

RÚCULA: CONSERVACIÓN REFRIGERADA PARA EXTENDER SU VIDA POSCOSECHA

González, Valeria*; Pancini, Bruno; Zaccari, Fernanda

Laboratorio Postcosecha de frutas y hortalizas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Av. Garzón 780 CP 129000. Montevideo, Uruguay.

vgonzalez@fagro.edu.uy

RESUMEN: La rúcula (*Eruca* sp.) ha sido incorporada en las últimas dos décadas en los sistemas de producción uruguayos, particularmente en producción orgánica, presentando un corto período de conservación (4 días) vinculado al inadecuado manejo poscosecha. El objetivo de este trabajo fue validar la conservación refrigerada para las condiciones locales de producción y comercialización de rúcula a fin de aumentar su vida útil luego de la cosecha. Para esto se caracterizaron y cuantificaron las principales variables asociadas a la calidad de las hojas de rúcula: aspecto general, pérdida de peso (PP), sólidos solubles totales (SST), fenólicos totales (FT), la capacidad antioxidante total (CAT), color, clorofilas y carotenoides totales, en conservación refrigerada (CR) (4 °C y 95% HR) y luego de 3 o 4 días en vida mostrador (VM) (20 °C y 75 % HR). Para cada tiempo de CR (0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 27 días) y de VM (0+3; 3+3; 6+3; 9+3; 12+4; 16+4; 20+4; 24+3 días) se conservaron hojas sin defectos visibles en tres bolsas de polipropileno (50 ± 5 g de rúcula). Los resultados obtenidos permitieron reafirmar que aplicando un manejo refrigerado adecuado sería posible aumentar 2,25 veces el tiempo de conservación de la calidad de la rúcula en los actuales sistemas de producción, con mínima reducción de sus compuestos bioactivos.

PALABRAS CLAVE: *Eruca* sp., conservación en frío, vida útil.

ARUGULA: REFRIGERATED STORAGE TO EXTEND ITS POSTHARVEST SHELF LIFE

ABSTRACT: Arugula (*Eruca* sp.) has been incorporated into Uruguayan production systems in the last two decades, particularly in organic production, but it has a short shelf life (4 days) due to inadequate postharvest management. Therefore, the aim of this study was to validate refrigerated storage for local arugula leaves production and marketable conditions in order to increase their postharvest life. The main variables associated with the quality of arugula leaves were characterized and quantified: general appearance, weight loss (WL), total soluble solids (TSS), total phenolics (TP), total antioxidant capacity (TAC), color, chlorophylls and total carotenoids, under refrigerated storage (RS) (4 °C and 95% RH) and after 3 or 4 days at room temperature (RT) (20 °C and 75% RH). For each refrigerated storage time (0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 27 days) and room temperature time (0+3; 3+3; 6+3; 9+3; 12+4; 16+4; 20+4; 24+3 days), defect-free leaves were stored in three polypropylene bags (50 ± 5 g of arugula leaves). The results showed that by applying adequate refrigerated conditions, it would be possible to increase the shelf life of arugula leaves in current production systems by 2.25 times, with minimal reduction in their bioactive compounds.

KEYWORDS: *Eruca* sp., cold storage, shelf life.

INTRODUCCIÓN

La alimentación saludable, al igual que el reducir la pérdida y desperdicio de alimentos forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) promulgados por las Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [1]. En parte, esto ha promovido la generación de políticas públicas para incrementar la producción, comercialización y/o consumo de frutas y hortalizas, entre ellas las hojas de distintas especies, predominando algunos tipos de lechugas (*Lactuca sativa* L.) y de plantas de la familia de las *Brassicaceae* [2, 3, 4]. En Uruguay ese fenómeno se viene dando en la última década, registrándose aumento de Brasicáceas en la lista de hortalizas ofertadas en el principal mercado mayorista del país, destacándose entre ellas la rúcula (*Eruca* spp.), [5, 6]. Al mismo tiempo, la incorporación de diferentes Brasicáceas ha aportado diversidad vegetal en los sistemas de producción uruguayos, particularmente en producción orgánica, así como en la industria de

Recibido: 17/11/2023; Aceptado: 4/12/2023

ensaladas procesadas y en el paladar de los consumidores. La rúcula tiene un sabor picante, textura y aroma que le caracteriza [7, 8, 9]. Esta hortaliza, posee un gran valor nutricional y propiedades bioactivas beneficiosas para la salud humana, particularmente por el contenido en glucosinolatos, carotenoides, vitamina C y E, folatos, fibra, compuestos fenólicos y minerales [10, 11, 12, 13, 14]. Por otra parte, las hortalizas de hoja son productos muy perecederos, presentan moderada a baja tasas de respiración (4,4 a 7,8 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 0°C), moderada a alta deshidratación y sensibilidad al etileno, perdiendo rápidamente atributos de calidad visual como la turgencia, el color y desarrollando pudriciones [15, 16, 17, 18, 19]. Entre los factores que mantienen la calidad de productos vegetales luego de la cosecha, la rápida reducción de la temperatura de campo es determinante. Por su parte, varios autores han reportado que las hojas de rúcula pueden conservarse a 5 °C entre 9 a 10

días y hasta 11 a 14 días a 0 °C [15, 17, 18, 20]. En la zona hortícola sur de Uruguay los productores de rúcula y otras hojas comestibles, tienen importantes descartes por deterioro de la calidad de estos productos y perciben un corto período de conservación (4 días), muy vinculado a la época de cosecha [17, 21, 22] e inadecuado manejo poscosecha utilizado. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue validar la conservación refrigerada para condiciones locales de producción y comercialización, evaluando hojas de rúcula conservadas en frío (4 °C, 27 días) y en su posterior vida mostrador (20 °C, 3 o 4 días) por el aspecto general, la pérdida de peso, el contenido de sólidos solubles totales, compuestos fenólicos totales y por la capacidad antioxidante total, el color, clorofilas y carotenoides, a fin de aumentar su vida útil luego de la cosecha.

