 ingresaron a la UAM 7.493 toneladas de sandía que representó el 2,1% de ingreso total de frutas y hortalizas (Observatorio Granjero, 2024). La mayoría de las variedades de sandía plantadas y comercializadas en nuestro país son voluminosas y pesadas, con un tamaño promedio entre 8 a 15 kg/fruto.

Considerando que la zona de producción es la zona norte del país, pero la mayor demanda de consumo se produce en la zona sur, el traslado de esta producción voluminosa y pesada, constituye un gran desafío ya que las sandías, deben recorrer cerca de 500 km en camiones a granel.

Las sandías tienen una vida poscosecha de alrededor 7 días cuando las temperaturas son por encima de los 30 °C la cual se deterioran rápidamente perdiendo sabor, aroma e iniciándose una fermentación en la pulpa (Maroto Borrego et al., 2002)

En un sistema tradicional de cosecha, transporte y comercialización en el mercado mayorista, la hipótesis es que la vida poscosecha de la sandía es de alrededor de 7 días, pero en condiciones óptimas de conservación refrigerada sería entre 14 a 21 días, logrando reducir la pérdida del producto y preservar las cualidades nutricionales.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la evolución de la calidad de los frutos de sandía procedentes de la UAM, en conservación refrigerada.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Caracterizar los frutos de sandía por su tamaño en volumen y peso.

Cuantificar el número y peso de frutos con calidad y descartes al inicio (0 día) y a los 7, 14, 21 y 28 días de la conservación refrigerada (11 °C y 98% HR).

Identificar las causas de descarte en los períodos antes mencionados.

Evaluar el efecto del tiempo de la conservación refrigerada sobre el aspecto general, la pérdida de peso, el peso específico y el color de cáscara y pulpa del fruto.

Evaluar el efecto del tiempo de conservación refrigerada sobre el contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), carotenoides totales, licopeno, polifenoles totales (PT) y la capacidad antioxidante total (CAT) de la pulpa.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 IMPORTANCIA DE LA SANDÍA EN URUGUAY**

La mayor parte del cultivo de sandía en Uruguay se desarrolla principalmente en la zona de Tranqueras en el departamento de Rivera en el noreste del país. La superficie de plantación en la zafra 2022-2023, similar a la zafra pasada (2021-2022) rondaría entre 450 y 500 ha con rendimientos entre 25 y 30 t por ha debido a la tecnología aplicada (Observatorio Granjero, 2023).

Los cultivos son a campo, en condiciones extensivas, no protegidas y sin riego por lo cual tienen una alta sensibilidad a las condiciones ambientales especialmente al exceso o déficit hídrico (Observatorio Granjero, 2013). Los productores riverenses realizan hasta tres fechas de siembra, la primera en el mes de julio y se cubre la planta con una estructura de caña con un *nylon* en forma de carpa para proteger a la planta en los primeros estadios de crecimiento, de las bajas temperaturas. La segunda fecha de siembra es en el mes de agosto y la tercera es en los meses de setiembre y octubre. El objetivo de la primera siembra es obtener frutos precoces y esto explica las cosechas tempranas obtenidas en diciembre. En las siembras siguientes los frutos se cosechan entre enero y febrero (Observatorio Granjero, 2017).

La cosecha del fruto se realiza manualmente, se seleccionan aquellos frutos que estén maduros y para ello se golpea con la mano y el sonido emitido debe ser hueco y la zona de apoyo de color blanco-amarillo o marfil y son transportadas a granel en camiones (sin refrigeración) hacia los diferentes mercados (Contacto Eduardo Batista, 2016). En los meses donde se produce la cosecha la temperatura máxima media mensual en los meses de diciembre, enero y febrero son 29,6; 30,5 y 28,7 °C, la temperatura mínima media mensual es 17,3; 18,7 y 18,4 °C y HR media mensual es 64; 65 y 69% respectivamente. La mayoría de la producción de sandías es trasladada a la zona sur del país en los meses de diciembre, enero y febrero en donde la temperatura máxima media mensual es de 26; 27,7 y 26,8 °C, la temperatura media mínima mensual es de 17; 18,8 y 18,7 °C y la HR de 70; 70 y 73% respectivamente (Castaño et al., 2011).

Según el Observatorio Granjero (2024), en el año 2023, entre los meses de diciembre y marzo ingresaron a la UAM 7.493 t de sandía, siendo que 6.443 t provenían del departamento de Rivera. Además, hay otra zona de menor importancia en el departamento de Salto, donde la producción de sandía se realiza en condiciones protegidas, y que se destina al abastecimiento de la UAM a partir de noviembre, siendo el volumen de producción de esta zona de 200 t, previo al comienzo de la zafra de Rivera.

Por otra parte, entre los meses de julio y octubre de este mismo año se importaron 230 t de sandía.

**Figura 1**  
*Zona de producción y mercado principal*



*Nota.* Adaptado de Instituto Nacional de Estadística ([INE], 2022).

La mayor parte de la comercialización de sandías se realiza en la zona sur, en el principal mercado mayorista de la capital, mientras que la producción se realiza en el norte (Observatorio Granjero, 2017). Este traslado de la producción se produce en los meses más cálidos del año, y al mismo tiempo, la estiba en el campo y/o en sombra, el transporte y la carga, descarga se realizan en condiciones que mantienen alta temperatura en la pulpa de la sandía. En la Figura 1 se indican en el mapa la zona principal de producción y la zona donde se realiza la comercialización.

Barman et al. (2015) indican que el deterioro de la calidad de las frutas y hortalizas aumenta al hacerlo la temperatura. Este deterioro es exponencial duplicando o triplicando la pérdida de los vegetales.

En Uruguay el manejo de los frutos de sandía, desde la cosecha hasta el consumidor es sin conservación refrigerada (Berrutti, 2021).

Las condiciones ambientales poscosecha adecuadas para el almacenamiento del fruto de la sandía son temperaturas entre 10 a 15 °C, HR de 90%, la conservación de la fruta entera sería de 2 a 3 semanas (Cantwell, 2007). Por lo tanto, si la temperatura del fruto de la sandía se mantiene entre 20 a 30 °C, se va a conservar la mitad del tiempo o menos, esto indica que, la vida poscosecha de la sandía, con el manejo que se hace actualmente es muy corta (1 semana).

## **2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ESPECIE**

### **2.2.1 Origen, taxonomía, descripción y requerimientos ambientales de la planta**

La sandía es originaria de África y ha sido cultivada en Medio Oriente por miles de años. Desde África fue traída al continente americano por esclavos y también por los colonizadores europeos. La especie se ha extendido por todo el mundo y es un cultivo que crece en las regiones tropicales y subtropicales (Pérez López, 2014). Pertenece a la familia Cucurbitaceae y las variedades cultivadas pertenecen a la especie *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai, 1916 (Crawford, 2017).

La planta de sandía es una especie anual, monoica, herbácea, de tallos o guías flexibles rastreros que pueden alcanzar de 4 a 6 m de longitud, provistos de zarcillos bífidos o trífidos. Las hojas son pecioladas y lobuladas, las flores nacen de unas yemas en las axilas de las hojas que están protegidas por hojas colocadas en forma imbricada y dan a lugar flores masculinas y femeninas. La flor femenina una vez polinizada dará origen al fruto la cual posee un ovario ínfero que se observa notablemente. Las flores de la sandía son de color amarillo, solitarias, pedunculadas y axilares las cuales atraen a los insectos por su color, aroma y néctar. En la misma planta los dos sexos coexisten, pero en flores distintas o sea unisexuales monoica (Reche Mármol, 2000).

Su fruto es una pepónide (falsa baya) con gran contenido de agua (90%) y sabor dulce. El producto más destacable de la genética actual en sandía, es la obtención de variedades sin semillas. Estas provienen de la cruce de un parental diploide (2n) con otro tetraploide (4n), lo que permite obtener un producto triploide (3n) y, por lo tanto, estéril, es decir, que no desarrolla semillas, sólo rudimentos seminales (Crawford, 2017).

Las zonas con climas cálidos libres de heladas, son ideales para el crecimiento de la planta ya que, resulta sensible a esta condición climática. La temperatura óptima para el crecimiento es entre 25 a 28 °C durante el día y de 18 a 22 °C por la noche. El rango óptimo para la apertura de las flores o antesis es de 18 a 20 °C. La humedad relativa óptima se encuentra entre 60 a 80% y es un factor determinante sobre la floración. Requiere de suelos neutros o débilmente alcalino, sensible a las sales, buen

drenaje, alto contenido de materia orgánica y pH entre 6,0 a 7,5. La intensidad lumínica influye altamente sobre la madurez de los frutos (Reche Mármol, 2000).

## **2.2.2 Morfología y estructura del fruto**

Hay muchos cultivares de sandía que varían en forma, color de cáscara y pulpa y algunas son con semillas y otros sin semillas. La forma de los frutos varía de globular a oblongo, mientras que el color de la cáscara varía en tonos de verde, verde amarillento a verde oscuro profundo. También el color de pulpa puede variar desde el rojo, rosado y amarillo debido a la presencia de carotenoides especialmente licopeno y  $\beta$ -caroteno (Manivannan et al., 2020).

El fruto está formado por la pulpa que es la parte comestible, las semillas y la cáscara compuesta por la piel y corteza denominada comúnmente como pulpa blanca (Figura 2). La cáscara representa entre el 30 y 40% del peso total de la fruta la cual es considerada un desecho que se utiliza en su mayoría para la alimentación animal (Valle-Vargas et al., 2020).

El contenido de jugo representa cerca de 40% del peso total de fruto (Reche Mármol, 2000). Las semillas en un fruto maduro constituyen aproximadamente entre 2 a 3% del peso (Logaraj, 2011).

### **2.2.2.1 Características del fruto**

Existen en el mercado dos grupos de variedades híbridas “tipo Sugar Baby”, de cáscara verde oscura y la variedad “tipo Crimson”, de cáscara rayada. Dentro de ambos tipos hay sandías con y sin semilla. Las variedades “Sugar Baby” tienen frutos redondos, de pulpa rojo fuerte y pesan entre 2 a 3 kg, mientras que las variedades “tipo Crimson”, tienen frutos que varían de forma desde cilíndricos, oblongos u oval esférico, son de pulpa de color rojo fuerte y pesan entre 11 a 16 kg (Goites, 2008).

Soares da Silva et al. (2020) estudiaron variedades de sandía “tipo Crimson” e indican que, se caracterizaron por tener frutos que variaron entre 27,30 a 38,35 cm de longitud, con un espesor de cáscara entre 1,15 a 2,01 cm y un diámetro de fruto entre 20,82 a 27,82 cm.

El espesor de la cáscara es una característica muy importante para el manejo de los frutos de sandía para su comercialización ya que se realiza a granel (Soares da Silva et al., 2020).

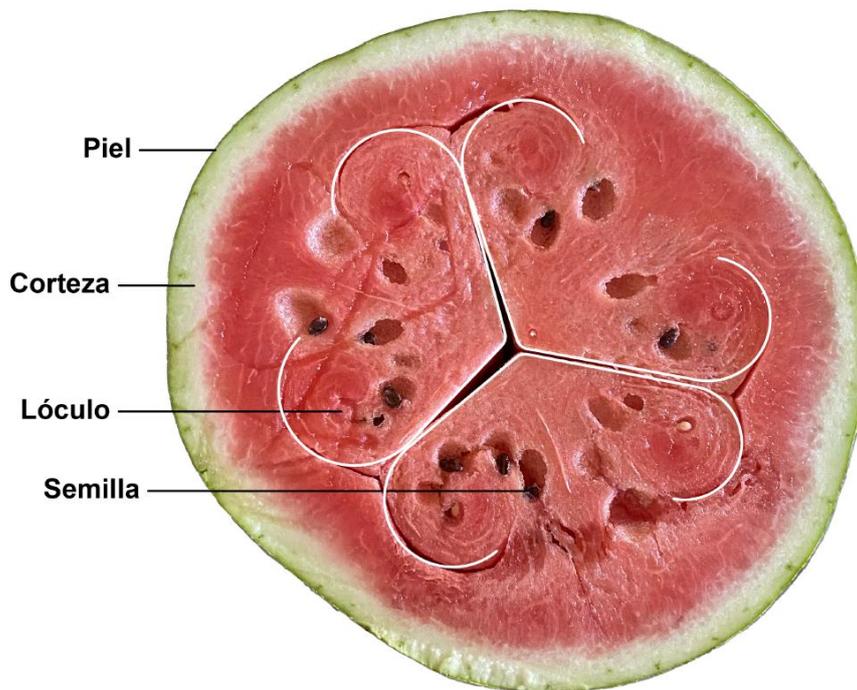
Reche Mármol (1994) clasifica a la sandía según su espesor de cáscara en fina, menor a 10 mm; gruesa entre 10 a 20 mm y muy gruesa, mayor a 20 mm.

El espesor de cáscara grueso y muy grueso es el de mayor importancia práctica porque la hace resistente a los daños físicos durante la cosecha, transporte, embalaje y distribución (Orrala-Borbor et al., 2018).

Las sandías que tienen semillas son de color marrón oscuro o negras de forma ovalada de alrededor de 1 cm de longitud y se encuentran distribuidas en la zona del lóculo (Logaraj, 2011), mientras que las variedades sin semillas pueden no contener semillas o solo semillas blancas gelatinosas muy pequeñas y delgadas (Crawford, 2017).

## Figura 2

*Estructura interna del fruto de sandía*



*Nota.* Adaptado de Perkins-Veazie et al. (2001).

### 2.2.3 Composición nutricional

Desde el punto de vista de la composición nutricional en 100 g de porción comestible de sandía, se detalla en la Tabla 1:

**Tabla 1**

*Composición química en 100 g de porción comestible de sandía*

Compuestos químicos	Cantidad
Agua	92 g
Hidratos de carbono	6 g
Grasas	0,1 g
Proteínas	0,6 g
Minerales	0,13 g
Vitamina A o Retinol	500 UI
Vitamina B1 o Tiamina	0,02 mg
Vitamina B2 o Riboflavina	0,03 mg
Vitamina B6 o Piridoxina	0,03 mg
Vitamina C o Ácido ascórbico	6,35 mg
Niacina	0,20 mg

*Nota.* Adaptado de Reche Mármol (2000) y Nunes (2008).

El consumo de 100 g de sandía provee 30 kcal de energía, alto contenido de agua, minerales como potasio y magnesio y es rico en vitaminas del complejo B (Tabla 1). Además, aporta  $\beta$ -carotenos (provitamina A), licopeno y citrulina con importantes efectos benéficos en la salud y nutrición humana (Cruz Bojórquez et al., 2013; Seymen et al., 2020).

El sabor dulce está dado por la combinación de glucosa, sacarosa y fructosa. La sacarosa y la glucosa representan entre el 20 al 40%, y la fructosa entre el 30 al 50% de los azúcares totales en una sandía madura (Bianchi et al., 2018; Maoto et al., 2019).

### 2.2.4 Usos del fruto

La sandía se consume principalmente como fruta fresca y se emplea en preparaciones como jugos, helados y mermeladas. Además, tiene un efecto diurético y ligeramente laxante por su contenido de celulosa (Reche Mármol, 2000).

Las semillas de sandía pueden ser consumidas como snacks, ser utilizadas como espesantes de sopas, como condimento, y para preparar infusiones (Logaraj, 2011; Manivannan et al., 2020). También se puede utilizar para la extracción de aceites.

Las semillas del fruto de sandía producen el 55% de aceite de su peso seco y contienen principalmente ácido linoleico (50 a 60%), ácido oleico (15%) y cantidades menores de ácido palmítico y esteáricos. El ácido linoleico ayuda a disminuir los niveles de colesterol y la presión arterial alta (Logaraj, 2011).

En algunos países se lo extrae para ser utilizados como aceite de cocina y también para la industria de la cosmética para la producción de cremas y lociones para el cuidado de la piel, pero no a escala industrial (Zarifikhosroshahi & Ergun, 2021).

Las necesidades del estilo de vida moderno, con menos tiempo para preparar alimentos y la demanda de productos listos para consumir como los productos mínimamente procesados en fresco, los consumidores se interesan por comidas saludables libres de conservantes y otros aditivos químicos, la sandía es una opción que responde a esta tendencia. Las frutas y hortalizas mínimamente procesados en fresco son productos que han sido pelados, rebanados o cortados siendo un producto 100% utilizable, que es envasado ofreciendo al consumidor alta nutrición y sabor manteniendo su frescura en estado natural, pero no congelado o procesado térmicamente (Rojas Ávila et al., 2008).

En la industria de los jugos, además de la pulpa, también se utiliza su cáscara, que es preparada en pickles y mermeladas (Seymen et al., 2020).

La cáscara de sandía, se considera una interesante fuente de citrulina que puede ser empleada para la elaboración de productos como bebidas o jarabes nutracéuticos, que mejoran el sistema cardiovascular y disminuyen la fatiga muscular tras un esfuerzo físico. También puede ser encapsulada y emplearse en la industria farmacéutica. Además, la corteza fresca puede ser utilizada en la industria de la panificación para la elaboración de productos como tortas y pasteles, por ser una buena fuente de proteínas, fibras y carbohidratos de reducido valor energético (Durán et al., 2017).

Por otra parte, la sandía podría tener otros usos muy innovadores y diferente a la industria de los alimentos y la farmacéutica. En la industria petrolera, gas y de producción de energía, el empleo de materiales metálicos como el acero al carbono, tiene una elevada susceptibilidad de corroerse. El uso de inhibidores de corrosión que se emplea comúnmente es altamente tóxico para los seres humanos y el medio ambiente debido a su naturaleza química, los cuales son persistentes, poco o no degradables. Hoy en día se investigan e implementan productos naturales como agentes anticorrosivos a partir de productos obtenidos de las hojas, cáscaras, frutos, semillas y raíces de plantas como inhibidores ecológicos de la corrosión, debido a su efecto seguro, uso práctico, bajo costo y por ser materiales renovables. En este sentido

Rodríguez et al. (2020) obtuvieron de la cáscara de sandía, un extracto con efecto anticorrosivo que presentó una eficiencia de 94% en un medio salino a una concentración de NaCl de 3,5% durante 24 días de exposición. El marco de referencia aceptable para recomendar un inhibidor corresponde a eficiencias iguales o superiores a 85%, por lo cual, este extracto tiene potencial para ser utilizado en el ámbito industrial en medios marinos.

### **2.2.5 Compuestos bioactivos en el fruto de sandía**

Muchas enfermedades en los seres humanos están relacionadas con la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS, Reactive Oxygen Species). Los ROS se caracterizan por tener un electrón desapareado en su órbita externa, lo cual los torna altamente reactivos y con una gran capacidad para oxidar moléculas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos y ocasionar un estrés oxidativo (Lopa et al., 2021; Manivannan et al., 2020).

Los seres humanos no poseemos un sistema de defensa antioxidante eficiente para evitar el daño ocasionado por los ROS por lo cual debemos ingerir sustancias que nos proporcionen una adecuada protección antioxidante. Los alimentos de origen vegetal (frutas, hortalizas, cereales) aportan macronutrientes, minerales, vitaminas y además contienen una serie de sustancias denominadas bioactivas o también llamadas fitoquímicos o fitonutrientes como los flavonoides, polifenoles, taninos, vitamina C, licopeno, antocianinas, entre otros (Gimeno Creus, 2004; Lopa et al., 2021; Zaccari et al., 2021).

En el reino vegetal los compuestos bioactivos se pueden agrupar en sustancias nitrogenadas, las azufradas, las terpénicas y las fenólicas. Los compuestos nitrogenados suelen ser biológicamente muy activos y en cantidades muy bajas pueden provocar toxicidad. Las sustancias azufradas están presentes en algunas hortalizas de la familia de las Brassicas y Alliaceas. Entre los terpenos se encuentran el d-limoneno, los carotenoides y los fitoesteroles (Martínez-Navarrete et al., 2008).

Los compuestos bioactivos tienen la capacidad de prevenir o disminuir la formación de ROS por lo tanto son antioxidantes y además disminuye los procesos inflamatorios ejerciendo efectos positivos en la salud. Por ejemplo, la ingesta de dieta con altos contenidos de polifenoles se ha asociado con mejorías en marcadores séricos de enfermedades como diabetes mellitus tipo 2, síndrome metabólico, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Coronado et al., 2015; López-Almada et al., 2022; Urango

Marchena et al., 2009). En la sandía los compuestos presentes son los carotenoides (licopeno), los compuestos fenólicos y citrulina (Valle-Vargas et al., 2020).

### **2.2.5.1 Los carotenoides**

Los carotenoides se encuentran en los vegetales en forma de pigmentos de colores rojos, anaranjados y amarillos y tienen como función proteger las células de la oxidación (Arguedas-Gamboa et al., 2015). Los más abundantes en las frutas y hortalizas son el  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno, luteína, licopeno,  $\beta$ -cryptoxantina y zeaxantina, presentes en cítricos, cerezas, damasco, níspero, ciruela amarilla, mango, durazno y papaya. Los fitoesteroles se encuentran en los aceites de origen vegetal, los cereales o los frutos secos (Martínez-Navarrete et al., 2008).

El licopeno pertenece a la familia de los carotenoides. Es un pigmento vegetal soluble en grasas que le confiere el color rojo característico del tomate, sandía, la guayaba y la toronja rosada. En el plasma humano es el carotenoide predominante y se encuentra en las glándulas suprarrenales, hígado, testículos y próstata (Periago et al., 2001; Urango Marchena et al., 2009). Posee alta capacidad antioxidante, siendo mayor a la del  $\beta$ -caroteno y que la vitamina E (Urango Marchena et al., 2009). Su acción consiste en neutralizar radicales (óxidos y peróxidos) atenuando los daños oxidativos sobre los tejidos. El consumo de licopeno reduce notablemente la incidencia de enfermedades cardiovasculares y de diversos tipos de cáncer como próstata, pulmón y tracto digestivo (Vitale et al., 2010).

La biosíntesis y la acumulación de licopeno, aumentan progresivamente con la maduración en las variedades de sandía de pulpa roja. Se ha sugerido que la producción de enzimas que sintetizan carotenoides es sensible a la temperatura. Por lo tanto, las condiciones ambientales como la intensidad de luz, temperatura y riego, en la etapa de cultivo, pueden alterar el contenido de licopeno entre el 10 a 20% (Acharya et al., 2021).

En la sandía el licopeno constituye entre el 73,7 a 97% de los cuales el 90% está en la forma isomérica trans-licopeno y el resto en cis-licopeno (Kyriacou et al., 2018), seguido de  $\beta$ -caroteno entre 4,1 a 5% de los pigmentos totales (Nunes, 2008).

Una porción comestible de 100 g de sandía, posee en promedio 4,81 mg de licopeno, que representa casi el 40% más que en el tomate (3,03 mg/100 g) (Devi et al., 2020; Urango Marchena et al., 2009). El contenido depende del estado de madurez y está altamente correlacionado con los cambios en el cromatismo y color de pulpa (Soteriou et al., 2014).

Perkins-Veazie y Collins (2006) encontraron en la pulpa de tres variedades de sandía que el contenido de *cis* y *trans* licopeno fueron el 94 y 97% de los carotenoides totales (32,8 a 81,3 µg/g), y que la cantidad y tipo de carotenoides dependen del cultivar y de la temperatura de almacenamiento. El contenido de carotenoides fue mayor (11 a 34%) cuando las sandías fueron almacenadas a 21 °C frente a 5 y 13 °C durante dos semanas. La conservación en frío (5 °C) produjo síntomas de daño por frío y no se modificó el contenido de carotenoides, probablemente por reducción u inactivación de las enzimas de biosíntesis. Los resultados indicaron que la síntesis de carotenoides en sandía puede ser afectada por la temperatura y el almacenamiento ya que continúa después de la cosecha cuando fue almacenado a 21 °C y se inhibió a 5 °C.