METODOLOGÍA

Se utilizaron hojas de rúcula (*Eruca sativa*) de un sistema de producción orgánica comercial bajo invernáculo (34° 47' 17,1" S, 55° 96' 09,1" O, San Bautista, Canelones, Uruguay), cosechando en septiembre (~ 8 a 9 AM) el primer corte del cultivo a los 30 días postrasplante. La cosecha se realizó cortando manualmente con cuchillo las hojas en la base de la planta y manteniendo la temperatura baja y la humedad del aire alta en torno de las hojas (~ 9 °C y 90 %), hasta llegar al Laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Agronomía (Montevideo, Uruguay). Inmediatamente las hojas se enfriaron bajo lluvia con agua potable (5 °C), se dejó escurrir y se quitó suavemente el exceso de agua con toallas de papel. Las hojas se seleccionaron visualmente, descartando por defectos físicos, fisiológicos y/o patológicos. Las hojas sin defectos fueron pesadas y acondicionadas en bolsas de polipropileno (16 x 30 cm, 50 g ± 5 g), sin cerrar, constituyendo la unidad de estudio. Las muestras fueron llevadas a cámara de frío (4 °C y 95% HR) para evaluar nueve tiempos de almacenamiento en conservación refrigerada (CR) (0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 27 días) y ocho momentos de vida mostrador (VM) a 20 ± 3 °C y 75 ± 5 % HR luego de 3 o 4 días de la salida de la cámara de frío (0+3, 3+3, 6+3, 9+3, 12+4, 16+4, 20+4, 24+3 días). Inmediato a la salida de la cámara y al final de la vida mostrador, se determinó por triplicado las variables que se describen a continuación.

Aspecto general

Se construyó una escala visual con 5 categorías (1 muy malo, 2 malo, 3 aceptable, 4 bueno, 5 muy bueno) con la cual seis panelistas no entrenados evaluaron el aspecto general de las muestras.

Pérdida de peso (PP)

El peso de todas las muestras se cuantificó en una balanza digital (Ohaus, Scout™ Pro SP602, EUA), al inicio (Pi), a la salida de cámara y luego de finalizar su VM (Pf). La pérdida de peso se calculó con la siguiente fórmula: $(P_i - P_f) * 100 / P_i$

Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales se midió en el jugo obtenido de 3 a 5 hojas por muestra, extraído con un extrusor de ajo. La determinación se realizó con un refractómetro digital (Atago, PAL-1 Japón) expresando los datos en grados Brix (°Brix).

Fenólicos totales (FT) y capacidad antioxidante total (CAT)

Para determinar FT y CAT se realizó la extracción utilizando 0,5 g de muestra congelada homogeneizada con 3 mL de una solución de metanol:agua [70:30, v:v] a 10.000 rpm durante 25 s, en un homogeneizador (Scientz, XHF-D, China). Se mantuvo 1 h en oscuridad y

frío (5 °C), se centrifugó (15.000 xg, 10 min a 4 °C) en una centrífuga (Thermo Scientific, Sorvall™ ST 16R, Alemania), y se extrajo el sobrenadante. La determinación de FT se realizó según Waterhouse [23] usando el reactivo Folin-Ciocalteu (1 N) y una dilución metanólica del extracto al 50%. Se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Multiskan sky, Alemania), luego de 1 h de reacción en oscuridad y temperatura ambiente a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de peso fresco (mg AGE g⁻¹ PF). La CAT medida por el método ABTS (inhibición del catión 2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) se hizo según Arnao et al [24], con una disolución metanólica del extracto [20:80, v:v]. La absorbancia se determinó a los 30 min a λ 734 nm. La CAT analizada con el reactivo 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se realizó según Brand-Williams et al. [25], midiendo la absorbancia a λ 515 nm luego de 1 h en oscuridad y temperatura ambiente. Por último, se determinó la CAT medida como el ensayo de potencial de reducción férrico (FRAP) según lo propuesto por Benzie y Strain [26]. Se mantuvo en oscuridad y a temperatura ambiente durante 30 min y se midió su absorbancia a λ 593 nm y 25 °C. Los resultados obtenidos en los tres métodos empleados fueron expresados como miligramos de ácido ascórbico equivalente por gramo de peso fresco (mg AAE g⁻¹ PF).

Color

El color se determinó con una escala visual e instrumentalmente (CIELAB). La escala visual con cinco categorías (Amarillo, Amarillo-verde, Verde-amarillo, Verde claro, Verde oscuro) se construyó según Siomos y Koukounaras [8], (Figura 1). El color instrumental se midió en 10 hojas al azar de cada muestra con un colorímetro (PCE-TCR 200, España), iluminante D65 y ángulo observador 10, utilizando el sistema del espacio tridimensional CIE L*a*b*, y se calculó el tono y el croma según McGuire [27].



Figura 1 - Escala visual del color de hojas de rúcula.

Clorofila y carotenoides totales

El contenido de clorofila y carotenoides total se determinó y calculó según Lichtenthaler y Wellburn [28] y Torales et al. [29] utilizando para la extracción 0,2 g de muestra congelada, 15 mL de acetona:agua [80:20] y butilhidroxitolueno (BHT, 1 g/L), homogeneizando a 10.000 rpm (10 s), manteniendo en oscuridad durante 1 h (4 °C). Inmediatamente se centrifugó (10.500 rpm, 10 min, 4 °C), y midió en el sobrenadante la absorbancia a λ 663, 646 y 470 nm en un espectrofotómetro (Unico, S-2150, EUA). Los resultados fueron expresados como miligramos de clorofila y carotenoides totales por gramo de peso fresco (mg g⁻¹ PF).

Análisis estadístico

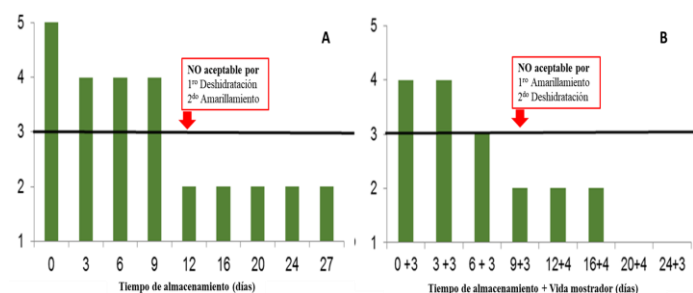
El diseño experimental consistió en un diseño completamente aleatorizado (DCA) para cada tipo de conservación (CR y VM), con nueve tiempos de almacenamiento en CR y ocho en VM, con tres repeticiones para cada tiempo de almacenamiento. Las variables SST, FT, CAT y clorofila y carotenoides se analizaron por duplicado. Los datos obtenidos

en la variable aspecto general se analizaron calculando el valor más frecuente (moda). Las demás variables fueron examinadas con un análisis de varianza (ANAVA, $p \leq 0,05$) y cuando correspondió se compararon las medias con test de Tukey ($p \leq 0,05$), usando el programa estadístico InfoStat/libre versión 2020 [30].

RESULTADOS Y DISCUSION

Aspecto general

La rúcula mantuvo su aspecto general aceptable hasta los nueve días de almacenamiento, 9d en CR y 6+3d para VM (Figura 2). Las principales causas limitantes de la calidad fueron el amarillamiento de las hojas y la pérdida de turgencia por deshidratación. En CR la primera causa de no aceptación fue el aspecto general deshidratado mientras que en VM fue por el color amarillo de las hojas (Figura 2).



Escala visual: Muy malo (1), Malo (2), Aceptable (3), Bueno (4) y Muy bueno (5). Moda (n = 3).

Figura 2 - Aspecto general de las hojas de rúcula durante la conservación refrigerada (A) y luego de vida mostrador (B).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores, donde la rúcula almacenada a 5 °C mantuvo niveles de aceptación en el aspecto general hasta los 9 a 10 días, mientras que a 0 °C se extendió hasta los 11 a 14 días [15, 17, 18, 20, 31].

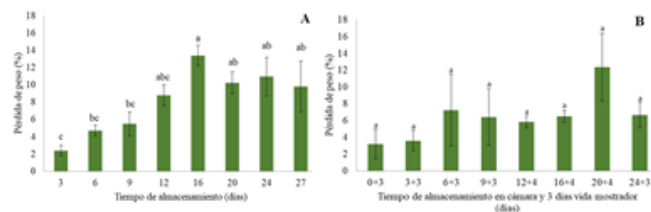
Pérdida de peso

En las condiciones de este estudio, el tiempo de almacenamiento determinó pérdida de peso (PP) de las hojas de rúcula entre 2,4 a 13,4 % del peso inicial del producto conservado en bolsas abiertas bajo refrigeración ($p = 0,0001$), Figura 3 A. Sin embargo, el tiempo de CR no modificó la PP registrada a los 3 o 4 días VM, siendo la reducción del peso de las hojas similar para todos los momentos estudiados (6,5 % PP; $p = 0,0632$), Figura 3 B.

En la CR, con PP de 5,47% no se observaron síntomas de deshidratación en la primera etapa del almacenamiento (0 a 9 días), (Figura 1 y 2). Por el contrario, la deshidratación de las hojas se detectó a los 12 días, como se indica en la Figura 3, a partir de una PP de 8,78%, manteniéndose similar desde este momento hasta el final de este estudio (27 días, ~ 11 % del PP).

Los síntomas de deshidratación observados como pérdida de turgencia se explican por la interacción del tiempo de conservación en la condición de temperatura y humedad relativa registradas en CR ($3,8 \pm 0,3$ °C; $86,9 \pm 4,7$ % HR) y para 3 o 4 días de VM (20 ± 3 °C; 75 ± 5 % HR) durante el desarrollo del estudio. En ambos casos, la diferencia de presión de vapor entre el tejido vegetal y el aire circundante provoca la salida de agua desde el vegetal al ambiente, siendo admisible en hortalizas de hojas un rango de 3 a 10% PP [32]. La diferencia de presión de vapor generado en

el ambiente de las hojas en VM (0,0058 bar) condicionó una PP diaria promedio de 1,9% en 3 o 4 días luego de CR, mientras que en CR la diferencia de presión menor (0,0010 bar) generó una tasa diaria de PP de 0,60% hasta los 9 días. La estabilización de la pérdida de peso a partir de los 12 días en CR podría estar explicada en parte por un mayor cierre estomático durante esta etapa y/o a un incremento del espesor y cambios en la composición cuticular durante el envejecimiento del tejido en la poscosecha [32, 33, 34].