Sharma et al. (2008) investigaron en el jugo de la pulpa de sandías maduras, la degradación de licopeno, carotenoides totales y el color visual. Para ello aplicaron diferentes tratamientos térmicos a 50, 60, 70, 80 y 90 °C y en tiempos de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 h. El contenido de carotenoides totales en el jugo de pulpa de sandía fue de 4,6 mg/100 g de peso fresco y disminuyó a 2,9 mg/100 g de peso fresco después de 5 h de calentamiento a 50 °C. Cuando la temperatura aumentó a 90 °C se redujo a 0,93 mg/100 g de peso fresco después de 5 h. El contenido de licopeno en el jugo de pulpa de sandía fue de 4,40 mg/100 g de peso fresco, luego del tratamiento térmico a 50 °C por 5 h disminuyó a 2,8 mg/100 g de peso fresco. Para las temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C después de 5 h, los valores finales fueron 2,01; 1,54; 1,2 y 0,82 mg/100 g de peso fresco, respectivamente. La degradación de carotenoides y licopeno afectó el color visual ya que hubo una relación directa entre este y el contenido de licopeno encontrándose una pérdida del mismo.

#### **2.2.5.2 Los compuestos fenólicos y métodos para su determinación**

Los compuestos se pueden clasificar en flavonoides (antocianinas, flavonoles y flavonas, chalconas y dihidrochalconas, isoflavonas y flavanoles); fenilpropanoides (derivados de ácidos hidroxicinámicos); estilbenoides (resveratrol y piceatanol) y derivados del ácido benzoico (ácidos gálico y elágico). De todas estas sustancias bioactivas, el grupo mayoritario es el de flavonoides, del que se conocen más de 5.000 compuestos diferentes (Martínez-Navarrete et al., 2008).

Los compuestos fenólicos son sustancias de origen vegetal y uno de los principales metabolitos secundarios de las plantas. Poseen varias funciones fenol (hidroxibenceno), unidas a estructuras aromáticas o alifáticas. Los fenoles son sintetizados *de novo* por las plantas y actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos). También

contribuyen a la pigmentación de muchas partes de las plantas, como por ejemplo los antocianos que son responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta de las frutas y hortalizas (Martínez-Valverde et al., 2000).

La síntesis de estos compuestos está influenciada por factores como infecciones, lesiones, radiación UV, salinidad del suelo, clima, grado de madurez, condiciones de cultivo, tiempo de cosecha y manipulación poscosecha (Valle-Vargas et al., 2020).

Por otro lado, cuando se oxidan dan lugar a quinonas que generan un color pardo en los tejidos vegetales, muchas veces indeseable para el consumidor. Se destacan por sus propiedades antioxidantes tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales. Esta propiedad se ha relacionado con la prevención de diferentes tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras patologías de carácter inflamatorio (Martínez-Valverde et al., 2000).

La capacidad antioxidante total (CAT) es el potencial de una sustancia o un compuesto para inhibir o dificultar la oxidación de un sustrato hasta cantidades muy pequeñas (< 1%, 1-1000 mg/L). Su medición es útil para valorar la calidad de un alimento, la cantidad de antioxidantes en un sistema, o la biodisponibilidad de compuestos antioxidantes en el cuerpo humano (Benítez-Estrada et al., 2020).

Existen diversos métodos para evaluar ya sea *in vitro* o *in vivo*. La determinación de la capacidad antioxidante total *in vitro* de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar la actividad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical, donde la pérdida de color ocurre en forma proporcional a la concentración. No obstante, las determinaciones de la capacidad antioxidante realizadas *in vitro* dan solo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo* (Kuskoski et al., 2005).

La actividad antioxidante está influenciada por la presencia e interacción de diferentes compuestos fenólicos con capacidad antioxidante como el licopeno, vitamina C, citrulina, ácidos clorogénicos, entre otros (Valle-Vargas et al., 2020).

Diversos compuestos cromógenos son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libre generados. Los métodos más aplicados son ABTS, DPPH y FRAP (Kuskoski et al., 2005).

El método ABTS<sup>+</sup> (ácido 2, 2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico) se fundamenta en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS<sup>+</sup>, debido a su reducción a ABTS por la acción del antioxidante. El radical catiónico ABTS<sup>+</sup> es un

cromóforo verde azulado que absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se genera por una reacción de oxidación del ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) con persulfato de potasio. El grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical ABTS<sup>+</sup> está determinado en función de la concentración (Rioja Antezana et al., 2018). Los resultados se expresan en actividad antioxidante equivalente a Trolox o TEAC por su sigla en inglés (Kuskoski et al., 2005).

El método DPPH (2,2-difenil-1- picrilhidrazilo), fue propuesto originalmente por Brand-Williams y se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH<sup>•</sup>, por el antioxidante. El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estables. Presenta una fuerte coloración violeta, está comercialmente disponible y no tiene que ser generado *in situ* como ocurre con el ABTS<sup>+</sup>. La concentración de DPPH<sup>•</sup> en el medio de la reacción se calcula a partir de una curva de calibrado obtenida por regresión lineal. Los resultados se expresan en TEAC (Kuskoski et al., 2005).

El método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) evalúa el efecto combinado de las defensas antioxidantes no enzimáticas que se encuentran presentes en los fluidos biológicos, como un índice de la capacidad de resistir el daño oxidativo y se desarrolla bajo condiciones ácidas (pH 3,6). En presencia de antioxidantes, la forma férrica del compuesto hierro-tripiridyl-triazina (Fe<sup>3+</sup>-TPTZ) se reduce a la ferrosa (Fe<sup>2+</sup>-TPTZ) y produce una coloración azul intensa que tiene una absorción máxima a 593 nm (Benítez-Estrada et al., 2020).

La capacidad antioxidante obtenida por los métodos ABTS y DPPH se encuentra correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos y antocianos (Kuskoski et al., 2005).

El contenido de polifenoles totales se determina, en general, a través del método espectrofotométrico desarrollado por Folin y Ciocalteu, que se fundamenta en su carácter reductor (Kuskoski et al., 2005).

Los compuestos fenólicos se oxidan por el reactivo Folin-Ciocalteu, el cual está formado por la mezcla de ácido fosfotúngstico y ácido fosfomolibdico que se reduce por la acción de los fenoles, en una mezcla de óxidos azules de tungsteno y molibdeno. Esta reacción es característica para compuestos que tienen un grupo hidroxilo unido a un anillo de benceno. El reactivo Folin-Ciocalteu tiene una coloración amarilla que en presencia de fenol se torna azul. La intensidad del color se mide espectrofotométricamente a 765 nm. Los resultados se expresan como equivalente de ácido gálico o por su abreviatura AGE (Morillas-Ruiz & Delgado-Alarcón, 2012).

Nagal et al. (2012) investigaron en 12 cultivares de sandía maduros el contenido de polifenoles totales y hallaron que estaba en un rango de 13,05 a 18,08 mg/AGE/100 g de peso fresco, dependiendo de la variedad. En otro trabajo realizado por Tlili et al. (2022) se estudió el contenido de polifenoles totales en tres cultivares de sandía maduras, almacenadas a  $5 \pm 0,5$  °C durante 0, 5, 10 y 15 días, simulando puntos de venta minoristas y temperaturas de almacenamiento en el hogar. El contenido de polifenoles totales estuvo entre 15,41 a 30,89 mg AGE/100 g de peso fresco, a los 10 días de almacenamiento disminuyó entre 7 a 29% lo cual comienza a ser significativo, y a los 15 días un 35,5%.

### **2.2.5.3 Otros compuestos bioactivos**

La sandía es la mayor fuente de citrulina natural en la dieta humana. Se trata de un aminoácido no esencial, intermediario de la síntesis del aminoácido arginina y forma parte del ciclo de la urea (Aslam et al., 2021).

La citrulina es un vasodilatador y produce efectos beneficiosos en el corazón, en el aparato circulatorio y en el sistema inmunitario (Durán et al., 2017). Además, se comercializa como un suplemento dietario para mejorar el rendimiento atlético debido a que reduce la fatiga muscular. El contenido de citrulina en la pulpa de sandía varía de 0,11 a 0,47 g por cada 100 g de peso fresco (Tarazona-Díaz et al., 2017).

## **2.3 CRECIMIENTO Y MADURACIÓN DE LOS FRUTOS**

Las variedades de sandía que producen frutas de tamaño grande se estima que pueden estar listas para la cosecha entre 80 a 90 días después de la siembra y va a depender de la variedad de sandía y de las condiciones prevalecientes durante su crecimiento y desarrollo, como la época del año, condiciones ambientales, el manejo de la siembra, nutrientes en el suelo y humedad (Fornaris Rullán, 2000).

Las fases de desarrollo del cultivo de sandía han sido descritas por diferentes autores y se presentan a continuación:

La germinación y emergencia ocurre en la primera semana después de la siembra. En este momento aparece la primera hoja sobre la superficie del suelo. Luego que emerge la planta comienza el crecimiento vegetativo que dura alrededor de 30 días, hasta el inicio de la fase de floración (Hernández Jorge et al., 2011; Pérez López, 2014).

La fase de floración, se inicia con la apertura de las primeras flores masculina y femenina. Esta especie es indiferente a la duración del día, sin embargo, la floración se inicia más temprano cuando el fotoperíodo es de 12 h comparado con un fotoperíodo

más largo. Días largos y altas temperaturas favorecen la formación de flores masculinas, días cortos y temperaturas moderadas favorecen la formación de flores femeninas (Ruiz Corral et al., 2013). El déficit hídrico en floración altera la polinización, afecta el tamaño del fruto y baja los rendimientos (Crawford, 2017; Hernández Jorge et al., 2011).

La fructificación da el inicio de llenado de fruto, alto desarrollo vegetativo y el segundo cuajado de frutos (Crawford, 2017). Esta fase se desarrolla desde el primer cuajado de fruto hasta llegar al 80-90% del volumen final del fruto. Se extiende alrededor de 30 a 37 días. Si hay déficit hídrico causa notable pérdida de producción (Crawford, 2017; Pérez López, 2014). En la mitad de esta etapa se produce un tercer cuajado de frutos y el desarrollo vegetativo se enlentece (Crawford, 2017). El fruto proviene del desarrollo del ovario, su formación se produce en dos fases, una es la división celular y la otra es el crecimiento celular. La velocidad de desarrollo de estas fases es dependiente de la variedad y de las condiciones climáticas, en particular la temperatura. En la fase de división celular, las células solamente se dividen repartiendo el material nuclear entre las células hijas, aumentando muy poco el volumen del ovario, esta fase es de 5 a 10 días. En la fase de crecimiento celular las células hijas comienzan a aumentar de tamaño por acumulación de azúcares y otras sustancias orgánicas proporcionadas por las hojas. En esta fase se produce un gran aumento del tamaño de los frutos y es de 15 a 25 días (Camacho Ferre & Fernández Rodríguez, 2000). El fruto presenta una curva de crecimiento de tipo sigmoide simple (Crawford, 2017).

Por último, ocurre la maduración, que se extiende hasta la cosecha y dura aproximadamente entre 20 a 22 días. Se produce una vez que el fruto ha alcanzado su tamaño máximo, y consiste en una serie de cambios bioquímicos cuyo resultado es la transformación del fruto de color verde brillante, con pulpa dura de color blanco, sin sabor ni olor, en frutos de color verde apagado, con pulpa de color, blanda, de sabor dulce y aroma (Camacho Ferre & Fernández Rodríguez, 2000).

Durante la maduración de los frutos se producen cuatro cambios relevantes, la pérdida de firmeza, endulzamiento y cambios en el color y el aroma. La pérdida de firmeza que se debe a que las protopectinas insolubles que cubren las paredes celulares se convierten a pectinas, más o menos solubles, por acción enzimática. Las pectinas formadas son gelificadas por la acción enzimática y se depositan en las paredes celulares. Estos procesos dependen de la temperatura y del contenido de oxígeno del aire que rodea al fruto. El endulzamiento del fruto está provocado porque el almidón presente en los frutos verdes se transforma en azúcares solubles y se produce la desaparición de sustancias como los ácidos orgánicos y taninos, responsables de los

sabores agrios y/o ásperos de los frutos verdes. Por otra parte, los cambios de aroma son consecuencia del depósito de las pectinas gelificadas sobre las paredes celulares se forman alcoholes libres o esterificados con ácidos orgánicos. Estos depósitos dificultan el intercambio gaseoso del interior de las células produciendo reacciones parcialmente anaerobias formando alcoholes. Por último, el cambio en el color está determinado porque se pierde el color verde típico de la cáscara de los frutos a medida que avanza la madurez por degradación de la clorofila que a la formación de pigmentos nuevos como el caroteno o la xantofila (Camacho Ferre & Fernández Rodríguez, 2000).

En este momento, las necesidades de agua son menores y se inicia la declinación del sistema radical. Si la intensidad de la luz es insuficiente afecta el rendimiento y la calidad del fruto ya que ocurre una reducción de la acumulación de azúcares. Cuando se alcanza más o menos el 60% de los frutos cosechados, comienza el inicio de declinación de guías y del sistema radical, aunque sigue la acumulación de azúcares (Crawford, 2017).

## **2.4 FISIOLÓGÍA POSCOSECHA DEL FRUTO**

Las frutas, hortalizas y ornamentales son tejidos vivientes que luego de la cosecha sufren cambios que no pueden ser detenidos, pero sí pueden ser disminuidos dentro de ciertos límites. Los productos hortofrutícolas y ornamentales son diversos en estructura morfológica (raíces, tallos, hojas, flores, frutos, etc.), en composición y en su fisiología general por lo cual sus requerimientos para la máxima vida poscosecha varían. Estos productos tienen alto contenido de agua y están sujetos a la desecación y daño mecánico y además son susceptibles al ataque de bacterias y hongos (Kader, 2007a).

### **2.4.1 Madurez de fruto**

Según Reid (2007) la madurez fisiológica del fruto ocurre cuando el producto ha alcanzado un desarrollo suficiente para que, después de la cosecha y manejo poscosecha (incluyendo maduración, cuando se requiera), alcance una calidad mínima aceptable para satisfacer las exigencias del consumidor final. Mientras que la madurez hortícola es la fase de crecimiento o desarrollo en la que un fruto se encuentra apto para su consumo u otro fin comercial. La madurez hortícola puede coincidir o no con la madurez fisiológica. La madurez organoléptica o de consumo es el estado de desarrollo en que la fruta reúne las características deseables para su consumo (color, sabor, aroma, textura, composición interna).

La sandía se considera madura y se cosecha cuando la zona de apoyo presenta color blanco-amarillo/marfil y el sonido que se produce al ser golpeada con la mano es

hueco. Además, hay una serie de características que pueden indicar madurez como que el zarcillo existente junto al pedúnculo debe estar completamente seco, el pedúnculo debe estar tierno, la capa cerosa o pruínica ha desaparecido y si se raya la parte externa de la cáscara, ésta se separa fácilmente (Fornaris Rullán, 2000; Maroto Borrego et al., 2002; Reche Mármol, 1988).

En el fruto de sandía el factor que determina la calidad y su valor comercial es la dulzura. Los componentes responsables son principalmente los azúcares solubles fructosa, glucosa y sacarosa. La sacarosa y la fructosa contribuyen principalmente a la percepción de dulzura (Chisholm & Picha, 1986). El contenido de azúcares, se encuentra en un rango de 2,4 a 9,1 g/100 g de peso fresco en la pulpa. Esta variación está relacionada a las diferencias genéticas entre cultivares, al uso de diferentes portainjertos y/o a la influencia del medio ambiente (Martí et al., 2019).

En el fruto inmaduro la fructosa y la glucosa son los azúcares predominantes. Durante la etapa de maduración los niveles de glucosa decaen y la sacarosa es el principal carbohidrato y en frutos maduros la fructosa es el principal azúcar (Bianchi et al., 2018; Chisholm & Picha, 1986; Kyriacou et al., 2018; Soteriou et al., 2014).

El fruto de sandía maduro tiene muy baja reserva de almidón, por lo tanto, la hidrólisis de sacarosa a glucosa y fructosa que se utilizan para la respiración explicaría la disminución de la concentración de azúcar cuando se conserva el fruto a alta temperatura (Chisholm & Picha, 1986).

El contenido de azúcar mayor se observa en el centro de la pulpa o zona locular y decrece hacia la cáscara y además es más bajo en el extremo distal (blossom end) y aún más bajo en el extremo proximal (stem end) (Kyriacou et al., 2018; Tomiyama et al., 2023). La distribución del azúcar en el fruto está determinada por factores morfológicos, donde los tejidos vasculares del centro del fruto podrían facilitar la acumulación, y por el gradiente de potencial hídrico que va desde la cáscara hacia el centro del fruto, siendo en esta la zona donde se da la concentración de soluto intracelular más alta (Ikeda et al., 2011; Yoshii et al., 2013).

El crecimiento y desarrollo del fruto son controlados por la producción de hormonas y son susceptibles a los cambios ambientales. Entre estas hormonas se encuentra el etileno, que controla muchos procesos en las plantas superiores como la senescencia de los órganos, respuesta al estrés, la germinación de la semilla, cicatrización de heridas y la interacción con otras hormonas y iones metálicos. Además, es la principal hormona que inicia y controla el proceso de maduración del fruto (Martínez-González et al., 2017).

Los frutos se pueden clasificar de acuerdo a su patrón de respiración y a su sensibilidad al etileno en frutos climatéricos y no climatéricos. Algunos frutos continúan el proceso de maduración después de cosechados fuera de la planta una vez que han alcanzado la madurez fisiológica y se denominan frutos climatéricos (Thompson, 2016). Los frutos climatéricos presentan un punto máximo de respiración seguido por un pico en la producción de etileno, mientras que, en los frutos no climatéricos, la maduración es independiente del etileno, el cual está presente solo a un nivel basal (Martínez-González et al., 2017).

En los frutos no climatéricos, los principales cambios vinculados al proceso de maduración, solo se alcanzan cuando aún están unido a la planta, ya que no presentan un aumento en la respiración, en la biosíntesis de etileno y respuesta autocatalítica al etileno después de la cosecha. Pero muestran algunas respuestas típicas al etileno como el desverdizado, o sea cambios en la coloración de verde a amarillo o anaranjado, ablandamiento (síntesis de enzimas que degradan la pared celular), cambios en el color, textura, sabor y olor (Martínez-González et al., 2017).

La sandía luego de ser cosechada no experimenta grandes cambios en su comportamiento fisiológico, por lo cual no es esperable que desarrolle color interno ni aumento en su contenido de azúcar (Fornaris Rullán, 2000). Por lo tanto, se clasifica como fruto no climatérico, además responde poco a las aplicaciones exógenas de etileno (Kitinoja & Gorny, 1998).

Según Kader (2007a) la producción de etileno en el fruto de sandía se clasifica como de clase muy baja a 20 °C,  $< 0,1 \mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

## **2.5 CAMBIOS EN EL FRUTO DURANTE LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA**

### **2.5.1 Pérdida de peso**

La pérdida de agua por deshidratación, es una de las causas principales de deterioro. Además, provoca la pérdida de peso vendible y el deterioro de la apariencia, que evidencia marchitez y arrugamiento, así como, la pérdida de textura (ablandamiento, flacidez, falta de rigidez, crujencia y jugosidad) y de calidad nutricional (Kader, 2007a; Suárez-Hernández et al., 2017).

La velocidad de pérdida de agua de un producto perecedero es principalmente controlada por la diferencia entre la presión de vapor del aire en los espacios intercelulares del tejido vegetal, y la del aire que los rodea. El aire en los vegetales frescos está prácticamente saturado, cercano al 100% de HR. La deshidratación se

reduce si se disminuye la diferencia entre ambas presiones parciales (Thompson, 2007a).

Según Seymen et al. (2020) en sandías injertadas, la pérdida de peso del fruto entero fue de 2,16 a 2,75% a  $5 \pm 0,5$  °C y  $70 \pm 5\%$  HR, a los 30 días en almacenamiento.

### **2.5.2 Peso específico**

La gravedad específica o peso específico es usado como uno de los estándares de madurez en algunos productos frescos. A medida que una fruta madura, su gravedad específica aumenta. Este parámetro rara vez es usado en la práctica para determinar el momento de cosecha, pero podría usarse en los casos que la calidad del producto en particular esté vinculada con otras cualidades. El peso específico se obtiene comparando el peso de un producto en el aire y su peso bajo el agua (Barman et al., 2015).

En el fruto de sandía el peso específico aumenta a medida que va madurando (Muiruri et al., 2022), pero a la vez que se incrementa el contenido de sólidos solubles totales el peso específico disminuye al avanzar el estado de madurez del fruto (Showalter, 1961). Este autor estudió 12 lotes de 50 sandías maduras de las variedades Charleston Grey, Congo y Blackstone cuyo objetivo fue utilizar el peso específico para medir la madurez y mostrar la relación entre el contenido total de sólidos solubles y el peso del fruto. El peso específico fue determinado gravimétricamente hallando valores entre 0,925 a 0,962. Estos valores disminuyeron al aumentar el contenido de sólidos solubles, en 14 de los 15 lotes existiendo, por lo tanto, una correlación negativa entre estos parámetros. Por otro lado, se encontró que a medida que el peso y el tamaño del fruto aumentaron también aumentó el contenido de sólidos solubles existiendo, por lo tanto, una correlación positiva en los 15 lotes evaluados. Mientras que el coeficiente de correlación entre el peso específico y el peso del fruto fue negativo (-0,186 a -0,419). El uso del peso específico para determinar la madurez en el fruto de sandía tiene poco valor debido a la amplia variabilidad entre los frutos.

El tamaño de fruto es un atributo físico muy importante, lo cual determina estándares de calidad, incremento del valor en el mercado, monitoreo de crecimiento de frutos, predicción del rendimiento y evaluación de los niveles óptimos de fertilización y riego. Además, la estimación del tamaño del fruto es útil para planificar el embalaje, el transporte y operaciones de manipuleo. El tamaño de un producto agrícola se representa con frecuencia por su peso debido a que es sencillo de medir, y el peso puede estimarse a partir del volumen si la densidad del producto es conocida. Un

método para determinar el volumen de la fruta es el uso de la longitud y diámetros mayor y menor. Aunque la mayoría de los frutos tienen forma irregular se describen como redondas, cónicas, oblongas y elípticas (Koc, 2007). Este mismo autor, en un estudio en 15 sandías de varios tamaños, determinó el volumen mediante desplazamiento de agua, por estimación mediante la fórmula de un elipsoide y por sistema de procesamiento de imagen y encontró que el volumen estimado de un elipsoide fue menor que el medido por desplazamiento de agua. Esta diferencia se debe a que se asume que el fruto tiene una forma elipsoide perfecta, pero la forma del fruto es irregular. La diferencia entre el volumen estimado mediante la fórmula del elipsoide y el desplazamiento de agua fueron estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ), mientras que el volumen estimado entre el sistema de procesamiento de imagen y el desplazamiento de agua no presentaron diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ).

### **2.5.3 Color de cáscara y de pulpa**

El color de cáscara en los frutos es uno de los atributos que determina la calidad externa y es una variable utilizada como indicador del estado de madurez y/o deterioro (Mohd Ali et al., 2017; Zaccari et al., 2017). La uniformidad e intensidad del color son cualidades de apariencia visual (Kader, 2007a) y es uno de los aspectos externos de frutas y hortalizas más fácilmente evaluado por el consumidor que determina la aceptación y eventual compra del producto (López Camelo, 2003).

Las variedades de sandía con franjas o rayas se caracterizan por el ancho de raya, el color y el color de fondo en donde las rayas verdes oscuras enmascara el color verde claro de la cáscara (Mashilo et al., 2022). El contenido de clorofila en la cáscara de sandía decrece y aumenta el de carotenoides y antocianinas a medida que alcanza la madurez del fruto, siendo la temperatura de síntesis de carotenoides entre 10 a 37 °C (Corey & Schlimme, 1988; Rodrigo et al., 2012; Vinson et al., 2010; Vogele, 1937).