Media ± EE (n = 3). Para CR o VM, letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas (Tukey $\geq 0,05$).

Figura 3 - Pérdida de peso de hojas de rúcula durante la conservación refrigerada (A) y luego de vida mostrador (B).

Tabla 1 - Contenido de sólidos solubles totales (STT) y para cada gramo de peso fresco, contenido de fenólicos totales (FT) y capacidad antioxidante total (CAT) por los métodos ABTS, DPPH, y FRAP, durante la conservación refrigerada.

Tiempo (días)	SST °Brix	FT mg AGE	ABTS mg AAE	DPPH mg AAE	FRAP mg AAE
0	2,12 ± 0,09 b	1,54 ± 0,09 ab	1,24 ± 0,14 bc	0,88 ± 0,02 a	0,48 ± 0,04 ab
3	3,15 ± 0,23 a	1,16 ± 0,11 ab	0,99 ± 0,09 c	0,70 ± 0,04 bc	0,63 ± 0,09 a
6	3,56 ± 0,23 a	1,64 ± 0,06 a	1,12 ± 0,11 bc	0,66 ± 0,02 bc	0,59 ± 0,02 a
9	2,78 ± 0,14 ab	1,52 ± 0,15 b	1,57 ± 0,12 ab	0,58 ± 0,05 bc	0,45 ± 0,04 ab
12	3,03 ± 0,27 a	1,10 ± 0,06 b	0,99 ± 0,04 c	0,59 ± 0,03 bc	0,43 ± 0,04 ab
16	3,6 ± 0,18 a	1,42 ± 0,07 ab	1,16 ± 0,08 bc	0,56 ± 0,04 c	0,36 ± 0,05 b
20	3,61 ± 0,22 a	1,40 ± 0,15 ab	1,42 ± 0,08 bc	0,75 ± 0,06 ab	0,35 ± 0,04 b
24	sd	1,63 ± 0,12 a	1,85 ± 0,08 a	0,68 ± 0,03 bc	0,48 ± 0,04 ab
Valor p	<0,0001	0,0047	<0,0001	<0,0001	0,0011

Media ± EE (n = 6). sd; sin datos. Letras iguales dentro de cada columna indican que no hay diferencias estadísticas (Tukey $\geq 0,05$). AGE: ácido gálico equivalente. AAE: ácido ascórbico equivalente.

Sólidos solubles totales

El contenido de SST se midió hasta los 20 días por no contar con muestra suficiente para extraer el jugo en los siguientes muestreos. El contenido de SST en hojas de rúcula durante la CR fue de 2,12 a 3,61 °Brix, y al finalizar la VM 3,50 a 5,04 °Brix (Tabla 1 y 2). Luego de la cosecha (0 día), la CR incrementó 0,6 veces el contenido de SST manteniéndose los SST hasta el final del período estudiado (Tabla 1). Por su parte, 3 o 4 días de VM posterior a la CR determinó un aumento de 0,4 veces en el contenido de SST, siendo estadísticamente distinto al obtenido en la muestra inicial (0 día), únicamente luego de 12 días de CR (Tabla 2). El aumento de los SST a lo largo del almacenamiento y/o en vida mostrador se debe a cambios metabólicos, como la degradación de compuestos complejos, como el almidón, a más simples y/o la pérdida de agua [35]. En hojas de rúcula algunos autores cuantificaron un contenido de almidón de 12,92% y de sacarosa 20,19% [36]. Sin embargo, la reducción rápida de la

temperatura de las hojas en el momento inmediato a la cosecha y en el almacenamiento reduce el metabolismo en los tejidos de las hojas [8, 15, 16, 20], por lo cual durante la CR (3,8 °C) el contenido de STT fue similar. El contenido de SST en rúcula obtenido por otros autores estuvo en el rango de 3,3 a 8,2 °Brix [37, 38, 39, 40]. Además, estos autores no encontraron diferencias en SST a los 14 días de conservación a diferentes temperaturas (0, 5 y 10 °C), ni por efecto del estado de madurez de las hojas posterior a 10 días de conservación a 10 °C.

Tabla 2 - Contenido de sólidos solubles totales (STT) y, para cada gramo de peso fresco, contenido de fenólicos totales (FT) y capacidad antioxidante total (CAT) por los métodos ABTS, DPPH, y FRAP, durante la vida mostrador.

Tiempo (días)	SST °Brix	FT mg AGE	ABTS mg AAE	DPPH mg AAE	FRAP mg AAE
0+3	3,50 ± 0,09 b	1,60 ± 0,15 a	0,55 ± 0,15 c	0,53 ± 0,04 b	0,37 ± 0,05 a
3+3	3,68 ± 0,23 b	1,28 ± 0,14 a	0,87 ± 0,15 bc	0,79 ± 0,13 ab	0,34 ± 0,04 a
6+3	4,14 ± 0,23 ab	1,62 ± 0,27 a	1,03 ± 0,15 bc	0,76 ± 0,05 ab	0,39 ± 0,02 a
9+3	4,21 ± 0,14 ab	1,63 ± 0,05 a	1,03 ± 0,15 bc	0,91 ± 0,05 a	0,38 ± 0,04 a
12+4	5,04 ± 0,27 a	1,79 ± 0,09 a	1,6 ± 0,12 a	0,67 ± 0,06 ab	0,45 ± 0,01 a
16+4	4,60 ± 0,18 ab	1,85 ± 0,05 a	1,4 ± 0,15 ab	0,79 ± 0,05 ab	0,38 ± 0,03 a
Valor p	0,0020	0,1485	<0,0001	0,0398	0,2630

Media ± EE (n = 6). Letras iguales dentro de cada columna indican que no hay diferencias estadísticas (Tukey ≥ 0,05). AGE: ácido gálico equivalente. AAE: ácido ascórbico equivalente.

Contenido de fenólicos totales

El contenido de FT obtenidos en la CR fue de 1,10 a 1,64 mg AGE g⁻¹ de peso fresco. El mayor contenido se presentó a los 6 y 24 días de CR diferenciándose estadísticamente de lo obtenido a los 9 y 12 días de la CR (Tabla 1). Sin embargo, el tiempo de CR no modificó el contenido de FT en los 3 o 4 días de VM, con 1,28 a 1,85 mg AGE g⁻¹ de peso fresco de rúcula (Tabla 2). El contenido de FT en hojas de rúcula publicado por otros autores fue de 1,65 a 6,30 mg AGE g⁻¹ de peso fresco [38, 41]. La madurez de la hoja, el tiempo y la temperatura de almacenamiento modifican el contenido de FT. Hojas totalmente expandidas y maduras bajo temperatura de 10°C durante 10 a 14 días de conservación poscosecha redujeron el contenido de FT (1,58 a 1,15 mg AGE g⁻¹ PF), al igual que al aumentar la temperatura de conservación (0 a 10 °C) [38, 39, 40]. Por el contrario, otros autores constataron aumento del contenido de FT luego de 6 a 10 días de conservación poscosecha [42]. El aumento de los FT puede ser una respuesta del metabolismo secundario de las plantas generando metabolitos de defensa al estrés abiótico o biótico, compuestos antioxidantes que contribuyen a enlentecer la velocidad de envejecimiento de los tejidos vegetales [43].

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante total de las hojas de rúcula presentó diferencias estadísticamente significativas entre los momentos de la CR para los tres métodos analíticos utilizados (ABTS, DPPH y FRAP), Tabla 1. Sin embargo, a los 3 o 4 días de VM luego de la CR, la CAT determinada por el método FRAP fue similar para todos los momentos estudiados (Tabla 2). Por otra parte, en ninguno de los casos se observó un patrón

definido por el efecto del tiempo o la condición de almacenamiento. Durante el período que las hojas de rúcula mantuvieron el aspecto general aceptable en la CR (9 días), la CAT determinada por ABTS (1,58 mg AAE) y por FRAP (0,58 mg AAE) aumentaron respecto a la cosecha (0 día), mientras que por DPPH se redujo (0,45 mg AAE), todos los valores expresados cada gramo de peso fresco. En similar sentido, en VM hasta el momento que se mantuvo visualmente aceptable la rúcula (6+3 días), la CAT medida por el método ABTS (1,03 mg AAE) y DPPH (0,76 mg AAE) y FRAP (0,39 mg AAE) fue similar a la obtenida al inicio del estudio luego de 3 días de VM (0+3 días). Similar CAT han reportado otros autores en rúcula [12, 19, 38]. Por otra parte, los compuestos fenólicos, los carotenoides y la vitamina C y E, son los principales compuestos de la matriz vegetal con capacidad antioxidante [43]. Estos metabolitos son utilizados para reducir el estrés oxidativo preservando las células. La CAT de una matriz dependerá de la cantidad y relación de estos compuestos y en la poscosecha del vegetal aportarían a reducir la velocidad de deterioro del vegetal [44, 45, 46].

Color

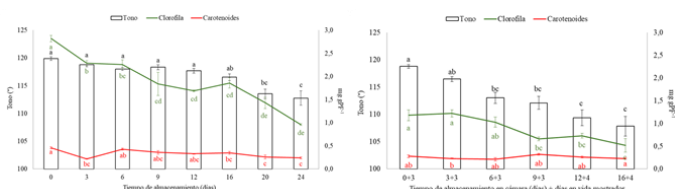
El tiempo de CR y las condiciones durante la VM modificaron el color de las hojas, evolucionando de un color verde, luminoso y poco saturado (0 día) hacia un color amarillo, más luminoso y muy saturado (20 días). El tono de color presentó cambios fácilmente detectados por un observador no experto y se presentan en la Figura 3. El tono del color verde, característico de las hojas plenamente extendidas y maduras de rúcula, en CR se mantuvo hasta el día 16 (118,5 ± 0,4 ° hue), Figura 3 A. Sin embargo, en las condiciones de VM el color verde característico sólo se mantuvo cuando la rúcula permaneció hasta 6 días en CR (116 ± 1,6 ° hue), Figura 3 B. Por su parte, en la CR la luminosidad del color de las hojas de rúcula (L* 42,8 ± 0,6) y la saturación del color (C* 31,5 ± 0,9), se mantuvieron hasta los 16 y 20 días de almacenamiento, respectivamente. Posteriormente el color fue más luminoso (L* 51,0 ± 1,2) y saturado (C* 38,5 ± 1,1). En VM la luminosidad y saturación del color de las hojas se mantuvieron hasta los 6 días en frío, con valores de L* 44,5 ± 1,4 y C* 31 ± 2,05. Por el contrario, 3 o 4 días luego de 6 días de CR la rúcula incrementó la luminosidad (L* 53,0 ± 0,7) y la saturación del color (C* 40,5 ± 0,6), (datos no presentados). Los cambios en el color de las hojas en CR y en VM fueron similares a los observados por otros autores [8, 15, 19, 20, 21, 22, 38, 39, 40, 41], relacionados a la degradación de la clorofila como consecuencia del tiempo y la temperatura de almacenamiento, en concordancia con lo registrado en el aspecto general de las muestras (Figura 2), y con los resultados obtenidos en contenido de clorofila que se describen a continuación (Figura 3 A y B).