Corey y Schlimme (1988) realizaron un estudio en dos cultivares de sandía y midieron los cambios en el color de cáscara que está en contacto con el suelo (zona de apoyo) y el brillo de la cáscara del fruto durante la etapa de maduración para determinar su idoneidad como criterio no destructivo para definir la calidad interna de la pulpa. El color de cáscara de la zona de apoyo cambió de blanco verdoso a blanco-amarillo/marfil y el brillo de la cáscara disminuyó en la etapa de madurez. Los resultados sugieren que las mediciones objetivas del color y el brillo tienen un valor potencial como criterio para la determinación de la madurez de frutos de sandía.

El color de pulpa de la sandía está directamente correlacionado con la concentración de licopeno y de  $\beta$ -caroteno almacenados en los tejidos y es un importante atributo de calidad (Saftner et al., 2007). Depende de la síntesis de carotenoides y de su acumulación en los cromoplastos durante la maduración. Las variedades o cultivares de pulpa roja son una fuente segura de carotenoides, siendo menor el contenido en variedades de pulpa color amarillo, naranja o rosado. Un aspecto fisiológico que justifica una mayor investigación es si la acumulación de licopeno, que depende de la maduración, está relacionada con la inhibición de la síntesis de  $\beta$ -caroteno y si la transición de rojo a naranja en el color de pulpa observada en la maduración excesiva se deriva de la conversión del licopeno en  $\beta$ -caroteno (Kyriacou et al., 2018).

Perkins-Veazie et al. (2001) investigaron 11 cultivares de sandías de pulpa de color rojo, donde midieron el color de la pulpa en la zona locular y central utilizando un colorímetro el cual determinó el color en el sistema del espacio tridimensional CIE  $L^*a^*b^*$ . La luminosidad, el tono y el croma presentaron valores entre 33,4 a 45,3; 22,6 a 30,3 y 22,1 a 29,9, respectivamente. La luminosidad fue baja. El tono como ángulo hue de 26,7 ° es el color rojo, mientras que valores entre 28 a 30 ° corresponden al amarillo rojizo y entre 22 a 24 ° al rojo granate o rojo púrpura. El croma mide la saturación o la intensidad del color y los valores hallados fueron bajos indicando baja saturación.

Suárez-Hernández et al. (2017) en un estudio en sandía injertada obtuvieron que el color de pulpa en los frutos de sandía de color rojo brillante se modificó a rojo anaranjado, opaco y claro a los 14 días de almacenamiento entre 15 a 17 °C y 80% HR. Este cambio de coloración está asociado al nivel progresivo de senescencia como resultado de los días transcurridos durante el almacenamiento y de las condiciones de temperatura presentes.

#### **2.5.4 Textura: firmeza y jugosidad de pulpa**

La firmeza de pulpa es una característica importante en la vida útil poscosecha de los frutos. Tiene efecto, entre otros factores, sobre la resistencia a los daños mecánicos durante el transporte y la comercialización, en especial en frutos como la sandía. Con el avance del proceso de maduración la firmeza de la pulpa tiende a disminuir, lo que se debe a la hidrólisis de varios polisacáridos estructurales, siendo las pécticas las principales (Soares da Silva et al., 2020).

Suárez-Hernández et al. (2017) evaluaron en sandías injertadas que la firmeza de pulpa varió entre 12,66 a 19,54 N en el día 0 y disminuyó un 14% a los 14 días de almacenamiento (15 a 17 °C y 80 % de HR).

La firmeza de pulpa entre 15 a 20 N se corresponde a una sandía de pulpa crujiente que aprecia el mercado (Camacho Ferre & Fernández Rodríguez, 2000).

Un defecto importante en la sandía, vinculado a los cambios de las paredes celulares del tejido de pulpa durante la maduración del fruto, es la presencia de corazón hueco. El corazón hueco es un desorden fisiológico interno del fruto caracterizado por una fisura en el tejido placentario que se expande formando una cavidad o espacio vacío de aire en el centro. Este desorden constituye un defecto interno grave que se encuentra predominantemente en sandías triploides y no se puede distinguir visualmente a menos que se corte el fruto. Se debe a la polinización inadecuada por visitas reducidas de abejas o liberación limitada de polen debido al clima frío o húmedo (Trandel et al., 2021).

La aparición de ahuecado aumenta si el abonado nitrogenado y el riego son excesivos especialmente durante el cuajado del fruto (Diezma et al., 2004).

Según Trandel y Perkins-Veazie (2020) quienes estudiaron en 13 cultivares de sandía triploide durante 3 temporadas, la incidencia de corazón hueco, puede explicarse a través de un modelo de regresión lineal, con la siguiente fórmula:  $y = -6,6152(N) + 115,29$ , donde  $y =$  % de corazón hueco y  $N$  representa la firmeza de pulpa en Newton ( $R^2 = -0,7837$ ,  $p < 0,0001$ ). Por lo tanto, la firmeza de pulpa está correlacionada negativamente con la incidencia de corazón hueco. La tendencia es que a mayor firmeza de pulpa menor incidencia de corazón hueco, por lo cual, la selección de cultivares de mayor firmeza de pulpa reduce su incidencia y severidad de este desorden.

El corazón hueco afecta la calidad organoléptica de la sandía, ya que la pulpa se caracteriza por presentar un menor contenido de agua y una textura harinosa y es frecuente en producciones tempranas. La presencia de pequeñas grietas en la pulpa de la sandía no afecta la vida poscosecha, pero a medida que esta aumenta, disminuye la frescura y el sabor (Diezma Iglesias et al., 2005).

El contenido de jugo es una medida muy importante de la calidad interna del fruto, si el fruto está inmaduro o sobremaduro la tendencia es que el contenido de jugo sea menor (Barman et al., 2015).

La jugosidad de la pulpa es la sensación de derrame de líquidos en el interior de la boca a medida que son masticados (Bianchi et al., 2018). Estos autores determinaron, para dos variedades de sandía (Cuoredolce y Rugby), el porcentaje de jugosidad de la

pulpa, y encontraron que la pulpa de fruta madura fue más jugosa que la de las inmaduras, con valores de 12,8 a 13,0% y 9,1 a 10,3% respectivamente.

### **2.5.5 Sólidos solubles totales (SST)**

El contenido de sólidos solubles totales (SST) es una medida del dulzor del fruto y está constituido por azúcares, ácidos y además por pequeñas cantidades de vitaminas, fructanos, proteínas, pigmentos, fenoles y minerales. Es la característica de mayor importancia en la determinación de la calidad interna de los frutos de sandía para consumo *in natura* o industrial (Devi et al., 2020; Soares da Silva et al., 2020). En sandías para consumo *in natura* los valores  $\geq 10$  °Brix se considera muy bueno y  $> 8$  °Brix como bueno (Kader, 2007b).

Wehner et al. (2017) y Suárez-Hernández et al. (2017) obtuvieron en pulpa de sandía valores de SST en pulpa entre 10,3 a 12,50 °Brix. En las que se destinan para la industria, un elevado contenido de SST implica menor adición de azúcares, menor tiempo de evaporación de agua y mayor rendimiento por lo que son preferidas (Soares da Silva et al., 2020).

MacGillivray (1947) analizó en 23 variedades de sandía, el contenido de SST en diferentes partes del fruto, encontrando que se reducen los SST desde el centro del fruto (12,59 °Brix) hacia la cáscara (9,33 °Brix), hay un 2% más en la zona distal que proximal al pedúnculo, y es menor en la zona de apoyo (9,29 °Brix) que en la zona opuesta (9,82 °Brix). Por otra parte, luego de la cosecha en la sandía ocurre una pérdida continua de azúcares solubles ya que no poseen una reserva de carbohidratos que puedan ayudar a mantener constantes los niveles en el fruto una vez que se van degradando (Fornaris Rullán, 2000).

### **2.5.6 pH y acidez titulable (AT)**

Los ácidos orgánicos como el acético, benzoico, cítrico, málico, ascórbico, succínico y tartárico son naturalmente encontrados en una variedad de frutos y comidas fermentadas y poseen actividad bactericida. La acción antimicrobiana de los ácidos orgánicos es debido a que reduce el pH del medio celular por disociación de iones del Hidrógeno del ácido. Por esta razón, algunas investigaciones se han enfocado en aplicar estos compuestos para preservar y extender la vida de mostrador en productos frescos y productos mínimamente procesados en fresco de frutas y vegetales (Tapia et al., 2015).

Chisholm y Picha (1986) estudiaron dos variedades de sandía tipo Crimson maduras, y hallaron que el ácido predominante en la pulpa del fruto fue el málico, el

ácido cítrico en menor proporción y los ácidos, fumárico (<0,01%) y succínico en concentraciones extremadamente bajas. La concentración de ácido málico y cítrico presentó un rango de valores de 0,172 a 0,304% y 0,049 a 0,095% respectivamente, en condiciones de almacenamiento de 0, 7, 16, 23 y 27 °C y 90 ± 5% HR, medidos a los 0; 14 y 19 días. La concentración de ácido málico y cítrico no fueron afectadas por la temperatura de almacenamiento excepto cuando la temperatura alcanzó valores entre 23 a 27 °C se redujo el contenido de ácido cítrico.

Por otro lado, Kyriacou et al. (2018) en un estudio en 8 cultivares diploides de sandía maduras obtuvieron que el pH en la pulpa de sandía varió entre 5,4 a 5,9. Más recientemente, Soares da Silva et al. (2020) estudiaron nueve variedades de sandía y hallaron valores de pH en pulpa entre 5,43 a 6,07. En condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente de 37,7 °C de máxima y de 26,3 °C de mínima y 85,2% de máxima y 68,1% de mínima HR, el pH de los frutos aumentó a medida que se prolongó el período de almacenamiento, obteniendo un máximo de 5,87 a los 20 días después de cosecha.

Corey y Schlimme (1988) determinaron la evolución del pH con el transcurso de la maduración y encontraron en las inmaduras el menor valor, siendo de 5,2. En madurez óptima los valores estuvieron entre 5,2 a 5,6 y en frutos con sobremadurez, los valores de pH fueron de 5,9. Además, los valores de acidez titulable en % de ácido málico en pulpa de sandía inmadura, madurez óptima y sobremadurez estuvieron entre 0,095 a 0,125; 0,068 a 0,097 y 0,058 a 0,080 respectivamente. También se reporta que, la acidez en la pulpa de sandía decrece a medida que el color de pulpa presenta sobremadurez (Kyriacou et al., 2018).

## **2.6 PRINCIPALES ALTERACIONES DE LA CALIDAD EN POSCOSECHA**

Las principales alteraciones o pérdidas de la calidad durante la poscosecha de frutas y hortalizas pueden deberse a factores fisiológicos, patológicos y físicos.

Las alteraciones o desórdenes fisiológicos son aquellos que producen degradación de los tejidos vegetales debido a un ambiente adverso, sobre todo en lo que refiere a la temperatura o a una deficiencia nutritiva durante su desarrollo. Las deficiencias nutricionales ocurren en el periodo precosecha, durante el crecimiento del fruto, y se asocian a la carencia de minerales como magnesio, manganeso, calcio y boro entre otros. Las condiciones de temperatura ambiental antes y durante la cosecha y en el almacenamiento también generan desórdenes fisiológicos. Una inadecuada composición atmosférica que rodea al producto vegetal por ejemplo baja concentración

de oxígeno y alta concentración de dióxido de carbono o la presencia de etileno pueden producir desórdenes respiratorios (Leoni & Mondino, 2003).

En la poscosecha de las sandías los desórdenes fisiológicos más frecuentes que se observan son el daño de sol, los daños por frío, corazón hueco, frutos inmaduros o sobremaduros (Fornaris Rullán, 2000), y la presencia de semillas en las sandías sin pepitas y los golpes o heridas cicatrizadas (Maroto Borrego et al., 2002).

Las frutas de sandía cosechadas no deben exponerse al sol por mucho tiempo para evitar que se calienten o sufran daño por sol. Cuando la temperatura del aire es mayor a 32,2 °C causan descomposición interna del fruto y un aumento en su deterioro y pudrición, daños que requieren varios días para ser aparentes (Fornaris Rullán, 2000).

Soares da Silva et al. (2020) evaluaron en nueve variedades de sandías cultivadas en el estado de Roraima (Brasil) las características morfológicas, fisicoquímicas y vida útil en cinco tiempos de almacenamiento: 0; 5; 10; 15 y 20 días en condiciones ambientales de 37,7 °C de temperatura máxima y 26,3 °C de mínima y humedad relativa máxima de 85,2% y mínima de 68,1%. Según estos autores, las elevadas temperaturas poseen influencia en la calidad de fruto debido a mayor síntesis de compuestos secundarios y acumulación de mayores concentraciones de azúcares solubles, siendo estos azúcares degradados después de la cosecha, especialmente cuando los frutos son mantenidos sobre temperatura ambiente. Los frutos de las variedades de sandía pierden calidad rápidamente y no son aptos para su consumo *in natura* después de los quince días de almacenamiento debido a estas condiciones ambientales, en la cual el contenido de sólidos solubles totales es inferior a 9 °Brix.

La contaminación de las frutas por el organismo causal de una enfermedad puede ocurrir en el campo, antes o durante la cosecha, o en cualquier momento durante su posterior manejo. Estos organismos pueden estar en la superficie del fruto y se desarrollan si las condiciones son favorables como, por ejemplo, después de la lluvia y/o condiciones de alta humedad durante el período de producción y cosecha. Son causadas por hongos fitopatógenos como la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum* spp., la pudrición negra causada por el hongo *Didymella bryoniae*, pudrición por fusarium (Fusarium rot), causada por el hongo *Fusarium* spp., pudrición por Phytophthora (Phytophthora fruit rot), causada por varias especies del hongo *Phytophthora*, principalmente *P. capsici* y la pudrición proximal o del pedúnculo (stem-end rot), causada por el hongo *Lasiodiplodia theobromae* (sin. *Diplodia natalensis*), según lo mencionado por Cabrera (2000).

Algunos de los microorganismos patógenos tienen la capacidad de disolver el tejido para penetrar y otros necesitan aperturas naturales o las causadas por daños de insectos, cortaduras, machucones, daño por frío, impactos, compresión u otras condiciones que debilitan el tejido (Fornaris Rullán, 2000).

En el manejo preventivo de las enfermedades que afectan a los frutos de sandía después de la cosecha se deben realizar prácticas sanitarias que reduzcan la presencia de los organismos patógenos, manejar con cuidado los frutos para evitar causar daños físicos y mecánicos y mantener los frutos bajo condiciones ambientales que no favorezcan el desarrollo de los organismos patógenos que causan las enfermedades, entre otros (Fornaris Rullán, 2000).

Los daños físicos ocurren fundamentalmente durante la cosecha y el transporte. Cuando los frutos de sandía se transportan a granel pueden sufrir compresión, sobre todo aquellos frutos que están en la parte inferior de la estiba, debido al peso de las frutas que se encuentran sobre ellas determinando la ocurrencia de daños físicos y las consecuentes pérdidas por este motivo (Fornaris Rullán, 2000).

Los defectos externos en la cáscara que comúnmente afectan a la sandía son la sobremaduración y los machucones (Mohd Ali et al., 2017), también los daños físicos como heridas y rajaduras ocasionados por el manejo brusco de los frutos, durante la cosecha y/o transporte y la presencia de hongos en la superficie del fruto (Fornaris Rullán, 2000). Detectar machucones o magulladuras internas en la pulpa es particularmente difícil debido a la gruesa cáscara que oculta el daño (Sadri et al., 2008).

Una forma objetiva de identificar el estado de madurez, la sobremaduración y/o presencia de machucones externos e internos del fruto está siendo explorada en investigaciones aplicando el sonido, la luz infrarroja u otros métodos. Las propiedades acústicas de algunos productos agrícolas han sido estudiadas con el objetivo de relacionarlas con la firmeza y/o calidad interna de los mismos. Tradicionalmente en la sandía se ha empleado la práctica de golpear manualmente el fruto y atender el sonido que se produce para tener una idea de su estado de madurez. Este método está sometido a la subjetividad del técnico o recolector, además es inviable golpear manualmente todos los frutos en una planta de envasado (Diezma et al., 2004). Cuando la fruta está inmadura el sonido que produce al ser golpeada con la mano es un sonido algo metálico, vibrante y seco, en contraste con el sonido de la fruta madura que es más suave, apagado, algo opaco o hueco (Fornaris Rullán, 2000).

Sadnia et al. (2008) utilizaron el método de análisis de elementos finitos (Finite Element Analysis) no lineal para investigar los machucones internos en las sandías cuando se comprimían en dirección longitudinal y transversal mediante placas paralelas. Para este estudio estos autores utilizaron dos variedades de sandía, Crimson Sweet (forma esférica) y Charleston Grey (forma elipsoide) en donde las fuerzas aplicadas eran el 10% de la fuerza de rotura, que correspondió a 152 N y 92 N en dirección longitudinal y 252 N y 130 N en dirección transversal, para Crimson Sweet y Charleston Grey respectivamente. El análisis mostró que la ruptura de la cáscara es más probable en la compresión longitudinal que en la transversal y que los machucones en la pulpa es la forma principal de daño mecánico durante la compresión.

## **2.7 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO**

El almacenamiento refrigerado se utiliza para prolongar la comercialización más allá del término de la estación de cosecha. Tiene por objetivo el disminuir la actividad biológica del producto mediante el mantenimiento de la temperatura más baja que no le cause daño por congelación o frío y el de disminuir el crecimiento y propagación de los microorganismos. Por otro lado, el manejo de la temperatura también permite el control de la HR en el ambiente de conservación evitando la condensación de agua sobre la superficie del producto y/o la deshidratación (Thompson, 2007b).

Las temperaturas óptimas para el almacenamiento a corto plazo y para el transporte de la sandía es de entre 7 - 10 °C, mientras que la HR debe mantenerse en el 90%, para un período mayor de una semana es de 10 - 15 °C y HR de 90 % (Cantwell & Kasmire, 2007).

Si la temperatura interna de los frutos de sandía se mantiene por más de 7 días a 7,2 °C, podrían sufrir daños por frío. En algunos casos se han observado síntomas de daño por frío luego de dos semanas de almacenamiento a 10 °C. Estos síntomas se manifiestan posteriormente en las frutas, cuando se colocan por varios días a temperaturas un poco más altas, típicas de los lugares de venta (20 °C) (Fornaris Rullán, 2000). Se manifiestan como una pérdida de calidad interna, un deterioro del color y sabor de la pulpa y en la formación de depresiones en la superficie de la fruta que se deshidratan al remover los frutos del almacenamiento, donde posteriormente se podría desarrollar pudrición (Cantwell & Kasmire, 2007).

Araújo Neto et al. (2000) realizaron un estudio en sandías de la variedad Crimson Sweet en donde evaluaron la vida útil poscosecha en condiciones ambientales con temperaturas entre 22 a 26 °C y 52 a 60% de HR durante 21 días. Las variables

analizadas fueron el tamaño de fruto que fueron clasificados de acuerdo a su tamaño de comercialización en pequeños ( $4,39 \pm 0,85$  kg), medianos ( $6,94 \pm 0,77$  kg) y grandes ( $9,78 \pm 1,02$  kg), pérdida de peso a los 21 días (peso inicial menos el peso final expresado en porcentaje), apariencia externa e interna, firmeza, pH, acidez total titulable, sólidos solubles y azúcares.

Para la evaluación de la apariencia externa se utilizó una escala subjetiva con valores del 1 al 5 considerando ausencia o presencia de ataque fúngico (1= fruto extremadamente deteriorado; 2= severo; 3= medio; 4= leve; 5= ausencia de defecto). La apariencia interna fue evaluada por la incidencia de colapso interno, semillas sueltas y presencia de líquido en la cavidad de las semillas (1= fruto extremadamente deteriorado; 2= severo; 3= medio; 4= leve; 5= ausencia de daños), frutos con valores  $\leq 3$  fueron considerados de baja calidad para el consumo.

Los resultados del estudio fueron que las sandías de tamaño medio y grande presentaron mejor apariencia externa que las de tamaño pequeño. La pérdida de peso a los 21 días fue de 3,79% y no causó marchitamiento en los frutos manteniendo la buena apariencia comercial, por lo tanto, esta variedad presenta buena resistencia a la pérdida de peso. La firmeza de pulpa tuvo un leve aumento a partir del tercer día de almacenamiento y luego se mantuvo constante hasta el final del experimento. Este comportamiento está relacionado con la elasticidad de la pulpa que redujo la textura crujiente característica de la pulpa de la sandía, limitando la vida poscosecha de estos frutos en 12 días almacenados en estas condiciones. La apariencia externa e interna de las sandías a los 18 días presentaron un valor de 3, el pH de la pulpa aumentó de 4,89 a 5,20, la acidez titulable total decreció un 58,6% y el contenido de azúcares se redujo durante el período de almacenamiento.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAL VEGETAL**

Los frutos de sandías (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai.), variedad híbrida Santa Amelia (Bayer, s.f.), fueron adquiridas en la Unidad Agroalimentaria Metropolitana (UAM), principal mercado mayorista de comercialización y distribución de frutas y hortalizas del país. Las sandías fueron obtenidas de un mismo lote de un operador mayorista de la UAM y productor del departamento de Rivera (Uruguay) en la zona de Buena Unión (latitud -31,232648, longitud -55,638046). La cosecha se realizó en la mañana del 25 de enero de 2022. Inmediatamente después los frutos fueron trasladados a granel en un camión llegando en la madrugada del 26 de enero de 2022 a la UAM.

Las sandías fueron inspeccionadas y se seleccionaron frutos con un peso entre 8 y 12 kg, que estuvieran maduros y sin defectos visibles. Se consideró fruto maduro cuando en la cáscara se observó que el color de fondo de las estrías o franjas era verde blanquecino-amarillo, el color de la zona de apoyo era blanco-amarillo (marfil) y el sobre color verde opaco (poco luminoso). Además, la cicatriz calicinar debía estar seca y de reducido tamaño, el pedúnculo y la cicatriz caulinar también secos y al golpear el fruto con los dedos debe sonar hueco (Crawford, 2017; Fornaris Rullán, 2000).

Se consideraron como daños graves o leves a las pudriciones o manchas por presencia de hongos, daños de sol, daños físicos (rajaduras, machucones, golpes), frutos sobremaduro o inmaduro de acuerdo a la tipificación de calidad utilizada en la UAM (Observatorio Granjero, s.f.).

Las sandías seleccionadas fueron trasladadas en una camioneta al laboratorio de Poscosecha de frutas y hortalizas de la Facultad de Agronomía ubicado a 5,6 km de la UAM.

Los frutos fueron almacenados por 0, 7, 14, 21 y 28 días en una cámara refrigerada a temperatura de  $11,1 \pm 0,13$  °C y  $98,2 \pm 1,5$  % de humedad relativa (HR) tal como se muestra en la Figura 3. En cada fruto y para cada momento de almacenamiento (0, 7, 14, 21 y 28 días), se midieron las siguientes variables: pérdida de peso, aspecto general externo, temperatura del fruto, peso específico, color de cáscara y de pulpa y aspecto general de pulpa. Además, en la pulpa se determinó la textura, la firmeza y jugosidad y el contenido de: sólidos solubles totales (SST), jugo de pulpa, pH y acidez titulable (AT), carotenoides totales y licopeno, polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante total (CAT).

**Figura 3**  
*Frutos almacenados en la cámara refrigerada*



*Nota.* Frutos almacenados en la cámara refrigerada en el día 0.

### **3.2 DETERMINACIÓN DE VARIABLES**

En el fruto entero y en la pulpa para cada momento de salida de la cámara refrigerada se determinaron las variables que se describen a continuación.