Contenido de clorofila total

El contenido de clorofila en la cosecha (0d) fue de 2,82 mg g⁻¹ PF (Figura 4 A), superior a lo encontrado en hojas de rúcula lavadas y cortadas por otros autores, donde el valor inicial fue 0,98 mg g⁻¹ PF [47]. Durante la CR se redujo a la mitad el contenido de clorofila a partir del sexto día y hasta el fin del almacenamiento (1,43 mg g⁻¹ PF). En VM la pérdida en el contenido de clorofila fue de 0,57 veces a partir de los 9 días en CR, con respecto al primer momento almacenado (Figura 4 B). El menor contenido de clorofila durante el almacenamiento se debe al inicio de la senescencia foliar, que provoca la degradación de los cloroplastos [48, 49, 50]. La evolución del tono del color (de verde a amarillo) presentó la

misma tendencia que el contenido de clorofila, siendo concordante con lo observado en la evaluación visual del color en la cual predominó el color amarillo-verde al final del almacenamiento (datos no presentados) [29, 31, 38, 39, 49].

En CR las hojas de rúcula presentaron un mayor contenido de clorofila con respecto a las almacenadas en VM, en todos los puntos de muestreo. La menor pérdida de clorofila puede estar dada por un retraso en el envejecimiento celular en CR [38, 51]. Otros estudios realizados con rúcula mostraron que cuando es almacenada a 0 o 5 °C durante 10 días el contenido de clorofila es 1,2 y 4 veces mayor que bajo la condición de conservación a 10 °C [38].



Media \pm EE (n = 3). Letras iguales dentro de cada columna indican que no hay diferencias estadísticas (Tukey \geq 0,05).

Figura 4 - Contenido de clorofila total (mg g PF⁻¹) y carotenoides totales (mg g PF⁻¹) y tono del color (L^{*}hue) de las hojas de rúcula durante la conservación refrigerada (A) y luego de la vida en mostrador (B).

Contenido de carotenoides totales

El contenido inicial de carotenoides de las hojas de rúcula fue de 0,46 mg g⁻¹ PF (Figura 4 A). Otros autores encontraron un contenido en cosecha de 0,24 mg g⁻¹ PF [47]. Se ha reportado que la rúcula es una importante fuente de carotenoides, con un contenido de β -caroteno de 0,35 mg g⁻¹ PF y luteína de 0,053 mg g⁻¹ PF [52, 53]. En CR los carotenoides se mantuvieron hasta los 9 días, donde se determinó la pérdida de calidad por el aspecto general de las hojas, y disminuyó un 50% (0,46 - 0,24 mg g⁻¹ PF) al final de este estudio. Si bien los carotenoides se encuentran en los tejidos fotosintéticos, estos presentan un comportamiento más estable que las clorofilas [54, 55]. Durante la VM, los carotenoides en las hojas de rúcula fueron similares en todos los momentos estudiados, indicando que hubo un mínimo efecto del tiempo de conservación refrigerada sobre el contenido de carotenoides totales (Figura 4 B).

CONCLUSIONES

Las hojas de rúcula mantuvieron su aspecto visual de calidad comercial hasta los nueve días almacenadas en las condiciones de cámara de frío. Sin embargo, para mantener la calidad durante tres días en vida mostrador las hojas de rúcula deben ser almacenadas en cámara como máximo hasta seis días. Estos resultados permiten reafirmar que aplicando un manejo refrigerado adecuado sería posible aumentar 2,25 veces el tiempo de conservación de la calidad de la rúcula respecto a lo observado en los actuales sistemas de producción, con mínima reducción de compuestos bioactivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de la Tesis de grado: González Framil, A y Pancini Fontes, B. Conservación poscosecha de hojas de rúcula y mizuna proveniente de un cultivo de producción orgánica [en línea] Tesis de grado. Montevideo: Udelar. FA, 2021. Disponible

en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/39914/1/Gonz%C3%A1lezAna.pdf>