#### **3.2.1 Pérdida de peso**

Se determinó el peso de cada fruto (41 frutos) al instalar el estudio (0 día) y en cada momento de salida de cámara refrigerada (7, 14, 21 y 28 días). Para cada momento de salida se pesaron 8 frutos tomados al azar. Para la determinación del peso se utilizó una balanza (Torrey, PCR 40, México). La pérdida de peso se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

donde:

Pi es el peso inicial (0 día)

Pf es el peso final para cada momento de salida de cámara refrigerada. Los resultados se expresaron como porcentaje del peso inicial (%).

### **3.2.2 Aspecto general externo de fruto**

En cada momento de salida de cámara se realizó una evaluación general del aspecto de los frutos, identificando y cuantificando daños visibles fisiológicos, patológicos y/o físicos. El aspecto general externo del fruto se determinó visualmente y para ello se construyó una escala visual, basada en el trabajo de Kader (2007c), con 5 categorías donde 5 correspondió a Muy bueno; 4 a Bueno; 3 a Aceptable; 2 a Malo y 1 a Muy malo (Tabla 2).

Las variables que se tuvieron en cuenta para construir la escala fueron el color de cáscara compuesto por el tono de color de fondo y sobrecolor, su uniformidad, intensidad y luminosidad; el color de la zona de apoyo y la presencia de defectos como heridas, manchas, cicatrices, hongos y/o pudriciones, daños por sol y rajaduras.

Además, se evaluó el sonido emitido al golpear en la zona ecuatorial del fruto con un pilón. El sonido se categorizó como hueco o seco.

**Tabla 2**  
*Aspecto general externo del fruto*

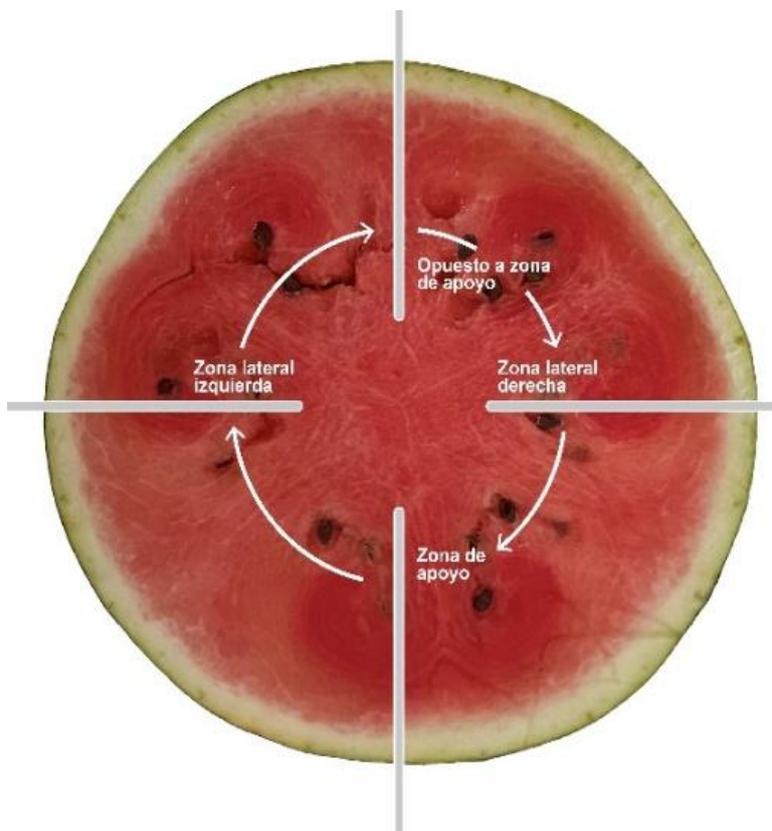
Aspecto general externo del fruto	Categoría	Color de fondo y sobre color	Color de zona de apoyo	Defectos visibles en la cáscara
 Muy bueno	5	Verde-blanquecino-amarillento Verde oscuro opaco	Blanco-amarillo (marfil)	Cicatrices y/o manchas menos de 5% de superficie
 Bueno	4	Verde-amarillo claro Verde oscuro opaco	Amarillo claro	Cicatrices y/o manchas menos de 5% de superficie
 Aceptable	3	Amarillo Verde-amarillo	Amarillo	Heridas, manchas, cicatrices, hongos, daño por sol menos de 10% de superficie
 Malo	2	Amarillo Verde-amarillo	Amarillo y manchas marrones	Heridas, manchas con presencia de hongos, pudriciones, daño por sol, entre 20 a 40% de la superficie
 Muy malo	1	Amarillo Verde-amarillo	Amarillo y manchas marrones	Heridas, cicatrices, manchas, hongos y/o pudriciones, daños por sol en más de 40% de la superficie, rajaduras

### 3.2.3 Temperatura del fruto

En todos los momentos de salida de cámara refrigerada (0, 7, 14, 21 y 28 días) se midió la temperatura en fruto entero. La temperatura se determinó con un termómetro digital con sonda ( $\pm 1$  °C; Lacor, España) en la zona ecuatorial de fruto a 2, 5 y 10 cm desde la cáscara a la cavidad seminal, en cuatro puntos opuestos equidistantes entre sí, comenzando desde la zona de apoyo y siguiendo el sentido de las agujas del reloj (Figura 4). Los resultados se expresaron en grados Celsius (°C).

**Figura 4**

*Zonas de medición de la temperatura en pulpa del fruto*



*Nota.* Corte transversal de fruto de sandía.

### 3.2.4 Dimensiones y peso específico

El volumen del fruto se determinó por desplazamiento de agua mediante el principio de Arquímedes, relacionando el desplazamiento de un volumen de agua conocido por el fruto y el peso específico relacionando el peso del fruto con respecto al volumen (García, 2006). Los resultados del volumen del fruto se expresaron en  $\text{dm}^3$ .

Se procedió a pesar una cubeta con agua con un volumen conocido, previa tara del mismo, con una balanza (Mettler Toledo, Wildcat, China,  $150 \text{ kg} \pm 50 \text{ g}$ ) luego se introdujo el fruto y se registró el peso del agua más el fruto en kilogramos (kg). Con los datos obtenidos se calculó el peso específico con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de fruto}}{\text{Peso de fruto} - \text{peso de fruto en agua}}$$

El peso específico está relacionado con la densidad y éste a su vez con la flotabilidad (Wilson et al., 2007):

Un objeto flota en un fluido, si su densidad promedio es menor que la densidad del fluido.

Un objeto se hunde en un fluido, si su densidad promedio es mayor que la densidad del fluido

Un objeto está en equilibrio a cualquier profundidad sumergida en un fluido, si su densidad promedio es igual a la densidad del fluido.

La densidad del agua es 1 kg/L.

A fin de describir la forma del fruto se determinó el largo y diámetro ecuatorial del fruto, el espesor de la cáscara (epidermis y anillo) y el espesor de la pulpa (desde el anillo hasta el centro del fruto) para lo cual se utilizó una regla milimétrica. Para medir el diámetro ecuatorial del fruto, el espesor de la cáscara y de la pulpa, se cortó el fruto con una cuchilla doméstica en la zona ecuatorial una rodaja de 5 a 7 cm de ancho.

Además, se calculó el volumen de un elipsoide utilizando la fórmula propuesta por Larson et al. (1999), que se presenta a continuación:

$$\text{Volumen (dm}^3\text{)} = \frac{4\pi}{3} \times \frac{a}{2} \times \frac{b}{2} \times \frac{c}{2}$$

donde:

a: es el diámetro mayor

b: es el largo de fruto

c: es el diámetro menor

Los datos se expresaron en decímetros cúbicos (dm<sup>3</sup>).

### 3.2.5 Color de cáscara y de pulpa

El color de la cáscara y de pulpa se determinó instrumentalmente con un colorímetro (Minolta CR10, Japón) con iluminante D65 y ángulo observador 10. El colorímetro determina el color en el sistema del espacio tridimensional CIE L\*a\*b\*, y se midió los parámetros L\*, a\* y b\*, donde L\* es la luminosidad del color (0 opaco, 100 luminoso), a\* (+a rojo, -a verde) y b\* (+b amarillo, -b azul). Se calculó el Cromo y el Tono (°hue) con las siguientes fórmulas en base a McGuire (1992):

$$\text{Croma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Tono (}^\circ \text{ hue)} = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$\text{Si } a^* > 0 \text{ y } b^* \geq 0 \text{ h}^\circ = \text{arco tangente} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

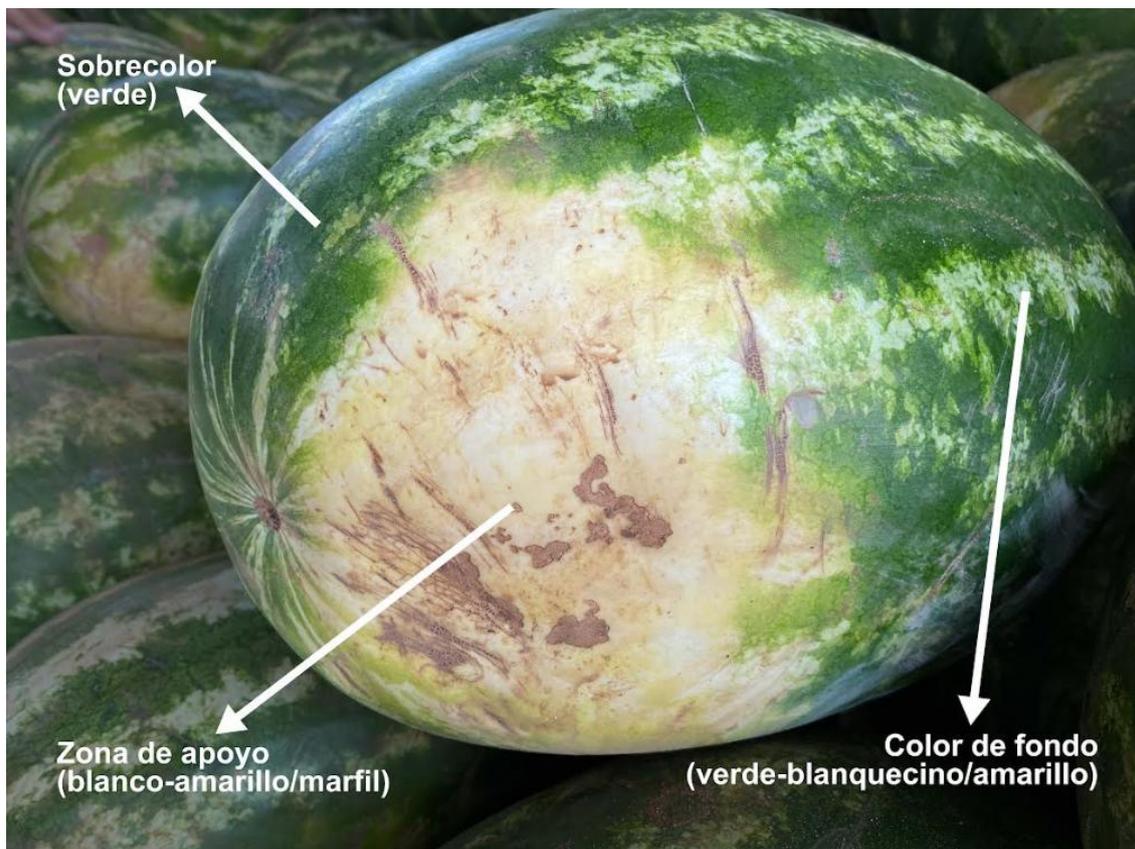
$$\text{Si } a^* < 0 \text{ h}^\circ = 180^\circ + \text{arco tangente} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$\text{Si } a^* > 0 \text{ y } b^* < 0 \text{ h}^\circ = 360^\circ + \text{arco tangente} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

Los valores que toma la luminosidad ( $L^*$ ) del color son entre 0 (opaco) a 100 (luminoso). El tono del color ( $^\circ \text{ hue}$ ) entre valores de 0 a  $360^\circ$  siendo  $0^\circ$  rojo púrpura,  $90^\circ$  amarillo,  $180^\circ$  verde azulado y  $270^\circ$  azul. El croma o saturación del color indica la intensidad del color siendo los valores desde el menos saturado (0) a más saturado (60) (McGuire, 1992).

El color de la cáscara de cada fruto fue determinado al inicio (0 día) y luego de cada tiempo de conservación refrigerada. A fin de evaluar los cambios en el color las mediciones se realizaron en el mismo lugar para lo cual se marcaron círculos sobre el fruto en las tres zonas anteriormente mencionadas (color de fondo, sobrecolor y zona de apoyo) tal como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**  
*Zonas de color en el fruto*

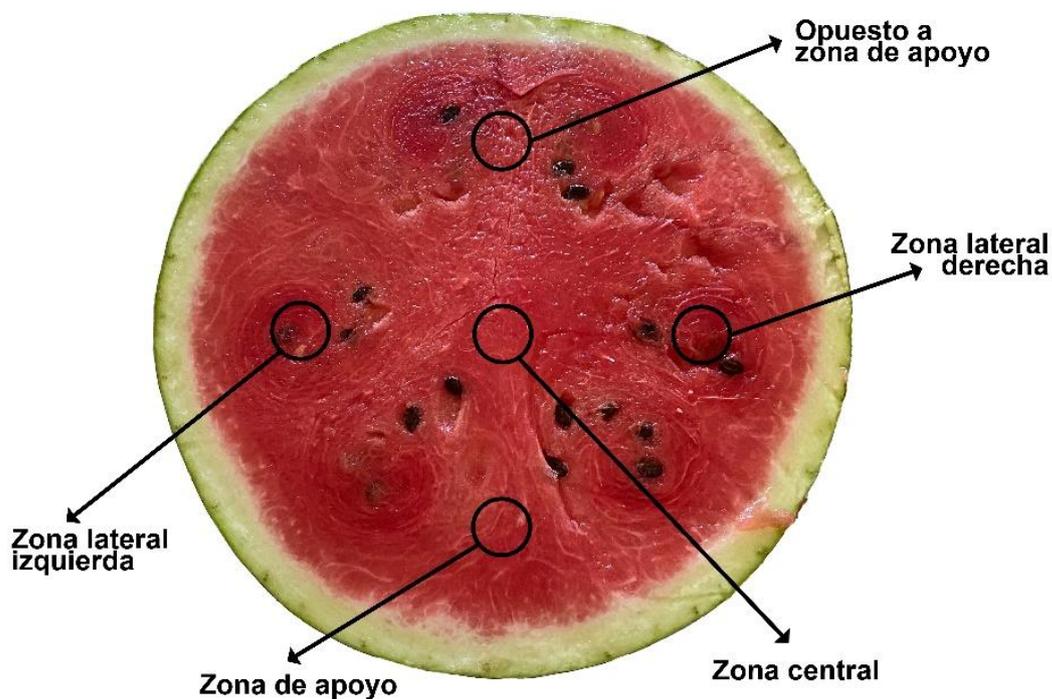


*Nota.* Los colores se corresponden a madurez óptima de cosecha.

El color de la pulpa se determinó instrumentalmente, en la rodaja que se obtuvo al cortar el fruto y se midió a los 5-8 cm distante de la cáscara hacia el centro del fruto en 4 zonas equidistantes entre sí y en el centro de la misma y se obtuvieron cinco datos por fruto (Figura 6).

**Figura 6**

*Zonas de muestreo para determinación de color de pulpa*

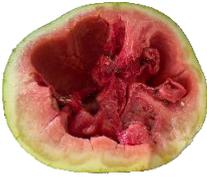


### 3.2.6 Aspecto general de pulpa

En cada momento de salida de cámara se realizó una evaluación del aspecto general de pulpa identificando y cuantificando daños visibles fisiológicos, patológicos y/o físicos. El aspecto general de pulpa del fruto se determinó visualmente y para ello se construyó una escala visual con 5 categorías Muy bueno (5), Bueno (4), Aceptable (3), Malo (2), Muy malo (1) basado en Kader (2007c) y descritas en la Tabla 3.

Las variables que se tuvieron en cuenta para construir la escala visual fueron el color de la pulpa compuesto por el tono, intensidad, luminosidad y uniformidad. La textura si al momento del corte cruje o no, si presenta zonas de consistencia acuosa y/o granulosa, presencia de grietas y/o corazón hueco.

**Tabla 3**  
*Aspecto general de pulpa*

Aspecto general de pulpa	Categoría	Color	Textura	Corazón hueco y/o grietas
 Muy bueno	5	Rojo intenso, brillante y uniforme	Crujiente al corte	Ausencia
 Bueno	4	Rojo intenso y uniforme	Crujiente al corte, zona de semillas ligeramente acuosa	Ausencia
 Aceptable	3	Rojo, rojo más pálido y opaco, al centro rosado, zona de semillas ligeramente marrón	Crujiente al corte, con zonas acuosa y granulosa	Presencia de grietas
 Malo	2	Rosado, zona de semillas ligeramente marrón	No cruje al corte, zonas acuosas y granulosa	Presencia de grietas y corazón hueco
 Muy malo	1	Rosado muy claro y translúcido, semillas negras	No cruje al corte, estructura extremadamente débil, ablandamiento severo	Pulpa colapsada

### 3.2.7 Textura: firmeza y jugosidad de pulpa

La firmeza de la pulpa del fruto se determinó como la máxima fuerza de compresión realizada en cubos de 5 cm de lado, sin cáscara y obtenidos en cada fruto y de las mismas zonas donde se midió el color. La medición se realizó con un texturómetro (Stable Micro Systems, TA.XT Express Enhanced, Estados Unidos) provisto de un plato de 7,5 cm (SMS P/75) sometiendo la fuerza en la dirección desde la cáscara hacia el centro del fruto. Las condiciones de la determinación se correspondieron a una fuerza de 1500 g y 5 mm/s. Para determinar la firmeza por compresión la pulpa fue colocada en la base de una caja de Petri previamente pesada. Los resultados se expresaron en Newton (N).

Luego de la compresión se calculó el peso del jugo de pulpa extraído. Según Zerbini et al. (1999, como se cita en Bianchi et al., 2018) el jugo extraído por compresión se correlaciona con la sensación de jugosidad de la pulpa al primer contacto de la boca al comer la fruta:

$$\text{Jugosidad (\%)} = \frac{\text{Peso de jugo (g)}}{\text{Peso del cubo}} \times 100$$

donde:

Peso de jugo (g) = es la diferencia entre la placa vacía y la placa con el jugo

Peso del cubo de 5 cm de lado (g) = 189,2148

Los resultados se expresaron como jugosidad en porcentaje (%).

### 3.2.8 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de los sólidos solubles totales (SST) de la pulpa del fruto se determinó por refractometría según el método 932.12. (Latimer, 2012) con un refractómetro digital portátil autocompensado por temperatura (Atago, PAL-1, 0 a 53%  $\pm 0,1$  ° Brix, Japón). En el procedimiento se utilizó una prensa de ajo de uso doméstico, para extraer el jugo de la pulpa obtenidos de los cinco cubos utilizados para medir la firmeza. Los valores se expresaron en grados Brix (°Brix).

### 3.2.9 Jugo de pulpa

En cada fruto se determinó el contenido de jugo de 100 g de pulpa, extrayendo el jugo mediante una juguera doméstica (Philips, China) y pesándolo con una balanza

digital (Lian Ding, FA/JA, China). El porcentaje de jugo en la pulpa fresca (% jugo) se calculó con la siguiente fórmula (Feippe & Carballo, 2003):

$$\% \text{ jugo} = \frac{v_j - v_v}{f} \times 100$$

$v_v$  = peso de vaso vacío

$v_j$  = peso de vaso vacío + jugo

$f$  = peso de fruto

Los datos se expresaron en porcentaje de jugo/100 g de pulpa (%).

Con el jugo obtenido de cada fruto se procedió a centrifugar 40 mL con una centrífuga refrigerada a 4 °C, velocidad a 10500 xg y un tiempo de 10 min (ThermoScientific, Sorvall ST16R, Estados Unidos), y posteriormente se guardó en cámara refrigerada (5 °C) 24 h para realizar la determinación de la acidez titulable y el pH.

### 3.2.10 pH y acidez titulable (AT)

El pH se determinó según el método 981.2. descrito por Latimer (2012) con un pHmetro digital (Cole-Parmer, Digi-Sense, Estados Unidos). Se midió el pH del jugo del fruto a una temperatura de 20 °C.

Para valorar la AT del jugo se utilizó el método 942.15. (Latimer, 2012). Se preparó una solución de hidróxido de sodio (0,1 N, NaOH, Carlo Erba, Italia). En un vaso de Bohemia se colocaron 10 mL de jugo del fruto y se agregaron 15 mL de agua destilada para posteriormente realizar la titulación con una bureta digital (Jencons, Digitrate Pro, Estados Unidos). Se homogeneizó la muestra y se midió el pH hasta alcanzar el punto final en valor de 8,1. Se realizó la valoración por duplicado para cada fruto. Para el cálculo de porcentaje de ácido se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácido} = \frac{\text{Gasto NaOH} \times [\text{N NaOH}] \times \text{F ácido málico}}{\text{Volumen de jugo}} \times 100$$

donde:

G NaOH = gasto promedio de la solución NaOH 0,1N

N NaOH = Normalidad de la solución de NaOH en meq/soluto

F ácido málico = peso equivalente del ácido predominante del vegetal muestreado expresado en gramos del ácido por miliequivalente

Los resultados fueron expresados en porcentaje de ácido málico (%).

### 3.2.11 Carotenoides totales y licopeno

La determinación de carotenoides totales y de licopeno en la pulpa se realizó por espectrofotometría de acuerdo a lo descrito por González-Casado et al. (2018). La extracción de los carotenoides se realizó por triplicado para cada fruto, utilizando 1 g de pulpa congelada (-18 °C), al que se agregó 10 mL de una solución de etanol (Emsure®, Alemania) y hexano (Carlo Erba, Italia) en una relación de 4:3 (v/v) y 1% de butilhidroxitolueno (BTH) (Sigma-Aldrich, Alemania). De inmediato se homogeneizó (Scientz, XHF-D, China) a máxima velocidad (10.000 rpm) por 0,1 min realizando el procedimiento manteniendo el frío con hielo y al resguardo de la luz. Luego se centrifugó (ThermoScientific, Sorvall ST16R, Estados Unidos) a 10.500 xg por 10 min. a 4 °C y se guardó en 2 microtubos de 1,5 mL (Eppendorf®, Alemania).

Para realizar la cuantificación del contenido de licopeno y carotenoides totales de cada muestra se realizó en una cubeta una dilución de 100 µL de extracto y 1,5 mL solución de extracción (factor dilución 16). Inmediatamente la cubeta fue colocada en un espectrofotómetro (Unico, S-2150, Estados Unidos) midiendo la absorbancia en las longitudes de onda de 470 nm y 503 nm.

El contenido total de carotenoides (CCT) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{CCT} \left( \frac{\text{mg}}{100 \text{ g/PF}} \right) = \frac{A_{470} \times V \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \text{ G}} \times 0,10$$

donde:

$A_{470}$  es la absorbancia a 470 nm

V es el volumen total del extracto (mL)

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$  es el coeficiente de extinción de la mezcla de carotenoides establecido en 2500 según Gross (1991)

G es el peso de la muestra en gramos (g)

El contenido de licopeno (CL) se calculó siguiendo la siguiente ecuación:

$$\text{CL} \left( \frac{\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{A_{503} \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^6}{\epsilon \text{ L}}$$

donde:

$A_{503}$  es la absorbancia a 503 nm

MW es el peso molecular del licopeno (536,9 g mol<sup>-1</sup>)

DF es el factor de dilución

$\epsilon$  es el coeficiente de extinción molar del licopeno ( $17,2 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

L es la longitud de pasaje de luz (ancho de cubeta)

### 3.2.12 Polifenoles totales (PT)

El contenido de polifenoles totales (PT) se determinó según la metodología propuesta por Singleton y Rossi (1965) y Waterhouse (2002) utilizando el reactivo Folin Ciocalteau (1N) (Merck KGaA, Alemania). Los polifenoles totales fueron extraídos de 3 g de una muestra de pulpa congelada en 3 mL de solución metanólica (Pharmco-Aaper, Estados Unidos) y agua destilada (70:30; v:v) por triplicado. Se homogenizó en un homogeneizador (Scientz, XHF-D, China) a velocidad máxima (10) por 0,6 min e inmediatamente se centrifugó en una centrífuga (ThermoScientific, Sorvall ST16R, Estados Unidos) a 10500 xg y 10 minutos en condición refrigerada a 4 °C.

La reacción para determinar el contenido de PT consistió en agregar a 20  $\mu\text{L}$  de extracto, 30  $\mu\text{L}$  de reactivo Folin Ciocalteau (1N) y luego agregar 200  $\mu\text{L}$  de una solución de carbonato de sodio (Merck KGaA, Alemania) e hidróxido de sodio [2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 0,4% NaOH] (Carlo Erba, Italia). Se dejó la reacción 1 h en oscuridad y a temperatura ambiente, e inmediatamente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Unico, S-2150, Estados Unidos) a una longitud de onda de 765 nm y 25 °C. La curva de calibración se construyó con ácido gálico (AG) (Merck KGaA, China) y los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente cada 100 g de peso fresco de pulpa ( $\text{mg AGE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$ ).

### 3.2.13 Capacidad antioxidante total (CAT)

Para la determinación de la capacidad antioxidante total (CAT) se utilizaron los mismos extractos que para la medición de los PT. La determinación de la CAT se realizó mediante los métodos DPPH, ABTS y FRAP.

El método DPPH se corresponde al propuesto por Brand-Williams et al. (1995) utilizando el reactivo 2,2 difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (PM: 394,32 g/mol; Sigma-Aldrich, Alemania), con el que se realizó la solución madre hasta ajustar el valor de absorbancia a 1,1. Posteriormente, para la medición, se colocaron 10  $\mu\text{L}$  de muestra de cada fruto por duplicado, en placas de Elisa, para luego añadir 190  $\mu\text{L}$  de solución madre de DPPH. Luego de un tiempo de reacción de 10 min en oscuridad se midió la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm y temperatura de 25 °C.

Para la determinación por ABTS se utilizó el método propuesto por Amao et al. (2001). El reactivo utilizado fue el ácido 2, 2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS<sup>•+</sup>) (C<sub>18</sub>H<sub>24</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>S<sub>4</sub>) PM: 548,68 g/mol (ABTS<sup>TM</sup>, Alemania) y el persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) PM: 270,32 g/mol (Emsure®, Alemania). Se preparó una solución con 7 mmol de ABTS y 2,45 mmol de persulfato de potasio en 10 mL de agua destilada. En cada placa se colocaron 190 µL de ABTS y 10 µL de muestra de cada fruto por duplicado y se dejó reaccionar por 30 min para luego medir la absorbancia a una longitud de onda de 734 nm y temperatura de 25 °C.

Para la determinación por el método del Poder Antioxidante de Reducción Férrica (FRAP), se utilizó el método descrito por Benzie y Strain (1996). En primer lugar, se realizó una solución tampón de acetato de sodio 300 mM (Sigma-Aldrich, Japón) en agua destilada y se ajustó el pH a 3,6. Luego se preparó una solución de ácido clorhídrico 40 mM (HCl 37 %, Carlo Erba, Italia) en agua destilada, en la que se disolvió el reactivo tris 2-pyridil-triazine (TPTZ) (Sigma, Suiza). Se preparó una solución de cloruro de hierro 20 mM (Sigma-Aldrich, Estados Unidos) en agua destilada. El reactivo de FRAP se preparó con las 3 soluciones antes mencionadas en el mismo orden en una proporción 10:1:1. Para la determinación, en cada placa se colocaron 190 µL de reactivo de FRAP y 10 µL de muestra de cada fruto por duplicado, se dejó reaccionar por 45 min para luego medir la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm y temperatura de 25 °C.

La medición de la reacción de cada método fue realizada en un espectrofotómetro de placas (ThermoScientific, Multiskan sky, Alemania).

Los resultados para los tres métodos se expresaron como milimoles de Trolox equivalente cada 100 g de peso fresco de pulpa (mmol Trolox 100 g<sup>-1</sup> PF).

### 3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos (0, 7, 14, 21 y 28 días). Las sandías fueron almacenadas al azar en cámara refrigerada (41 frutos) y en cada momento de muestreo (tratamiento) se analizaron 8 frutos (repetición) seleccionados aleatoriamente. Se consideró como factor el tiempo (días) y la unidad experimental fue cada fruto de sandía.

Para el análisis de todas las variables se utilizó el software estadístico RStudio versión 1.4.1717 © 2009-2021 (versión gratuita). Para las variables evaluadas se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$  = es la variable de respuesta en el  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima repetición

$\mu$  = es la media poblacional

$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = es el error experimental asociado al  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima repetición.

Para determinar si existían diferencias entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANAVA). La comparación entre las medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) y se presenta la diferencia mínima significativa (DMS).

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 PÉRDIDA DE PESO**

La pérdida de peso de los frutos de sandía fue de 0,69% a 2,36% durante el período estudiado, evidenciándose un aumento en esta variable con el transcurso del tiempo de conservación ( $p \leq 0,05$ ). Luego de los 28 días la pérdida de peso de los frutos fue 3 veces superior a la obtenida en la primera semana de almacenamiento (Figura 7).

A pesar de ello, esta reducción del peso de los frutos no evidenció síntomas de deshidratación como son la pérdida de firmeza o reducción de la luminosidad del color de cáscara.

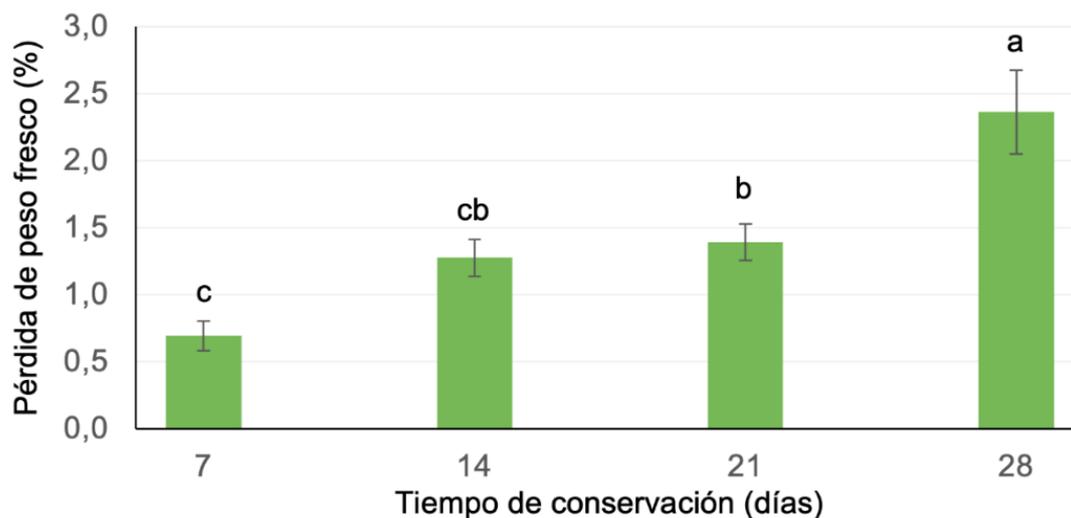
En las frutas y hortalizas la principal causa de pérdida de peso es la deshidratación, que es un proceso físico vinculado a la pérdida de agua por diferencia de presión del vapor dentro y fuera del fruto. En hojas, la deshidratación es la principal causa de deterioro de calidad mientras que en frutos maduros o con daños por golpe representa la tercera causa de deterioro de la calidad (Ben-Yehoshua & Rodov, 2002).

Según Salunkhe y Desai (1984) bajo condiciones recomendadas para la conservación poscosecha de sandía (7,2 a 15,6 °C, 80 a 90% HR) durante 15 días, la pérdida de agua es de 2%, coincidiendo este resultado con el obtenido en nuestro estudio.

Por otra parte, Araújo Neto et al. (2000) encontraron diferente valor en un estudio en sandías almacenadas a temperaturas de entre 22 a 26 °C y 52 a 60% de HR donde, a los 21 días la pérdida de peso fue de 3,79%.

**Figura 7**

*Pérdida de peso fresco (%) en fruto entero según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar (n=8). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,66.

#### 4.2 ASPECTO GENERAL EXTERNO DE FRUTO

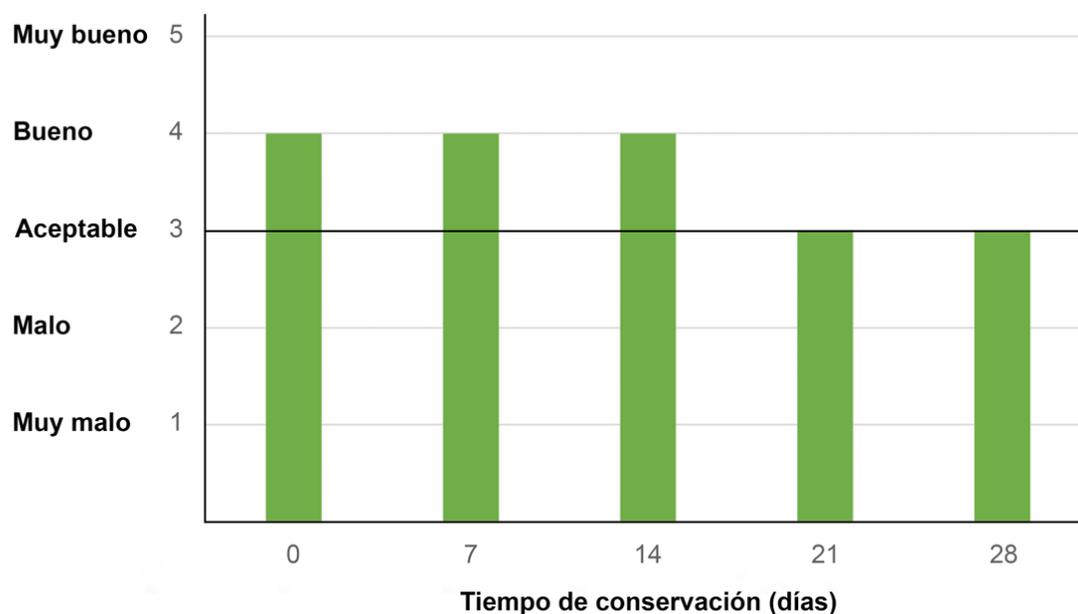
El aspecto general externo de los frutos, evaluado según la escala de 5 puntos, se presenta en la Figura 8, fue de bueno al momento de instalar el estudio (día 0) y aceptable luego de los 14 días hasta finalizar el período de almacenamiento.

La cáscara de los frutos tenía algunos pequeños daños físicos; manchas y/o coloración de tonos levemente amarillos o verde opaco, pero ocupando una superficie menor al 5%. A partir de las dos semanas de conservación se observó un leve deterioro del aspecto general de los frutos. Si bien se mantuvo como aceptable, se evidenciaron las manchas en un 10% de la superficie de los frutos y amarillamiento en la zona de apoyo de este, indicadores del avance en la madurez y/o envejecimiento del fruto.

La refrigeración permitió mantener la calidad como aceptable en el período estudiado. Esto se vincula con la calidad inicial de los frutos al momento de la cosecha ya que según Thompson (1988), la calidad inicial determina la calidad al final del período de conservación. Por lo tanto, si la calidad hubiese sido muy bueno, era esperable que, luego de los 28 días, se hubiese alcanzado una calidad buena por ejemplo.

**Figura 8**

*Aspecto general externo de fruto según tiempo de conservación*

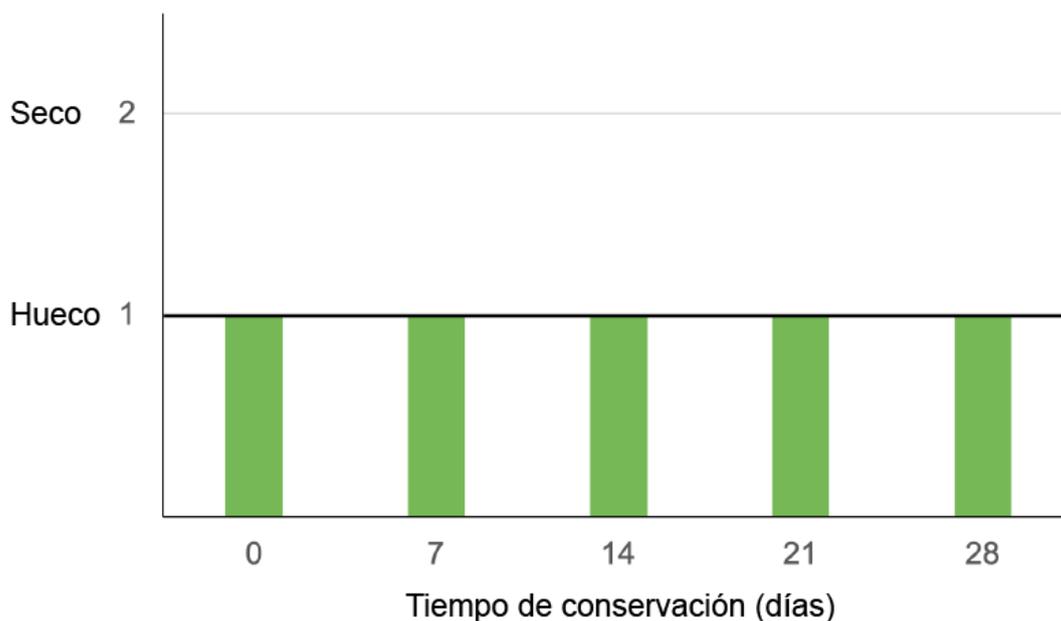


*Nota.* Las barras representan la moda (n=8).

Por otra parte, al evaluar de manera indirecta la calidad interna, golpeando los frutos enteros con un pilón, se escuchó un sonido hueco en todos los momentos de la conservación refrigerada (Figura 9). Si bien se observó un cambio en el aspecto general externo, no se pudieron determinar cambios internos en la firmeza y/o estructura de la pulpa a través del sonido con la metodología realizada. Esto como se describirá más adelante es coincidente con los resultados de peso específico del fruto y en la firmeza de la pulpa.

**Figura 9**

*Sonido emitido al golpear los frutos enteros según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras representan la moda (n=8).

El sonido se utiliza para predecir la calidad interna del fruto en relación a la presencia de corazón hueco y/o grietas. También el sonido se ve alterado cuando hay machucones graves y sobremaduración extrema en la pulpa (Diezma et al., 2004).

En los frutos de sandía con una madurez muy avanzada o sobremaduros, se reduce la firmeza de la pulpa, partiéndose o generando un hueco en el centro del fruto. Esta diferente densidad de la pulpa del fruto determina un sonido muy hueco y no seco, tal como ocurre en el caso de que el fruto sea compacto (Diezma Iglesias et al., 2005).

### 4.3 TEMPERATURA DEL FRUTO

En todos los momentos de la conservación se midió la temperatura de cada fruto a fin de corroborar que la pulpa del fruto estuviera a la temperatura a la cual se acondicionó la cámara refrigerada (11 °C).

Al inicio de la conservación de los frutos (0 día) la temperatura de la pulpa fue de 25,0; 26,1 y 26,8 °C, siendo similar para las medias realizadas a los 2, 5 y 10 cm de profundidad respectivamente (Tabla 4). La temperatura de pulpa se redujo rápidamente hasta 10 y 15 °C a los 7 días de la conservación, manteniéndose hasta el final del estudio (28 días).

Los valores registrados de la temperatura de la pulpa se encontraban dentro de los recomendados para maximizar la vida poscosecha de sandía (Cantwell & Kasmire, 2007).

En el interior de los frutos la pulpa se mantuvo entre 12,3 a 13 °C a 5 cm y 11,0 °C a los 10 cm, mientras que superficialmente (2 cm) la temperatura registrada fue mayor (15,2 a 15,4 °C). La mayor temperatura registrada a los 2 cm probablemente fue causada porque la determinación de la temperatura de la pulpa, se realizó fuera de la cámara de frío (aproximadamente 1 hora) posterior a realizar la evaluación del aspecto general externo, implicando el calentamiento del fruto, pero a pesar de ello, no se diferenció estadísticamente.

**Tabla 4**

*Temperatura del fruto a 2, 5 y 10 cm de profundidad según tiempo de conservación*

T. C. (días)	0	7	14	21	28
2 cm	25,0 ± 0,18 a	15,2 ± 0,06 b	15,3 ± 0,06 b	15,4 ± 0,13 b	15,3 ± 0,15 b
5 cm	26,1 ± 0,14 a	12,8 ± 0,12 b	12,3 ± 0,08 b	12,7 ± 0,09 b	13,0 ± 0,21 b
10 cm	26,8 ± 0,10 a	11,0 ± 0,00 b			

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ); T. C. (tiempo de conservación). DMS: 2cm 0,5; 5 cm 0,5; 10 cm 0,2.

#### 4.4 DIMENSIONES Y PESO ESPECÍFICO DE LOS FRUTOS

El tamaño de las frutas estudiadas fue en promedio 11,14 kg/fruto, de forma aproximadamente elipsoide con un largo de fruto de 34,34 cm, diámetro mayor de 25,15 cm y diámetro menor de 24,19 cm. Además, se determinó que los frutos tenían un espesor de cáscara promedio de 1,28 cm resultando en 11,05 cm de espesor de pulpa. Estas dimensiones están dentro del rango de las sandías tipo Crimson estudiadas por Soares da Silva et al. (2020).

El volumen del fruto calculado para un elipsoide con las dimensiones anteriormente mencionadas fue de 11 dm<sup>3</sup>, mientras que el valor obtenido por desplazamiento de agua fue de 9,5 dm<sup>3</sup>. Estos valores (no mostrados) de volumen diferentes encontrados pueden estar relacionados a que la forma de las frutas no es un elipsoide perfecto.

En la Tabla 5 se presentan los resultados del peso específico con valores ligeramente superiores a 1, la cual no varió durante el almacenamiento refrigerado. Los

frutos evaluados durante los diferentes momentos de la conservación refrigerada flotaron observándose solo una muy pequeña parte sobre la superficie del agua.

El peso específico puede ser utilizado como un indicador del estado de madurez de los frutos ya que, al avanzar la madurez de los mismos, la pérdida de la densidad de la pulpa y el desarrollo de corazón hueco determinaría un valor de peso específico menor a 1, ya que éste depende del contenido de materia seca, el agua y el aire dentro del fruto (Choe et al., 2022; Pinzón et al., 2007).

En nuestro estudio, los resultados obtenidos para el peso específico fueron ligeramente superiores a los del estudio de Showalter (1961), indicarían que no hubo o no se detectaron modificaciones de la textura de la pulpa.

**Tabla 5**

*Peso específico de los frutos según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Peso específico
0	1,0010 ± 0,0007 NS
7	1,0074 ± 0,0006
14	1,0020 ± 0,0118
21	1,0030 ± 0,0019
28	1,0150 ± 0,0145

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,0313.

#### 4.5 COLOR DE CÁSCARA Y DE PULPA

En la Tabla 6 se presentan las variables de color de la zona de apoyo del fruto en el cual los valores de luminosidad fueron 62,65 a 66,91 (luminoso), el tono 86,57 a 90,57 °hue (amarillo) y el croma de 36,46 a 45,04 (saturado).

**Tabla 6***Luminosidad, Tono y Croma en la zona de apoyo según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Luminosidad	Tono (°hue)	Croma
0	66,05 ± 1,19 NS	90,57 ± 1,19 NS	36,46 ± 1,73 NS
7	66,47 ± 1,19	89,27 ± 1,19	43,02 ± 2,10
14	66,91 ± 1,75	87,47 ± 1,75	40,78 ± 2,30
21	62,65 ± 1,63	87,36 ± 1,63	45,04 ± 1,99
28	63,03 ± 4,52	86,57 ± 4,52	44,53 ± 1,76

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS: Luminosidad 9,48; Tono 10,57; Cromo 12,47.

Por su parte las variables de color de fondo de la cáscara, que se presentan en la Tabla 7, tuvieron rangos de 52,45 a 56,91 (luminoso) para la luminosidad, 98,94 a 102,36 °hue (entre amarillo y verde claro) en el tono y croma de 32,22 a 38,71 (saturado).

**Tabla 7***Luminosidad, Tono y Croma en el color de fondo según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Luminosidad	Tono (°hue)	Croma
0	56,85 ± 1,02 NS	102,36 ± 1,22 NS	32,22 ± 1,18 NS
7	56,91 ± 2,27	101,58 ± 1,75	35,56 ± 1,74
14	54,64 ± 2,43	99,85 ± 1,56	34,03 ± 1,10
21	52,45 ± 2,02	101,39 ± 1,09	36,33 ± 1,46
28	55,73 ± 2,47	98,94 ± 1,78	38,71 ± 1,57

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS: Luminosidad 8,57; Tono 8,90; Cromo 8,60.

Al mismo tiempo, en el sobrecolor de cáscara la luminosidad hasta los 14 días fue de 33,7, disminuyendo hacia el final de la conservación a 31,7. El tono estuvo en un rango de 113,35 a 115,65 °hue (verde amarillo) y el croma o saturación del color con valores entre 20,93 a 24,90 siendo poco saturado (Tabla 8).

**Tabla 8***Luminosidad, Tono y Croma en el sobrecolor según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Luminosidad	Tono (°hue)	Croma
0	34,71 ± 0,41 a	115,65 ± 0,99 NS	20,93 ± 0,68 NS
7	32,38 ± 0,52 ab	114,50 ± 0,85	24,90 ± 0,88
14	34,06 ± 0,89 ab	115,02 ± 1,40	24,32 ± 1,36
21	31,74 ± 0,75 b	113,77 ± 0,40	22,85 ± 0,97
28	31,73 ± 0,46 b	114,11 ± 0,55	23,85 ± 1,66

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna presencia de letras indica que hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS: Luminosidad 3,45; Tono 7,69; Cromo 5,67.

El color de la cáscara de los frutos durante el almacenamiento refrigerado no se modificó en ninguna de las tres zonas evaluadas. En la zona de apoyo del fruto la cáscara presentó un color amarillo luminoso y saturado, el color de fondo fue amarillo-verde claro luminoso y saturado, mientras que en la zona de sobrecolor fue verde-amarillo poco luminoso y poco saturado (más opaco). En las condiciones de este estudio, ninguna de las tres zonas de la cáscara en la cual se midió el color indicarían por sí solo cambios relevantes en la calidad de la fruta.

El color verde de la cáscara de la sandía se debe a la presencia de clorofila. Probablemente en las condiciones de refrigeración utilizadas, la velocidad de degradación fue reducida tal como lo indican autores como Hutchings (1999). La degradación de la clorofila se acelera con el aumento de la temperatura mayor a 10 °C (Arkus et al., 2005). La exposición de los frutos al etileno con una concentración tan baja como 5 ppm durante 7 días a 18 °C provoca cambios en el color, ablandamiento de la pulpa, un sabor pobre y sobre maduración, lo que las hace inaceptables para su consumo (Fornaris Rullán, 2000).

Bianchi et al. (2018) analizaron el color de la zona de apoyo de dos cultivares y tres estados de madurez de la sandía encontrando que los cambios de luminosidad, tono y croma del color fueron dependientes del cultivar en interacción con el estado de madurez.