REFERENCIAS

- [1] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). "Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura" [online]. Italia, Roma, 2018 Disponible en: <https://www.fao.org/3/i9900es/i9900es.pdf> Visitado en septiembre de 2023.
- [2] C.S. Johnston, C.A. Taylor, J.S. Hampl, "More Americans are eating 5 a day but intakes of dark green and cruciferous vegetables remain low", *J. Nutr.*, 130, 2000, 3063-3067. <https://doi.org/10.1093/jn/130.12.3063>
- [3] S. Massaglia, V.M. Merlino, D. Borra, A. Bargetto, F. Sottile, & C. Peano, "Consumer attitudes and preference exploration towards fresh-cut salads using best-worst scaling and latent class analysis", *Foods*, 8 (11), 2019, 568 - 583. <https://doi.org/10.3390/foods8110568>
- [4] C. Spence, "Gastrophysics: Nudging consumers toward eating more leafy (salad) greens", *Food. Qual. Prefer.*, 80, 2020, 103800. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103800>
- [5] MGAP - UAM. (2019). Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Unidad Agroalimentaria Metropolitana. Anuario Estadístico Mercado Modelo. Anuario Estadístico 2019. Observatorio Granjero. Disponible en: https://www.uam.com.uy/images/DESARROLLO_COMERCIAL/InformeAnual/Anuario_Statad%C3%ADstico_Mercado_Modelo_2019.pdf
- [6] MGAP - UAM. (2022). Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Unidad Agroalimentaria Metropolitana. Anuario Estadístico UAM 2022. Observatorio Granjero. Disponible en: https://www.uam.com.uy/images/DESARROLLO_COMERCIAL/InformeAnual/Anuario_UAM-2022.pdf
- [7] M.R. Morales, J. Janick, A. Whipkey, "Arugula: A Promising Specialty Leaf Vegetable", *AJB*, 10, 2002, 14080-14082.
- [8] A.S. Siomos, A. Koukounaras, "Quality and postharvest physiology of rocket leaves" *Fresh Prod.*, 1(1), 2007, 59-65. <http://ikee.lib.auth.gr/record/257767/files/quality.pdf>
- [9] J.I. Szwejdja-Grzybowska, A. Wrzodak, M. Grzegorzewska, M. Gajewski, R. Kosson, "Influence of tap and hot water treatment before short-term storage on biologically active compounds and sensory quality of wild rocket leaves (*Diplotaxis tenuifolia* l.)", *J. Hortic. Res.*, 27(2), 2019, 113-120. <https://doi.org/10.2478/johr-2019-0011>
- [10] I.T. Johnson, "Glucosinolates: bioavailability and importance to health", *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 72(1), 2002, 26-31. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.72.1.26>
- [11] S. Manchali, K.N. Chidambara Murthy, B. S. Patil, "Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables" *JFF*, 4, 2012, 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.004>
- [12] L. Bell, C. Wagstaff, "Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species", *Food Chem.: X*, 30(1), 2019, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2018.100002>
- [13] G.A. Malfa, F. Pappalardo, N. Miceli, M.F. Taviano, S. Ronisvalle, B. Tomasello, S. Bianchi, F. Davì, V. Spadaro, R. Acquaviva, "Chemical, Antioxidant and Biological Studies of *Brassica incana* subsp. *raimondoi* (Brassicaceae) Leaf Extract", *Mol.*, 28(3), 2023, 1254. <https://doi.org/10.3390/molecules28031254>