En el color de pulpa, la luminosidad, el tono y el croma tuvieron valores entre 32,11 a 39,38; 28,74 a 37,31 y 29,10 a 31,50 respectivamente. El tiempo de conservación modificó el color de pulpa observándose los cambios en las variables luminosidad y tono (Tabla 9). El color de pulpa hasta los 7 días fue de un tono rojo

oscuro y saturado, y al avanzar el tiempo de conservación el color de pulpa cambió a un tono menos rojo y más claro, manteniendo el croma (30).

**Tabla 9**

*Luminosidad, Tono y Croma en el color de pulpa según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Luminosidad	Tono (°hue)	Croma
0	32,11 ± 0,70 c	28,74 ± 0,61 d	30,28 ± 0,74 a
7	35,63 ± 0,78 ab	30,42 ± 0,70 cd	31,50 ± 0,60 a
14	37,52 ± 0,80 ab	34,93 ± 0,82 ab	30,63 ± 0,70 a
21	39,38 ± 0,70 a	37,31 ± 1,00 a	29,96 ± 0,56 a
28	36,02 ± 1,04 ab	33,36 ± 1,24 bc	29,10 ± 0,86 a

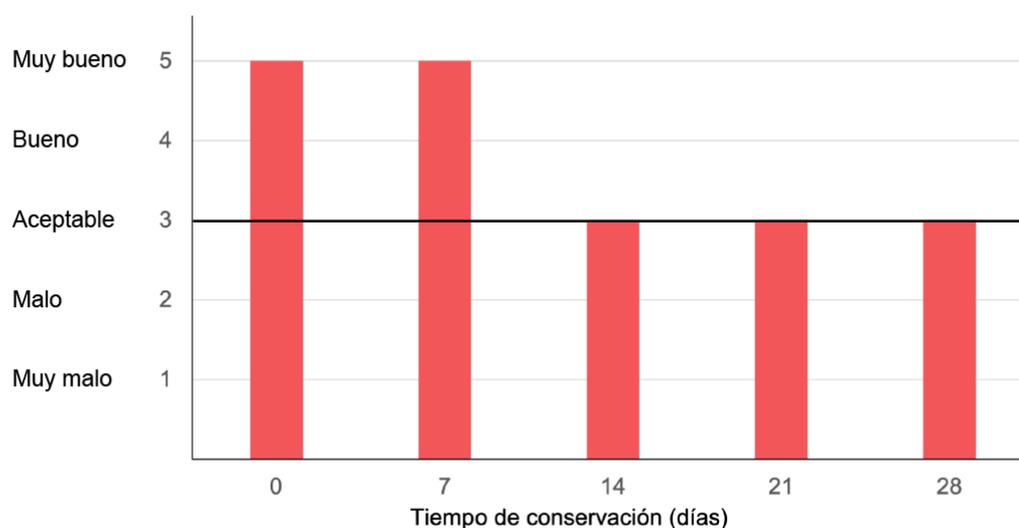
*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna presencia de letras indica que hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ). DMS: Luminosidad 3,13; Tono 3,40; Croma 2,72.

Bianchi et al. (2018) midieron el color de pulpa de las sandías con valores de luminosidad (44,25 a 59,88), tono (35,10 a 39,76 °hue) y saturación (26,29 a 39,07), similares a los obtenidos en nuestro trabajo. Al mismo tiempo determinaron que si bien hay una tendencia a reducirse la luminosidad del color de la pulpa y es menos roja la pulpa en frutos en mayor estado de madurez, el cambio en las variables del color de pulpa también depende del cultivar (hay interacción cultivar y estado de madurez).

Suárez-Hernández et al. (2017) obtuvieron valores de color de pulpa de sandía siendo la luminosidad entre 45,37 a 54,36, el tono entre 42,22 a 53,47 °hue y la saturación entre 26,63 a 30,88. Los frutos fueron almacenados durante 14 días a temperatura entre 15 a 17 °C, y presentaron una transición de color de pulpa de rojo brillante a rojo anaranjado, opaco y claro, este cambio está asociado al nivel progresivo de senescencia como resultado del efecto del almacenamiento.

#### 4.6 ASPECTO GENERAL DE PULPA

El aspecto general de pulpa hasta el día 7 fue muy bueno. A los 14 días se evidenció cambios en el color de pulpa, la cual viró de rojo intenso y uniforme a rosado en la zona central y rojo hacia los bordes de la cáscara y en las zonas donde se encontraban las semillas fue ligeramente marrón y además con presencia de grietas, indicando el avance de la madurez y/o envejecimiento del fruto. A pesar de ello, se mantiene aceptable hasta el día 28 por lo cual no habría pérdida del valor comercial de los frutos para el período estudiado (Figura 10).

**Figura 10***Aspecto general de pulpa según tiempo de conservación*

*Nota.* Las barras representan la moda (n=8).

#### 4.7 TEXTURA: FIRMEZA Y JUGOSIDAD DE PULPA

El tiempo y la condición de conservación de las sandías no tuvo efecto en la firmeza de la pulpa registrándose valores entre 21,39 a 24,31 N (Tabla 10).

Uno de los principales factores asociados con el deterioro poscosecha de los frutos es la velocidad de ablandamiento que modifica la textura y provoca una vida de mostrador más corta, reduciendo los tiempos de transporte y distribución y aumenta las pérdidas poscosecha. El ablandamiento del fruto es causado por el efecto acumulativo de una serie de modificaciones que ocurren en las redes de polímeros que constituyen la pared celular primaria, en donde se produce la relajación de la pared celular mediada por expansinas, la despolimerización de hemicelulosas y poliurónicos mediante enzimas hidrolíticas, lo cual contribuye a una pérdida de firmeza y cambios en la calidad de la textura (Martínez-González et al., 2017).

**Tabla 10**  
*Firmeza (N) en la pulpa según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Firmeza (N)
0	24,31 ± 0,53 NS
7	23,85 ± 0,78
14	23,84 ± 0,74
21	23,87 ± 0,70
28	21,39 ± 0,99

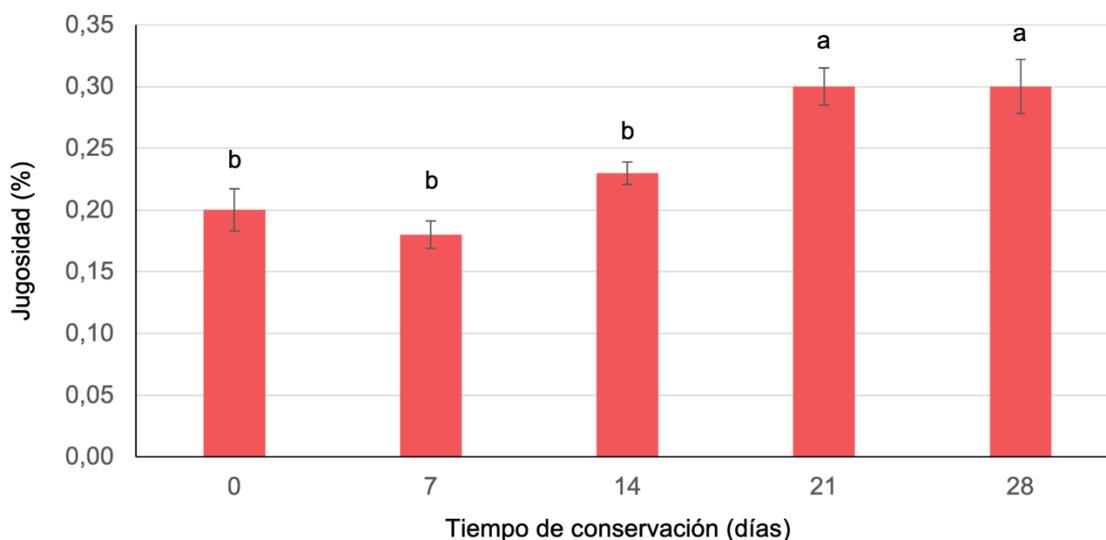
*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 3,06.

La firmeza en pulpa de sandía obtenida en otros estudios fue de 10,3 a 22,5 N (Araújo Neto et al., 2000; Bianchi et al., 2018; Suárez-Hernández et al., 2017) los cuales son similares a nuestro estudio.

Por otra parte, la jugosidad en la pulpa, extraída por compresión como forma de cuantificar la sensación en boca al comer la fruta (Bianchi et al., 2018), se modificó con el tiempo de conservación (Figura 11). La jugosidad de la pulpa fue similar durante las primeras dos semanas de la conservación de los frutos (0,21%), observándose un incremento de 1,5 veces hacia el final del estudio (0,30%).

La jugosidad y la harinosidad son términos comúnmente usados para describir la textura de frutas y vegetales comestibles. La jugosidad es un atributo utilizado para describir un fruto y resulta de la liberación del jugo de los tejidos durante su masticación y generalmente se considera un atributo muy positivo. La liberación de jugo y los compuestos de sabor asociados generalmente dependerán de la ruptura celular, aunque la porosidad de la pared celular también influye. La harinosidad implica encapsulación de jugo y sabores debido a la retención de agua en forma de gel a nivel de la pared celular y de la lámina media y generalmente se considera un atributo negativo asociado a un aspecto de textura esponjoso, harinoso y granulado (Waldron, 2004).

**Figura 11**  
*Jugosidad en la pulpa (%) según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar (n=8). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,06.

Bianchi et al. (2018) encontraron que la jugosidad de pulpa de la sandía depende del estado de madurez y no de los cultivares estudiados puesto que no encontraron diferencias al evaluar los cvs. Cuoredolce y Ruby. Las únicas diferencias encontradas correspondieron a la madurez donde los frutos inmaduros presentaron un valor de 9,72% frente a los maduros y sobremaduros que presentaron valores promedios de 12,71% sin diferenciarse entre sí.

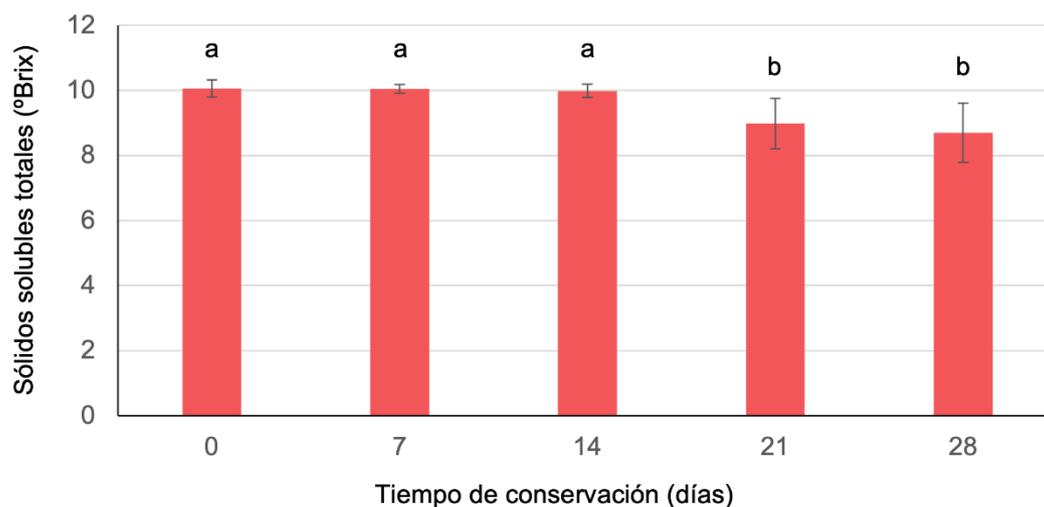
En nuestro estudio, a los 21 días se produjeron cambios en la pulpa que determinaron su mayor jugosidad manteniéndose hasta el día 28. Si bien los valores de jugosidad son muy inferiores con respecto al trabajo de Bianchi et al. (2018) las condiciones de medición también fueron diferentes.

#### **4.8 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)**

Durante el período de evaluación se observó que el contenido de SST en el jugo de pulpa del fruto presentó diferencias significativas. El contenido de SST en los primeros 14 días fue de 9,96 °Brix y luego disminuyó a 8,84 °Brix manteniéndose hasta el día 28 (Figura 12) en una calidad de bueno (Kader, 2007b).

**Figura 12**

Sólidos solubles totales (°Brix) en el jugo de pulpa según tiempo de conservación



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar (n=8). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,74.

Los sólidos solubles en el jugo de pulpa de sandía son principalmente azúcares y ácidos (Chisholm & Picha, 1986; Tomiyama et al., 2023), y además otros compuestos como vitaminas, fructanos, proteínas, pigmentos, fenoles y minerales (Devi et al., 2020).

Entre los azúcares los principales son la glucosa, con valores de entre 5,48 a 37,83 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco; fructosa, con valores de 11,13 a 55,44 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco, y la sacarosa con valores de 0,00 a 69,65 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco. Por otra parte, los principales ácidos orgánicos son ácido málico, con valores de entre 0,77 a 3,71 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco y cítrico, con valores de entre 0,08 a 1,71 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco (Chisholm & Picha, 1986; Martí et al., 2019).

Estos compuestos son sustratos en la respiración celular que se utilizarán durante el almacenamiento permitiendo el mantenimiento de la calidad de fruto. Al aumentar el tiempo de conservación los SST se reducen (Bianchi et al., 2018; Chisholm & Picha, 1986; De Paula et al., 2020).

#### 4.9 JUGO DE PULPA

El jugo de pulpa fresca por cada 100 g no presentó diferencias estadísticamente significativas durante toda la evaluación en un rango de 63 a 68% (Tabla 11).

**Tabla 11**  
*Jugo de pulpa (%) según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	Jugo (%)
0	67,73 ± 3,14 NS
7	63,61 ± 3,60
14	63,76 ± 3,00
21	67,90 ± 2,64
28	63,21 ± 5,88

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 13,76.

La cantidad de jugo de la pulpa de sandía encontrado por otros autores fue de 35,1 a 63,1% (Crandall & Kesterson, 1981).

Si bien los resultados obtenidos mostraron que no hubo cambios en el porcentaje de jugo en la pulpa y que estuvo dentro del rango encontrado por otros autores, la cantidad de jugo en la pulpa durante el almacenamiento puede cambiar y esto es debido a que puede haber una reducción del contenido de agua y/o retención del líquido en las paredes celulares (Arefi et al., 2015).

En duraznos y nectarines durante el almacenaje a temperaturas de entre 2-5 °C, determina la ocurrencia de daño por frío. Como consecuencia, se afecta la permeabilidad de la membrana celular y se filtran sustancias hacia los espacios intercelulares. Además, por otro lado, se inactiva la enzima poligalacturonasa acumulándose pectinas de peso molecular intermedio en las paredes y espacios intercelulares. Las pectinas junto con las otras sustancias, calcio y agua interactúan entre sí formando un gel y los síntomas característicos de este desorden fisiológico llamado harinosidad. El agua queda retenida formando este gel, por lo tanto, la fruta tiene menor contenido de jugo (Arefi et al., 2015).

#### **4.10 PH Y ACIDEZ TITULABLE (AT)**

El pH en el jugo de pulpa no presentó diferencias significativas entre los diferentes momentos de la conservación refrigerada con valores entre 5,35 a 5,47.

La acidez titulable del jugo de pulpa, expresada como porcentaje de ácido málico, se mantuvo en un rango de 0,011 a 0,014 durante toda la conservación refrigerada, y no presentó diferencias estadísticas (Tabla 12).

**Tabla 12***pH y acidez titulable (% ácido málico) en jugo de pulpa según tiempo de conservación*

Tiempo de conservación (días)	pH	Acidez titulable (% ácido málico)
0	5,47 ± 0,067 NS	0,011 ± 0,0007 NS
7	5,43 ± 0,067	0,014 ± 0,0013
14	5,35 ± 0,046	0,012 ± 0,0008
21	5,45 ± 0,053	0,013 ± 0,0007
28	5,42 ± 0,094	0,012 ± 0,0012

*Nota.* Media ± error estándar (n=8). Dentro de cada columna ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS: pH 0,26; Acidez titulable 0,004.

Los resultados obtenidos en pH en nuestro estudio están dentro de lo reportado por Corey y Schlimme (1988), Araújo Neto et al. (2000), Kyriacou et al. (2018), Valle-Vargas et al. (2020) y Acharya et al. (2021). Mientras que valores de pH mayor a 6,5 indica frutos sobremaduros (Devi et al., 2020).

El pH de una sandía madura varía en función de las características de las variedades y de las condiciones edafoclimáticas de cada región donde se cultiva (Soares da Silva et al., 2020).

Otros autores (Tarazona-Díaz et al., 2011; Valle-Vargas et al., 2020), obtuvieron valores de AT como porcentaje de ácido málico en un rango de 0,07 a 0,11 dependiendo de la variedad estudiada y fueron similares a lo obtenido en nuestro estudio.

Soares da Silva et al. (2020) encontraron que el período de almacenamiento influyó en la disminución del 36% de la AT en condiciones de ambientales de entre 26,3 a 37,7 °C y HR de 68,1 a 85,2%, durante 20 días. La AT proporciona los principales componentes de sabor y aroma de los frutos, esta característica aumenta con el crecimiento del fruto hasta su completo desarrollo fisiológico, posteriormente decrece con el proceso de maduración.

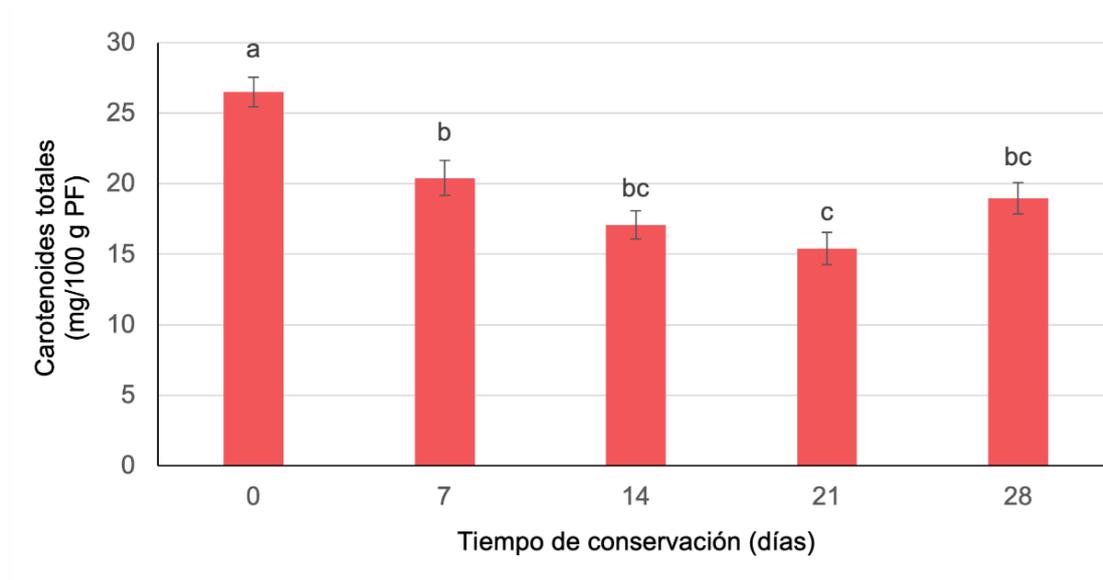
#### **4.11 CAROTENOIDES TOTALES Y LICOPENO**

El contenido de carotenoides totales cada 100 g de pulpa fresca de sandía fue de 26,51 mg al inicio de la conservación (0 día), en la primera semana se redujo un 16% logrando mantenerse hasta el final de la conservación refrigerada (Figura 13).

El contenido de carotenoides totales obtenidos en nuestro estudio fue superior a los de Perkins-Veazie y Collins (2006) y por Acharya et al. (2021), quienes encontraron valores de entre 5,42 a 16,27 mg cada 100 g de pulpa fresca de sandía.

**Figura 13**

*Carotenoides totales (mg/100 g PF) según tiempo de conservación*



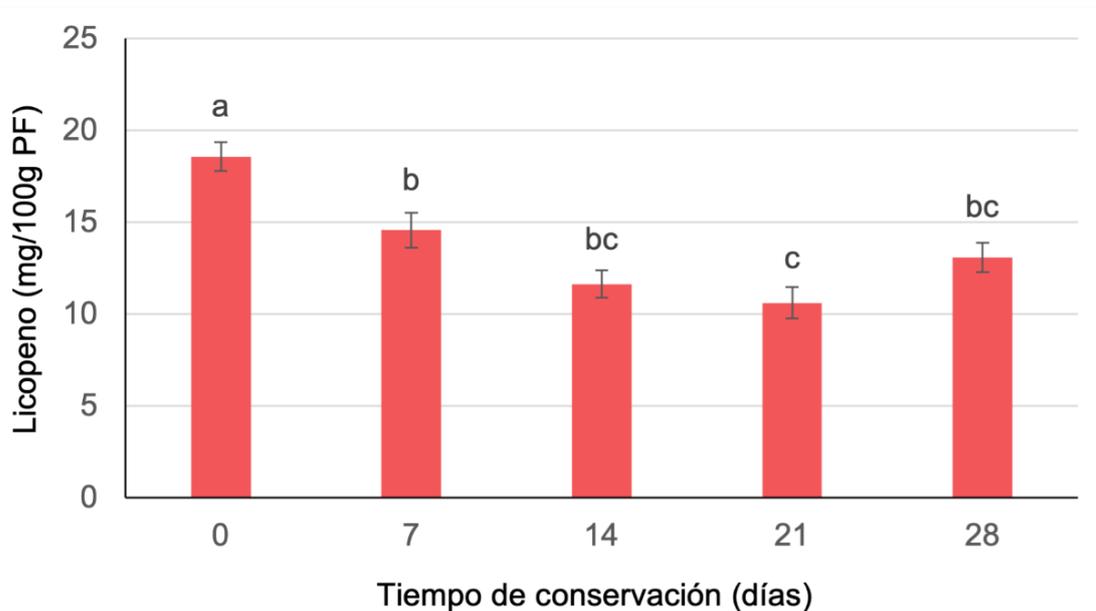
*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar (n=24). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 4,52.

La degradación de los carotenoides se debe fundamentalmente a las reacciones de oxidación, ya sean no enzimáticas o debidas a enzimas como las lipoxigenasas. Este proceso se acelera por la temperatura, la presencia de metales como el cobre, luz y enzimas. Durante el almacenamiento, la destrucción de los carotenoides reduce el valor nutritivo de los alimentos e induce a una decoloración y una pérdida de sus características organolépticas. El grado de decoloración va a depender fundamentalmente de la presencia de agentes oxidantes, sobre todo oxígeno molecular, y de que haya suficiente energía en forma de luz o calor para la reacción de degradación (Meléndez-Martínez et al., 2004).

El contenido de licopeno en el día 0 fue de 18,58 mg por cada 100 g de pulpa fresca. En el día 7 se modificó reduciéndose un 22% y al finalizar el tiempo de conservación, disminuyó a 41% presentando un comportamiento similar al de carotenoides totales (Figura 14).

**Figura 14**

*Licopeno (mg/100 g PF) según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar (n=24). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 3,38.

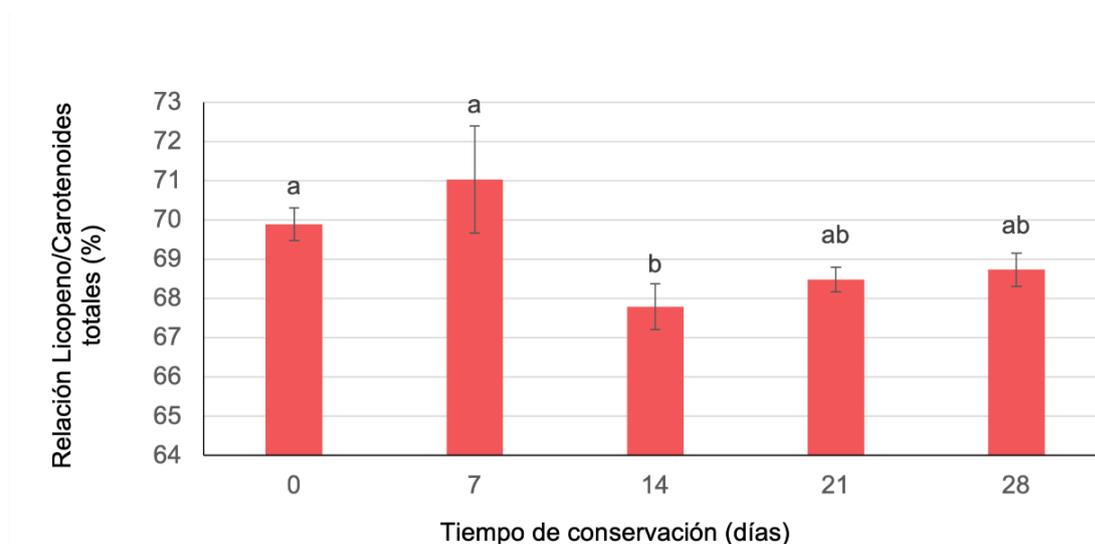
El contenido de licopeno obtenido estuvo dentro del rango hallado por Bianchi et al. (2018), Devi et al. (2020), Nagal et al. (2012), Perkins-Veazie y Collins (2004), Oberoi y Sogi (2017) y Tlili et al. (2022), con valores entre 3,38 a 59,17 mg/100 g de peso fresco de pulpa.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio sobre el contenido de licopeno a medida que pasa el tiempo de almacenamiento coinciden con Perkins-Veazie et al. (2007), que hallaron que la pérdida del contenido de licopeno en frutos enteros de sandía fue de 6 a 10% luego de dos semanas de almacenamiento (5 a 13 °C).

El contenido de licopeno fue de un 67,79 a 71,03% del total de los carotenoides cuantificados en la pulpa de sandía. El tiempo de conservación refrigerada modificó levemente (4%) esta relación a las dos semanas (14 días) del almacenamiento de los frutos, diferenciándose estadísticamente sólo con el período previo (0 y 7 días) (Figura 15).

**Figura 15**

*Relación licopeno/carotenoides totales (%) según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar de la media (n=24). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 3,08.

La relación licopeno/carotenoides totales brinda idea de la dinámica entre la síntesis de  $\beta$ -caroteno y la degradación de licopeno (Bianchi et al., 2018).

El contenido de carotenoides totales como el de licopeno disminuyen alrededor del 20% al séptimo día la cual se correlaciona con el tono de la pulpa en la cual pasa a un tono menos rojo y más claro.

Las variaciones en el contenido de carotenoides y licopeno están determinadas principalmente por la variedad (cultivar), estado de madurez del fruto, temperatura de desarrollo de fruto y en la conservación (Acharya et al., 2021; Bianchi et al., 2018).

Además, en el método de medición de los carotenoides influye la forma de extracción (solvente utilizado, temperatura, oxígeno y luz) y el tiempo de conservación del extracto de extracción (Oberoi & Sogi, 2017).

#### **4.12 POLIFENOLES TOTALES (PT)**

El contenido de PT cada 100 g de peso fresco de pulpa hasta el día 21 presentó valores en un rango entre 5,94 a 6,59 mg AGE sin diferencias significativas, aumentando en el día 28 a 8,22 mg AGE (Figura 16).

Los trabajos realizados por otros autores como Nagal et al. (2012), Tlili et al. (2011, 2022) y Valle-Vargas et al. (2020), encontraron que en las variedades de sandía estudiadas el contenido de PT estuvo en un rango de 13,05 a 33,47 mg AGE en 100 g de pulpa de peso fresco.

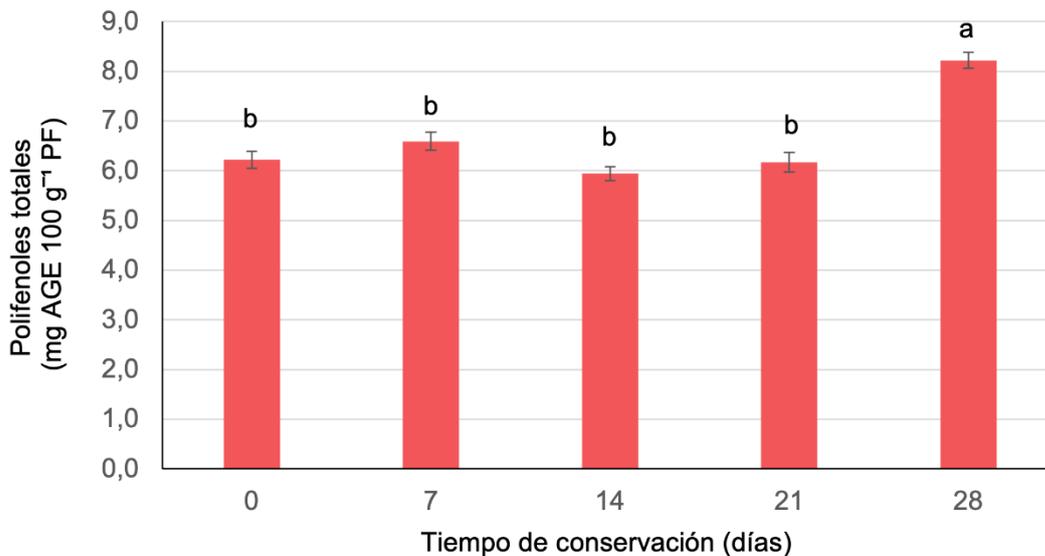
Por otro lado, Oms-Oliu et al. (2009) estudiaron en trapezoides de pulpa de sandía el contenido de PT durante 15 días almacenados en bolsas a 5, 10, 15 y 20 °C, encontrando un aumento de 20 a 300% al aumentar la temperatura a las dos semanas de almacenamiento. El contenido de PT almacenados a 10 °C no cambió significativamente hasta 4 días, pero luego aumenta a 190% al final del estudio. Estos autores explican que las heridas (al cortar los trapezoides) generan acumulación de la enzima PAL que están involucradas en la producción de polifenoles y esto es mayor a más temperatura.

Tlili et al. (2022) estudiaron en 3 cultivares comerciales de sandía Giza, Mahdia, Local Sidi Bouzid, y en un híbrido P P608 desarrollado recientemente que fueron almacenados a 5 °C durante 15 días y midieron el contenido de PT a los 0, 5, 10 y 15 días, los cuales estuvieron en un rango de 16,33 a 30,19 (Mahdia); 15,41 a 23,69 (Giza); 18,50 a 30,90 (P608 F1) y 14,23 a 25,70 (Local Sidi Bouzid) en mg AGE.100<sup>-1</sup> PF. La disminución de PT comienza a ser significativa después de los 10 días en un rango de 7 a 29%. La mayor disminución se observó en el cultivar Mahdia en un 46% a los 15 días. Estos resultados indicaron que el contenido de PT fue fuertemente influenciado por el período de almacenamiento.

En nuestro estudio las condiciones de almacenamiento de los frutos de sandía fueron de 11 °C durante 28 días y si se compara con el estudio de Oms-Oliu et al. (2009) probablemente se podría explicar el aumento del contenido de PT de nuestro estudio en el día 28. Si bien en el estudio de Tlili et al. (2022) hubo una disminución del contenido de PT durante 15 días, la temperatura de almacenamiento fue menor a lo recomendado para la conservación poscosecha de fruto entero de sandía. Sería necesario más investigaciones del efecto del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre el contenido de PT en fruto entero.

**Figura 16**

*Polifenoles totales (mg AGE 100 g<sup>-1</sup> PF) según tiempo de conservación*



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar de la media (n=48). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,69.

Las diferentes prácticas precosecha y poscosecha pueden ser críticas para la acumulación o degradación de compuestos fenólicos en frutas y vegetales. Las condiciones precosecha como temperatura, propiedades del suelo, luz, riego, fertilización, estado de madurez juegan un rol importante en el contenido de compuestos fenólicos en frutas y vegetales. Durante el manejo poscosecha la temperatura y los tratamientos con atmósfera modificada, irradiación de luz y elicitores pueden utilizarse para regular el contenido de los compuestos fenólicos. Estas tecnologías inducen el estrés oxidativo y activan el sistema de defensa de la planta que implica la síntesis de metabolitos antioxidantes secundarios como los compuestos fenólicos y la activación de las enzimas antioxidantes. El efecto de la baja temperatura en el contenido de los compuestos fenólicos dependerá del grado de daño en los tejidos (De la Rosa et al., 2019).

En frutos sensibles a la baja temperatura, la refrigeración induce daños que promueven la degradación de compuestos fenólicos, también en algunos frutos puede ocurrir que la baja temperatura ocasione un estrés moderado y estimular la síntesis de polifenoles (Vicente et al., 2017).

Los compuestos fenólicos principalmente son compuestos hidrofílicos que contribuyen a la actividad antioxidante en sandía y su distribución es diferente en la cáscara, pulpa, semillas y hojas, siendo mayor en la cáscara que en la pulpa y su cantidad varía según los cultivares (Zamuz et al., 2021).

#### 4.13 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL (CAT)

La CAT de la pulpa de sandía se modificó con el tiempo de conservación en los tres métodos utilizados para su determinación (DPPH, ABTS, FRAP), tal como se muestra en las Figuras 17, 18 y 19.

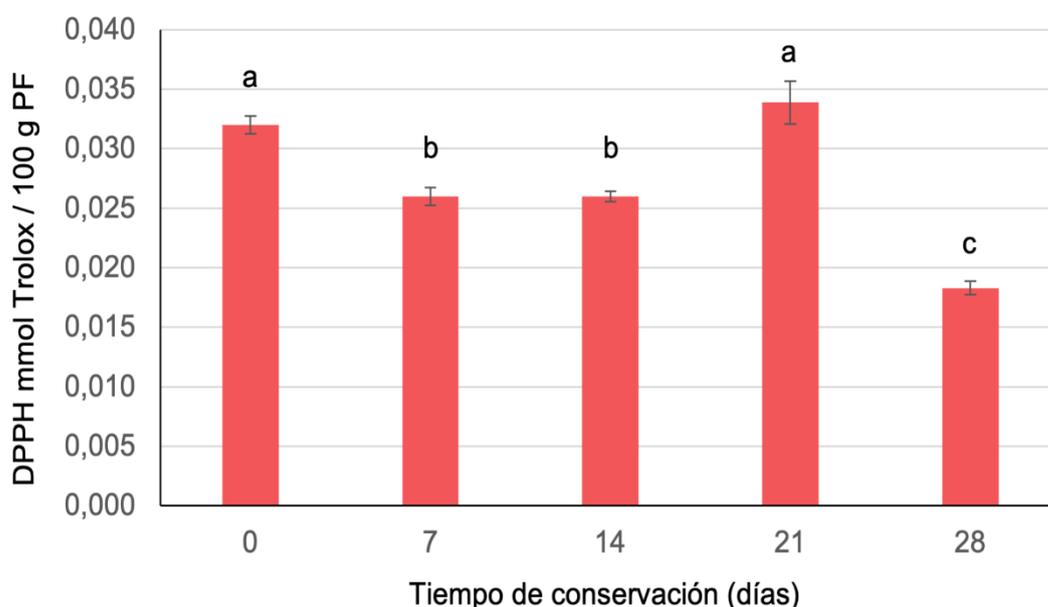
La CAT, medida cada 100 g de peso fresco de pulpa por el método DPPH fue de 0,018 a 0,034 mmol Trolox equivalente, mientras que por ABTS fue de 0,052 a 0,076 y por FRAP fue de 0,013 a 0,016 mmol Trolox equivalente.

Si bien se observaron variaciones en la CAT de la pulpa de sandía durante la conservación refrigerada por el método DPPH se redujo un 57% a los 28 días, mientras que para este período la CAT medida por los métodos ABTS y FRAP fueron muy similares al momento de la cosecha.

La CAT analizada por Nagal et al. (2012) por el método DPPH estuvo en un rango de 0,039 a 0,075 mmol Trolox y por el método FRAP fue entre 0,038 a 0,074 mmol Trolox, mientras que Tlili et al. (2022) por el método ABTS obtuvieron valores entre 0,043 a 0,139 mmol Trolox por cada 100 g de peso fresco de pulpa.

**Figura 17**

*Capacidad antioxidante total (método DPPH) según tiempo de conservación*

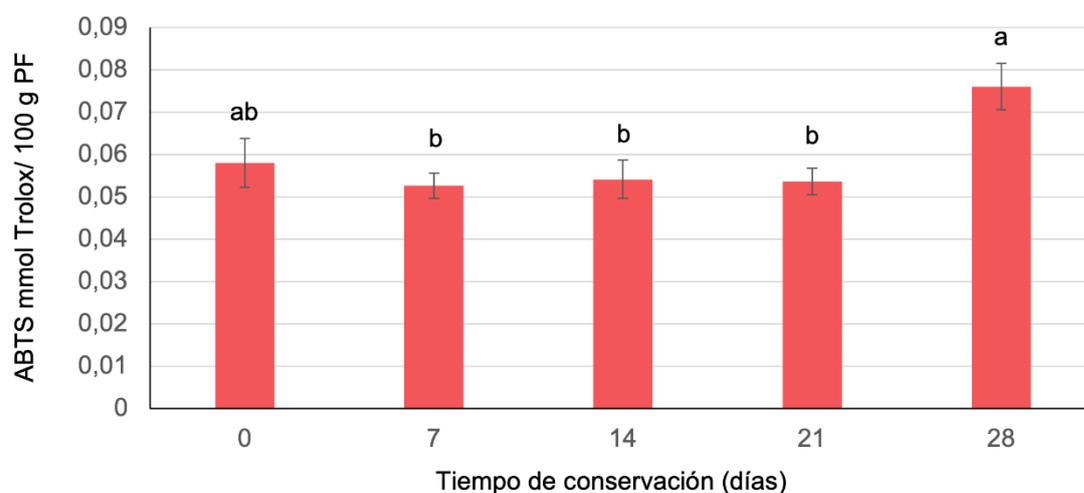


*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar de la media (n=48). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,004.

Oms-Oliu et al. (2009) estudiaron en trapezoides de pulpa de sandía la CAT según el método DPPH durante 15 días almacenadas en bolsas a 5, 10, 15 y 20 °C. La temperatura y el tiempo de almacenamiento afectó significativamente la CAT durante el almacenamiento, en la cual a 5 °C mantuvo su mayor potencial antioxidante, a 10 °C fue similar y la pérdida fue cercano al 30% para ambos. Mientras que a temperatura de 15 °C y 20 °C se produce una pérdida de CAT de 55% y de 65% respectivamente. Esto sugiere que la CAT es susceptible a los cambios de temperatura y al tiempo de almacenamiento.

### Figura 18

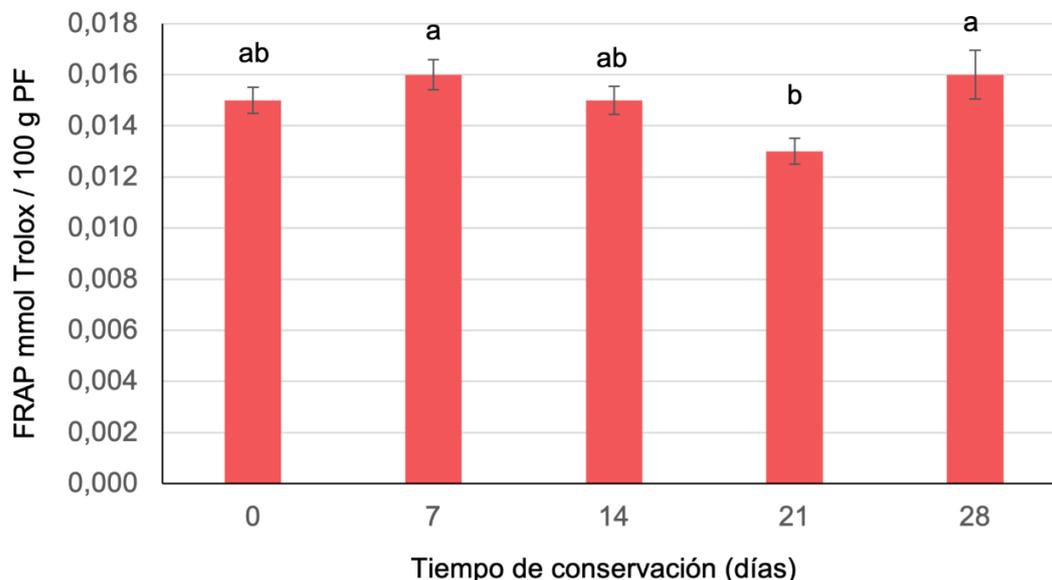
Capacidad antioxidante total (método ABTS) según tiempo de conservación



Nota. Las barras verticales representan el error estándar de la media (n=48). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,01.

**Figura 19**

Capacidad antioxidante total (método FRAP) según tiempo de conservación



*Nota.* Las barras verticales representan el error estándar de la media (n=48). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes según Tukey ( $p \leq 0,05$ ). DMS 0,002.

En frutas y hortalizas la CAT está determinada principalmente por compuestos fenólicos, el ácido ascórbico (vitamina C) y carotenoides. La madurez influye directamente en el contenido de compuestos bioactivos, dado que se generan procesos de biosíntesis los que generan mayor contenido de carotenoides, compuestos fenólicos y ácido ascórbico, estos compuestos al encontrarse en mayor cantidad conllevan a dar una mayor CAT (Repo de Carrasco & Encina Zelada, 2008). En sandía los compuestos fenólicos son principalmente flavonoides la cual contribuyen junto con el licopeno y la vitamina C a la CAT de este fruto (Artés-Hernández et al., 2021).

En la conservación poscosecha de la fruta estos compuestos pueden actuar como antioxidantes reduciendo el proceso natural de oxidación provocado por la presencia de compuestos del metabolismo celular que conlleva a la sobremaduración y envejecimiento del fruto, prolongando la vida de mostrador (Oludemi & Akanbi, 2013).

## **5. CONCLUSIONES**

En las condiciones de almacenamiento de este estudio (11 °C y 98% HR) los frutos de sandía se conservaron con calidad aceptable hasta los 28 días, observándose mínimos cambios de los atributos físicos y químicos.

Las dimensiones y el peso específico de los frutos, el color de cáscara, la firmeza y el contenido de sólidos solubles de la pulpa, el pH, la acidez titulable y el porcentaje de jugo de la pulpa no se modificaron durante el período de conservación estudiado.

La pérdida de peso de los frutos conservados bajo refrigeración durante 28 días no evidenció síntomas de deshidratación. El aspecto general externo del fruto y de la pulpa fue aceptable hasta el final de la conservación (28 días). Los frutos mantuvieron el aspecto general externo inicial bueno durante dos semanas, mientras que el aspecto inicial muy bueno de la pulpa se mantuvo solo una semana.

Los principales cambios observados durante la conservación de los frutos fueron el color, la jugosidad y en el contenido de carotenoides, licopeno y polifenoles totales de la pulpa. A medida que el tono de color de la pulpa se modificaba, el contenido de carotenoides totales, de licopeno y la relación licopeno/carotenoides totales disminuyeron a partir de los 7 días. Por el contrario, la jugosidad aumentó a los 14 días al igual que el contenido de polifenoles totales en un 36% en la última semana de conservación.

La capacidad antioxidante total medida por el método DPPH disminuyó 57% hacia el final de la conservación. Sin embargo, la capacidad antioxidante total determinada por los métodos ABTS y FRAP presentó leves modificaciones. Si bien el aspecto general externo de los frutos fue aceptable hasta los 28 días, el contenido de compuestos de interés nutricional y/o bioactivos que aportan al color de la pulpa y a la capacidad antioxidante, como son los carotenoides, mantuvo la calidad de la pulpa aceptable hasta los 14 días.

Por último, este estudio caracterizó por primera vez la conservación en condiciones refrigeradas de sandías comercializados en la Unidad Agroalimentaria Metropolitana, cuantificando y evaluando la preservación de atributos físicos, compuestos como potenciales nutrientes y compuestos bioactivos, y la capacidad antioxidante de la pulpa de estos frutos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acharya, P., Singh, J., Jayaprakasha, G. K., Jifon, J. L., Crosby, K. M., & Patil, B. S. (2021). Impact of storage period and nanoparticle treatment on phytochemical composition of watermelons (*Citrullus lanatus*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, Artículo e104139. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104139>
- Araújo Neto, S. E. de, Hafle, O. M., Lima Gurgel, F., Barbosa Menezes, J., & Silva, G. G. da. (2000). Quality and postharvest shelf life of Crimson Sweet watermelon marketed in Mossoró. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2), 235-239. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QX5ngXVFzQ3Nvnk9rnFnm9w/?format=pdf&lang=pt>
- Arefi, A., Moghaddam, P. A., Mollazade, K., Hassanpour, A., Valero, C., & Gowen, A. (2015). Mealiness detection in agricultural crops: Destructive and nondestructive tests: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 657-680. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12152>
- Arguedas-Gamboa, P., Mora-Molina, J., & Sanabria-Mora, J. (2015). Comparación del contenido de carotenoides en productos nutracéuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 42-53. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n4/0379-3982-tem-28-04-00042.pdf>
- Arkus, K. A. J., Cahoon, E. B., & Jez, J. M. (2005). Mechanistic analysis of wheat chlorophyllase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 438(2), 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.04.019>
- Arnao, M. B., Cano, A., & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73(2), 239-244. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00324-1)
- Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., Artés, F., & Martínez-Hernández, G. B. (2021). Quality changes of fresh-cut watermelon during storage as affected by cut intensity and UV-C pre-treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 14(3), 505-517. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02587-1>

- Aslam, A., Shengjie, Z., Xuqiang, L., Nan, H., & Wenge, L. (2021). Rootstock mediates transcriptional regulation of citrulline metabolism in grafted watermelon. *Brazilian Journal of Biology*, 81(1), 125-136. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.223633>
- Barman, K., Ahmad, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Factors affecting the quality of fruits and vegetables: Recent understandings. En M. W. Siddiqui (Ed.), *Postharvest biology and technology of horticultural crops: Principles and practices for quality maintenance* (pp. 1-50). Apple Academic Press.
- Bayer. (s.f.). *Sandía Santa Amelia*. [https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/productos/sandia/details.html/watermelon\\_sentinel\\_chile\\_seminis\\_all\\_open\\_fi\\_eld\\_fresh\\_market\\_all.html](https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/productos/sandia/details.html/watermelon_sentinel_chile_seminis_all_open_fi_eld_fresh_market_all.html)
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Ben-Yehoshua, S., & Rodov, V. (2002). Transpiration and water stress. En J. A. Bartz & J. K. Brecht (Eds.), *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 111-159). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203910092.ch5>
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Berrutti, L. (2021, 18 de agosto). Productores de sandía procuran junto a autoridades mejorar su local en la UAM. *La Mañana.uy*. <https://www.xn--lamaana-7za.uy/agro/productores-de-sandia-procuran-junto-a-autoridades-mejorar-su-local-en-la-uam/>

- Bianchi, G., Rizzolo, A., Grassi, M., Provenzi, L., & Lo Scalzo, R. (2018). External maturity indicators, carotenoid and sugar compositions and volatile patterns in 'Cuoredolce®' and 'Rugby' mini-watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsumura & Nakai) varieties in relation of ripening degree at harvest. *Postharvest biology and technology*, 136, 1-11.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.09.009>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cabrera, I. (2000). Enfermedades. En S. L. Martínez (Coord.) & W. Lugo (Ed.), *Conjunto tecnológico para la producción de sandía* (pp. 26-33). EEA-UPR.
- Camacho Ferre, F., & Fernández Rodríguez, E. J. (2000). *El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español*. Caja Rural de Almería.
- Cantwell, M. I. (2007). Apéndice: Resumen de las condiciones recomendadas para el manejo de frutas y hortalizas frescas. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 571-580). Universidad de California.
- Cantwell, M. I., & Kasmire, R. F. (2007). Sistemas de manejo poscosecha: Hortalizas de fruto. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 457-474). Universidad de California.
- Castaño, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., & Aunchayna, R. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2538/1/18429021211104157.pdf>
- Chisholm, D. N., & Picha D. H. (1986). Effect of storage temperature on sugar and organic acid contents of watermelon. *HortScience*, 21(4), 1031-1033.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.4.1031>
- Choe, U., Kang, H., Ham, J., Ri, K., & Choe, U. (2022). Maturity assessment of watermelon by acoustic method. *Scientia Horticulturae*, 293, Artículo e110735.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110735>

- Contacto Eduardo Batista. (2016, 26 de enero). *Cosecha de sandía programa contacto* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=rT-0JSKhjeM>
- Corey, K. A., & Schlimme, D. V. (1988). Relationship of rind gloss and groundspot color to flesh quality of watermelon fruits during maturation. *Scientia Horticulturae*, 34(3-4), 211-218. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(88\)90094-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90094-5)
- Coronado H. M., Vega y León, S., Gutiérrez T. R., Vázquez F. M., & Radilla V. C. (2015). Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182015000200014](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182015000200014)
- Crandall, P. G., & Kesterson, J. W. (1981). Components of processed watermelon fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106(4), 493-495. <https://doi.org/10.21273/JASHS.106.4.493>
- Crawford L. H. (2017). *Manual de manejo agronómico para cultivo de sandía Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. et Nakai*. INIA.
- Cruz Bojórquez, M. R., González Gallego, J., & Sánchez Collado, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6-15. <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28n1/02revision02.pdf>
- De la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. En E. M. Yahia & A. Carrillo-López (Eds.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 253-271). Woodhead Publishing.
- De Paula, V. F. S., Vilvert, J. C., De Araújo, N. O., Do Nascimento, I. B., De Medeiros, J. F., & Aroucha, E. M. M. (2020). Influence of plant biostimulant and spacing on production and postharvest conservation of watermelons cv. Quetzali. *Advances in Horticultural Science*, 34(2), 183-189. <https://oaj.fupress.net/index.php/ahs/article/view/8306/8009>
- Devi, P., Perkins-Veazie, P., & Miles, C. (2020). Impact of grafting on watermelon fruit maturity and quality. *Horticulturae*, 6(4), Artículo e97. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae6040097>

- Diezma, B., Ruiz-Altisent, M., Orihuel Iranzo, B., & Miranda Tarín, M. (2004). Calidad interna en sandías y métodos acústicos. *Revista Horticultura*, 175, 14-19. [http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh175/14\\_19.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh175/14_19.pdf)
- Diezma Iglesias, B., Ruiz Altisent, M., & Jancsók, P. (2005). Vibrational analysis of seedless watermelons: Use in the detection of internal hollows. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 52-60. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005031-124>
- Durán, R., Villegas, M. E., & Nieves, I. (2017). Caracterización y extracción de citrulina de la corteza de la sandía (*Citrullus lanatus* "thunb") consumida en Valledupar. *Temas agrarios*, 22(1), 60-67. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.916>
- Feippe, A., & Carballo, S. (2003). *Guía práctica de análisis físico-químico de frutas y hortalizas*. INIA.
- Fornaris Rullán, G. J. (2000). Cosecha, clasificación, empaque y almacenamiento. En S. L. Martínez (Coord.) & W. Lugo (Ed.), *Conjunto tecnológico para la producción de sandía* (pp. 36-40). EEA-UPR.
- García M., A. D. (2006). Caracterización física y química de duraznos (*Prunus persica* (L.) Batsch) y efectividad de la refrigeración comercial en frutos acondicionados. *Bioagro*, 18(2), 115-121. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612006000200006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612006000200006)
- Gimeno Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos: Un análisis de sus beneficios para su salud. *Offarm*, 23(6), 80-84. <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-de-san-carlos-de-guatemala/fitoquimica/13063508-compuestos-fenolicosun-analisis-de-sus-beneficios-para-la-salud/68210510>
- Goites, E. (2008). *Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar*. INTA. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/08/script-tmp-manual\\_de\\_cultivos\\_para\\_la\\_huerta\\_organica\\_familiar\\_.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/08/script-tmp-manual_de_cultivos_para_la_huerta_organica_familiar_.pdf)
- González-Casado, S., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., & Soliva-Fortuny, R. (2018). Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: Effects on respiratory activity and quality attributes. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.017>

- Gross, J. (1991). *Pigments in vegetables: Chlorophylls and carotenoids*. Springer.
- Hernández Jorge, F. E., Medina Ramírez, C., & Hernández Ossa, Y. K. (2011). Evaluación del híbrido de sandía Santa Amelia (*Citrullus lanatus* Thunb) en tres tipos de cobertura. *Revista Agronomía*, 19(2), 54-66.  
[http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19\(2\)\\_6.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19(2)_6.pdf)
- Hutchings, J. B. (1999). *Food colour and appearance*. Springer.  
<https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-2373-4>
- Instituto Nacional de Estadística. (2022). *Anuario Estadístico 2022*.  
<https://www5.ine.gub.uy/documents/SEN/Anuario%20Estad%C3%ADstico%20Nacional/Anuario%20Estad%C3%ADstico%20Nacional%202022.pdf>
- Ikeda, T., Fukazawa, T., Mitsuie, S., & Yoshii, K. (2011). Osmotic contribution of sugar contents in watermelon flesh. *Environmental Control in Biology*, 49(2), 83-90.  
<https://doi.org/10.2525/ecb.49.83>
- Kader, A. A. (2007a). Biología y tecnología postcosecha: Un panorama. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 45-54). Universidad de California.
- Kader, A. A. (2007b). Estandarización e inspección de frutas y hortalizas frescas. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 323-336). Universidad de California.
- Kader, A. A. (2007c). Factores de seguridad y calidad: Definición y evaluación para productos hortofrutícolas frescos. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 315-322). Universidad de California.
- Kitinoja, L., & Gorny, J. (1998). *Postharvest technology for fruit & vegetable produce marketers: Economic opportunities, quality & food safety*. UC Postharvest Outreach Program; Punjab Horticulture Postharvest Technology Center; USAID/ACE Project.
- Koc, A. B. (2007). Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 366-371.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.010>

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 726-732. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Kyriacou, M. C., Leskovar, D. I., Colla, G., & Rouphael, Y. (2018). Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agro-environmental factors implicated. *Scientia Horticulturae*, 234, 393-408. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.032>
- Larson, R. E., Hostetler, R. P., & Edwards, B. H. (1999). *Cálculo y geometría analítica* (6ª ed., Vol. 2). McGraw Hill.
- Latimer, G. W. (Ed.). (2012). Official methods of analysis of AOAC international (19ª ed., Vol. 2). AOAC Internacional.
- Leoni, C., & Mondino, P. (2003). Enfermedades de poscosecha en frutales de hoja caduca, uva de mesa y citrus. En S. Carballo & A. Feippe (Coords.), *Actualización técnica en fisiología y manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. INIA.
- Logaraj, T. V. (2011). Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsumura and Nakai): Seed oils and their use in health. En V. R. Preedy, R. R. Watson, & V. B. Patel (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 1149-1157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-01960-6>
- Lopa, J., Valderrama, M., León, N., Lazo, L., Llerena, J. P., Ballón, C., & Guija-Poma, E. (2021). Evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de tumbo (*Passiflora mollissima*) y cerezo (*Prunus serotina*). *Horizonte Médico (Lima)*, 21(3), Artículo e1365. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2021.v21n3.08>
- López-Almada, G., Domínguez-Avila, J. A., González-Aguilar, G. A., Mejía-León, M. E., & Salazar López, N. J. (2022). Abordaje preventivo en la enfermedad por hígado graso no alcohólico. *Epistemos*, 16(32), 71-78. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i32.185>
- López Camelo, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: Del campo al mercado*. FAO.

- MacGillivray, J. H. (1947). Soluble solids content of different regions of watermelons. *Plant Physiology*, 22(4), 637-640. <https://doi.org/10.1104/pp.22.4.637>
- Manivannan, A., Lee, E. S., Han, K., Lee, H. E., & Kim, D. S. (2020). Versatile nutraceutical potentials of watermelon-a modest fruit loaded with pharmaceutically valuable phytochemicals. *Molecules*, 25(22), Artículo e5258. <https://doi.org/10.3390/molecules25225258>
- Maoto, M. M., Beswa, D., & Jideani, A. I. O. (2019). Watermelon as a potential fruit snack. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 355-370. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1584212>
- Maroto Borrego, J. V., Gómez, A. M., & Pomares García, F. (2002). *El cultivo de la sandía*. Fundación Caja Rural Valencia; Mundi-Prensa.
- Martí, R., Sánchez, G., Valcárcel, M., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2019). High throughput FT-MIR indirect analysis of sugars and acids in watermelon. *Food Chemistry*, 300, Artículo e125227. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125227>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: Maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Martínez-Navarrete, N., Camacho Vidal, M. M., & Martínez Lahuerta, J. J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética* 12(2), 64-68.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5-18. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222000000100001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001&lng=es&tlng=es)
- Mashilo, J., Shimelis, H., Maja, D., & Ngwepe, R. M. (2022). Retrospective genetic analysis of qualitative and quantitative traits in sweet watermelon (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*): A review. *Agronomy*, 12(7), Artículo e1633. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071633>

- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., & Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&tlng=es)
- Mohd Ali, M., Hashim, N., Bejo, S. K., & Shamsudin, R. (2017). Rapid and nondestructive techniques for internal and external quality of watermelons: A review. *Scientia Horticulturae*, 225, 689-699. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.012>
- Morillas-Ruiz, J. M., & Delgado-Alarcón, J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 32(2), 8-20. [https://fundacionsaborysalud.com/web/portal/images/documentacion/ANALISIS-NUTRICIONAL\\_Vegetales.pdf](https://fundacionsaborysalud.com/web/portal/images/documentacion/ANALISIS-NUTRICIONAL_Vegetales.pdf)
- Muiruri, J., Ambuko, J., Nyankanga, R., & Owino, W. O. (2022). Maturity indices of specific mango varieties produced at medium altitude agro-ecological zone in Kenya. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 22(6), 20752-20774. <https://doi.org/10.18697/ajfand.111.22025>
- Nagal, S., Kaur, C., Choudhary, H., Singh, J., Singh, B. B., & Singh, K. N. (2012). Lycopene content, antioxidant capacity and colour attributes of selected watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansfeld) cultivars grown in India. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 996-1000. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.694848>
- Nunes, M. C. N. (2008). *Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables*. Blackwell.
- Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2017). Utilization of watermelon pulp for lycopene extraction by response surface methodology. *Food Chemistry*, 232, 316-321. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.038>

- Observatorio Granjero. (s.f.). *Manual de procedimientos y referencias técnicas para la tipificación de la calidad de frutas y hortalizas frescas*. MGAP.  
<https://drive.google.com/file/d/1X1wZvWXENQI6wtGkHe37L0hyeplvLPfv/view>
- Observatorio Granjero. (2013). *Zafra 2013/2014 de sandía: Informe de situación*. MGAP.
- Observatorio Granjero. (2017). *Cultivo de sandía*. MGAP.
- Observatorio Granjero. (2023). *Zafra de sandía 2022/23*. MGAP.  
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1ee2axlXaofgDzaouXYQfKlm155Vasf58>
- Observatorio Granjero. (2024). *Anuario estadístico 2023*. MGAP.  
<https://uam.com.uy/wp-content/uploads/2024/07/Anuario-2023-UAM-Observatorio-Granjero.pdf>
- Oludemi, F. O., & Akanbi, C. T. (2013). Chemical, antioxidant and sensory properties of tomato-watermelon-pineapple blends, and changes in their total antioxidant capacity during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(7), 1416-1425. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12104>
- Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Use of Weibull distribution for describing kinetics of antioxidant potential changes in fresh-cut watermelon. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 99-105.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.016>
- Orrala-Borbor, N., Herrera-Isla, L., & Balmaseda-Espinosa, C. (2018). Rendimiento y calidad de la sandía bajo diferentes patrones de injerto y dosis de NPK. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 25-30.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000300004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000300004&lng=es&tlng=es)
- Pérez López, E. (2014). Cultivo de sandía en suelo y en hidroponía. En J. C. Gázquez Garrido (Coord.), *Técnicas de cultivo y comercialización de la sandía* (pp.17-73). Cajamar Caja Rural.

- Periago, M. J., Martínez-Valverde, I., Ros, G., Martínez, C., & López, G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 17, 51-66.  
<https://revistas.um.es/analesvet/article/view/16461/15891>
- Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 159-166.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.08.005>
- Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2006). Carotenoid changes of intact watermelons after storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5868-5874.  
<https://doi.org/10.1021/jf0532664>
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., Pair, S. D., & Roberts, W. (2001). Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 983-987. <https://doi.org/10.1002/jsfa.880>
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., & Wu, G. (2007). Watermelon and health. *Acta Horticulturae*, (731), 121-128. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.731.17>
- Pinzón, I. M. del P., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652007000100010&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652007000100010&lng=en&tlng=es)
- Reche Mármol, J. (1988). *La sandía*. Mundi-Prensa.
- Reche Mármol, J. (1994). *Cultivo de la sandía en invernadero*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas.
- Reche Mármol, J. (2000). *Cultivo intensivo de la sandía*. MAPA.
- Reid, M. S. (2007). Maduración e índices de madurez. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 63-71). Universidad de California.

- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es).
- Rioja Antezana, A. P., Vizaluque, B. E., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602018000500006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602018000500006&lng=es&tlng=es).
- Rodrigo, M. J., Alquézar, B., Alférez, F., & Zacarías, L. (2012). Biochemistry of fruits and fruit products. En N. K. Sinha, J. S. Sidhu, J. Barta, J. S. B. Wu & M. P. Cano (Eds.), *Handbook of fruits and fruit processing* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 13-34). Wiley-Blackwell.
- Rodríguez, J. F., Rodríguez, E., Suárez, L. F., Velasco, K. T., Ramos, C., & Malagón, E. (2020). Eficiencia de un inhibidor verde extraído de la cáscara de la sandía en la corrosión del acero estructural A36 evaluado en medios ácido y salino. *Revista ION*, 33(1), 33-38. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020003>
- Rojas Ávila, M. R., Vargas y Vargas, L., & Tamayo Cortez, J. A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(2), 153-161.  
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81315076009.pdf>
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Acuña, I. J., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., Byerly Murphy, K. F., & Martínez Parra, R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (2<sup>a</sup> ed.). INIFAP; CIRPC; CECAJ.
- Sadnia, H., Rajabipour, A., Jafari, A., Javadi, A., Mostofi, Y., Kafashan, J., Dintwa, E., & De Baerdemaeker, J. (2008). Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 272-280. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.007>

- Saftner, R., Luo, Y., McEvoy, J., Abbott, J. A., & Vinyard, B. (2007). Quality characteristics of fresh-cut watermelon slices from non-treated and 1-methylcyclopropene-and/or ethylene-treated whole fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.002>
- Salunkhe, D. K., & Desai, B. B. (1984). *Postharvest biotechnology of fruits* (Vol. 1). CRC Press.
- Seymen, M., Yavuz, D., Kurtar, E. S., Türkmen, Ö, Süheri, S., & Yavuz, N. (2020). Effect of deficit irrigation and rootstocks on fruit weight during post-harvest controlled storage of watermelon. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2294-2300. <https://doi.org/10.21597/jist.705133>
- Sharma, R., Kaur, D., Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2008). Thermal degradation kinetics of pigments and visual color in watermelon juice. *International Journal of Food Properties*, 11(2), 439-449. <http://dx.doi.org/10.1080/10942910701530826>
- Showalter, R. K. (1961). Specific gravity, weight, and solids relationships in watermelons. *Florida State Horticultural Society*, 74, 268-271.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Soares da Silva, E., da Silva Carmo, I. L. G., Lopes Monteiro Neto, J. L., Dantas de Medeiros, R., Lourenzoni Augusti, M., Erazo Amaya, J. Z., Murga-Orrillo, H., & Abanto-Rodríguez, C. (2020). Cultivo de nueve variedades de sandía bajo condiciones edafoclimáticas de la Sabana brasilera: Variables morfológicas, características fisicoquímicas y vida útil de frutos. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 493-501. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.04>
- Soteriou, G. A., Kyriacou, M. C., Siomos, A. S., & Gerasopoulos, D. (2014). Evolution of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165, 282-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.120>

- Suárez-Hernández, Á. M., Grimaldo-Juárez, O., García-López, A. M., González-Mendoza, D., & Huitrón-Ramírez, M. V. (2017). Influence of rootstock on postharvest watermelon quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(1), 49-58. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.06.019>
- Tapia, M. R., Gutierrez-Pacheco, M. M., Vazquez-Armenta, F. J., González-Aguilar, G. A., Ayala Zavala, J. F., Rahman, M. S., & Siddiqui, M. V. (2015). Washing, peeling and cutting of fresh-cut fruits and vegetables. En M. W. Siddiqui & M. S. Rahman (Eds.), *Minimally processed foods: Technologies for safety, quality, and convenience* (pp. 57-78). Springer.
- Tarazona-Díaz, M. P., Martínez-Sánchez, A., & Aguayo, E. (2017). Preservation of bioactive compounds and quality parameters of watermelon juice enriched with L-citrulline through short thermal treatment. *Journal of Food Quality*, 2017, Artículo e3283054. <https://doi.org/10.1155/2017/3283054>
- Tarazona-Díaz, M. P., Viegas, J., Moldao-Martins, M., & Aguayo, E. (2011). Bioactive compounds from flesh and by-product of fresh-cut watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 91(5), 805-812. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4250>
- Thompson, A. K. (1998). *Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas*. SENA.
- Thompson, A. K. (2016). *Fruit and vegetable storage: Hypobaric, hyperbaric and controlled atmosphere*. Springer.
- Thompson, J. F. (2007a). Psicrometría y productos perecederos. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp.149-155). Universidad de California.
- Thompson, J. F. (2007b). Sistemas de almacenamiento. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3ª ed., pp.131-148). Universidad de California.
- Tlili, I., Hdider, C., Lenucci, M. S., Ilahy, R., Jebari, H., & Dalessandro, G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activities during fruit ripening of watermelon cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 923-928. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.03.016>

- Tlili, I., Ilahy, R., Rached, Z., Ali, A. B., Arfaoui, K., & R'him, T. (2022). Effect of the storage period on the antioxidant properties of different watermelon cultivars grown in Tunisia. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(6), 1138-1141. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i6.1138-1141.4937>
- Tomiyama, S., Yakushiji, H., Osawa, M., Yanagida, K., Sato, N., Matsumoto, Y., & Ikeda, T. (2023). Active sugar accumulation and water status of watermelon fruit grown under different nutrient concentrations in hydroponic culture. *HortScience*, 58(5), 488-494. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17026-22>
- Trandel, M. A., Johanningsmeier, S., Schultheis, J., Gunter, C., & Perkins-Veazie, P. (2021). Cell wall polysaccharide composition of grafted 'Liberty' watermelon with reduced incidence of hollow heart defect. *Frontiers in Plant Science*, 12, Artículo e623723. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.623723>
- Trandel, M. A., & Perkins-Veazie, P. (2020). Predicting hollow heart incidence in triploid watermelon (*Citrullus lanatus*). *HortScience*, 55(12), 1926-1930. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15361-20>
- Urango Marchena, L. A., Montoya Parra, G. A., Cuadros Quiroz, M. A., Henao, D. C., Zapata, P. A., López Mira, L., Castaño, E., Serna López, Á. M., Vanegas, C. V., Loaiza, M. C., & Gómez, B. D. (2009). Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 11(1), 27-38. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-41082009000100003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-41082009000100003&lng=en&tlng=es).
- Valle-Vargas, M. F., Durán-Barón, R., Quintero-Gamero, G., & Valera, R. (2020). Caracterización fisicoquímica, químico proximal, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de pulpa y corteza de sandía (*Citrullus lanatus*). *Información Tecnológica*, 31(1), 21-28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100021>

- Vicente, A. R., Concellón, A., Viña, S. Z., Lemoine, M. L., Rodoni, L., Zaro, M. J., Hasperue, J., Massolo, J. F., Ortiz, C. M., González Forte, L., Quinteros, N., Valerga, L., Darré, M., Ortiz Araque, L. C., & Pintos, F. (2017, 6 de octubre). *Alteraciones de los polifenoles en la etapa de poscosecha* [Contribución]. Seminario de polifenoles en frutas y hortalizas, La Plata.  
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/72815>
- Vinson, E. L., III, Woods, F. M., Kemble, J. M., Perkins-Veazie, P., Davis, A., & Kessler, J. R. (2010). Use of external indicators to predict maturity of mini-watermelon fruit. *HortScience*, 45(7), 1034-1037.  
<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/45/7/article-p1034.xml>
- Vitale, A. A., Bernatene, E. A., & Pomilio, A. B. (2010). Carotenoides en quimiopreención: Licopeno. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 44(2), 195-238. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0325-29572010000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572010000200005&lng=es&tlng=es)
- Vogele, A. C. (1937). Effect of environmental factors upon the color of the tomato and the watermelon. *Plant Physiology*, 12(4), 929-955.  
<https://doi.org/10.1104/pp.12.4.929>
- Waldron, K. W. (2004). Plant structure and fruit and vegetable texture. En D. Kilcast (Ed.), *Texture in food: Volume 2. Solid foods* (pp. 241-258). Woodhead.
- Waterhouse, A. L. (2002). Determination of total phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 6(1), I1.1.1-I1.1.8.  
<https://doi.org/10.1002/0471142913.fai0101s06>
- Wehner, T. C., Naegele, R. P., & Perkins-Veazie, P. (2017). Heritability and genetic variance components associated with citrulline, arginine, and lycopene content in diverse watermelon cultigens. *HortScience*, 52(7), 936-940.  
<http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI11255-16>
- Wilson, J. D., Buffa, A. J., & Lou, B. (2007). *Física* (6ª ed.). Pearson.

- Yoshii, K., Fukuoka, M., Kawamura, T., & Ikeda, T. (2013). Measuring the water status of watermelon fruits by psychrometer and H nuclear magnetic resonance imaging. *Environmental Control in Biology*, 51(3), 113-120.  
[https://www.researchgate.net/publication/269427292\\_Measuring\\_the\\_Water\\_Status\\_of\\_Watermelon\\_Fruits\\_by\\_Psychrometer\\_and\\_1H\\_Nuclear\\_Magnetic\\_Resonance\\_Imaging](https://www.researchgate.net/publication/269427292_Measuring_the_Water_Status_of_Watermelon_Fruits_by_Psychrometer_and_1H_Nuclear_Magnetic_Resonance_Imaging)
- Zaccari, F., Puerto, M. D., Vignale, B., & Pritsch, C. (2017). Parámetros colorimétricos y contenido de pigmentos en cinco colores de cáscara de fruto de guayabo [*Acca sellowiana* (Berg) Burret]. *Agrociencia (Uruguay)*, 21(2), 23-30.  
[http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482017000200023&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000200023&lng=es&tlng=es)
- Zaccari, F., Saadoun, A., & Cabrera, M. C. (2021). Nutrients and bioactive compounds naturally packed in fruits and Vegetables: An innovative tool for public policies. *Agrociencia Uruguay*, 25(NE2), Artículo e917.  
<https://doi.org/10.31285/agro.25.917>
- Zamuz, S., Munekata, P. E. S., Gullón, B., Rocchetti, G., Montesano, D., & Lorenzo, J. M. (2021). *Citrullus lanatus* as source of bioactive components: An up-to-date review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 208-222.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.002>
- Zarifikhosroshahi, M., & Ergun Z. (2021). The effect of storage temperature on the composition of fatty acids in Crimson Sweet (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*) watermelon cultivar seeds. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 839-845. <http://dx.doi.org/10.21597/jist.830878>