- [14] N.T. Barlas, M.E. Irget, M. Tepecik, "Mineral content of the rocket plant (*Eruca sativa*)", *AJB*, 10(64), **2011**, 14080-14082. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2171>
- [15] M. Cantwell, J. Rovelo, X. Nie, V. Rubatzky, "Specialty salad greens: Postharvest physiology and shelf-life", *Acta Hort.*, 467(467), **1988**, 371-378. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.467.42>
- [16] P. Kamaranga, J.L. Mallon, K. Stanley, "Respiratory rate and vital heat of some specialty vegetables at various storage temperatures", *HortTechnology*, 7, **1997**, 46-49.
- [17] M.K.D. Hall, J.J. Jobling, G.S. Rogers, "Influence of storage temperature on the seasonal shelf life of perennial wall rocket and annual garden rocket", *Int. J. Veg. Sci.*, 19, **2013**, 83-95.
- [18] L.C. Inestroza, V.H. Escalona, "Sanitizantes emergentes: una alternativa en la postcosecha de la rúcula", *Agrocienc. Urug.*, 19 (1), **2015**, 14-123.
- [19] D.R. Gutiérrez, A.R. Chaves, S.C. Rodríguez, "UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.)", *Post. Bio. Tech.*, 138(1), **2018**, 107-113. <https://doi.org/10.3390/antiox8090356>
- [20] M.I. Cantwell, M.S. Reid, "Postharvest Physiology and Handling of Fresh Culinary Herbs", *J. Herbs Spices Med. Plants*, 1(3), **1993**, 93-127. https://doi.org/10.1300/J044v01n03_09
- [21] A. Martínez-Sánchez, M.C. Luna, M.V. Selma, J.A. Tudela, J. Abad, M.I. Gil, "Baby-leaf and multi-leaf of green and red lettuces are suitable raw materials for the fresh-cut industry", *Postharvest Biol. Technol.*, 63, **2012**, 1-10.
- [22] C.M. Grahn, C. Benedict, T. Thornton, C. Miles, "Production of baby-leaf salad greens in the spring and fall seasons of northwest Washington", *HortScience*, 50(10), **2015**, 1467-1471. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.10.1467>
- [23] A.L. Waterhouse, "Determination of total phenolics", *Curr. Protoc. Food Anal. Chem.*, 6, 2002, p. irr. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fai0101s06>
- [24] M.B. Arnao, A. Cano, M. Acosta, "The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity", *Food Chem.*, 73, **2001**, 239-244. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00324-1)
- [25] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, C. Berset, "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity", *LWT-Food Sci. Technol.*, 28(1), **1995**, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- [26] I. F.F. Benzie, J.J. Strain, "The ferric reducing ability of plasma FRAP as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay", *Anal. Biochem.*, 239, **1996**, 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- [27] R.G. McGuire, "Reporting of objective color measurements", *HortScience*, 27(12), **1992**, 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- [28] H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn, "Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents", *Biochem. Soc. Trans.*, 11(5), **1983**, 591-592. <http://dx.doi.org/10.1042/bst0110591>
- [29] A.C. Torales, D.R. Gutiérrez, S.D.C. Rodríguez, "Influence of passive and active modified atmosphere packaging on yellowing and chlorophyll degrading enzymes activity in fresh-cut rocket leaves", *Food Packag. Shelf Life*, 26, **2020**, 100569.
- [30] J.A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo, InfoStat versión **2016**. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>. Visitado en setiembre de 2023
- [31] D.R. Gutiérrez, C. Char, E. V. Escalona, A. R. Chaves, S. del C. Rodriguez. "Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.)". *J. Food Process. and Preserv.*, **2015**, 39:3117-3127.
- [32] S. Ben-Yehoshua, V. Rodov, "Transpiration and Water Stress," en *Postharvest physiology and pathology of vegetables*, J.A. Bartz, J.K. Brecht, Ed Boca Ratón: CRC Press, **2002**, 111-159.
- [33] J.L. Woods, "Moisture loss from fruits and vegetables", *Postharvest news info* 1, **1990**, 195-199.
- [34] M. Andrade Oliveira, "Qualidade física, química e físico-química de rúcula orgânica em função do período de colheita e armazenamento", Tesis Maestría en Agronomía: Fitotecnia, Universidad Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, **2015**.
- [35] J.C. Tafolla-Arellano, A. González-León, M.E. Tiznado-Hernández, L. Zacarías García, R. Báez-Sañudo. "Composition, physiology and biosynthesis of plant cuticle". *Rev. Fitotec. Mex*, 36, **2013**, 3 - 12.
- [36] V. Settaluri, K. Al-Mamari, S. Al-Balushi, M. Al-Risi, M. Ali, "Review of Biochemical and Nutritional Constituents in Different Green Leafy Vegetables in Oman", *Food Sci. Nutr.*, 6, **2015**, 765-769. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.69079>
- [37] J.M. Monteiro Sigrist, "Estudos Fisiológicos e Tecnológicos de Couve-flor e Rúcula Minimamente Processadas", Tesis Dr. en Agronomía, Universidad de Sao Paulo. Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, Brasil, **2002**.
- [38] A. Koukounaras, A.S. Siomos, E. Sfakiotakis, "Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature", *Postharvest Biol. Technol.*, 46, **2007**, 167-173.
- [39] A. Koukounaras, A. Siomos, E. Sfakiotakis. "Impact of heat treatment on ethylene production and yellowing of modified atmosphere packaged rocket leaves". *Postharvest Biol. Technol.*, **2009**, 54, 172-176.
- [40] P. Nogueira Matos, A. G. Silva de Araújo, G. Almeida Couto, A. Caetano Soares, M. de Carvalho Furtado, Y. B. Soares Menezes, M. A. Gutierrez Carneossi. "Quality of minimally processed rocket packaged in high density polyethylene and poly nylon packaging", *Res. Soc. Dev.*, **2021** 10 (13)e401101321501.
- [41] C. Char, A.C. Silveira, C. Inestroza-Lizardo, A. Hinojosa, A. Machuca, V. H. Escalona. "Effect of noble gas-enriched atmospheres on the overall quality of ready-to-eat arugula salads", *Postharvest Biol. Technol.*, **2012**, 73, 50-55.
- [42] A. Tomás-Callejas, M. Boluda, P. Robles, F. Artés, F. Artés-Hernández. "Innovative active modified atmosphere packaging improves overall quality of fresh-cut red chard baby leaves", *LWT-Food Sci. Technol.*, **2011**, 44, 1422-1428.
- [43] A. Sumit Kumar, T. Korra, R. Thakur, R. Arutselvan, A. Shankar Kashyap, Y. Nehela, V. Chaplygin, T. Minkina, Ch. Keswani, "Role of plant secondary metabolites in defense and transcriptional regulation in response to biotic stress", *Plant Stress*, **2023**, 8, 100154.
- [44] A. Arias, G. Feijoo, M.T. Moreira. "Exploring the potential of antioxidants from fruits and vegetables and strategies for their recovery", *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, **2022**, 77, 02974.

- [45] G. Agati, E. Azzarello, S. Pollastri, M. Tattini. "Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance", *Plant. Science*, **2012**, 196, 67-76.
- [46] K. Meitha, Y. Pramesti, S. Suhandono. "Reactive Oxygen Species and Antioxidants in Postharvest Vegetables and Fruits". *Int J Food Sci.*, **2020**, 8817778, 11p.
- [47] D.R. Guitierrez, L. Lemos, L., S. Rodríguez, "Efecto combinado UV-C y envasado con atmósfera modificada pasiva en la conservación de rúcula (*Eruca sativa*) cortada IV Gama", *Rev. Iberoam. Post* **18**, **2017**, 145-152.
- [48] J. Guiamet, "La senescencia foliar: incógnitas del desmantelamiento celular" [on line]. Disponible en <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Senescencia%20foliar.pdf>. Consultado 19 de septiembre 2023.
- [49] M. de la L. Romero Tejeda, M. T. Martínez Damián, J.E. Rodríguez Pérez, M.T. Colinas León, J. Martínez, "Cambios en la calidad poscosecha de salvia (*Salvia officinalis*) almacenada bajo condiciones de frigoconservación", *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* **47**, **2015**, 53-69.
- [50] E. M. Gonçalves, R.M.S. Cruz, M. Abreu, T.R.S. Brandão, C.L.M Silva, "Biochemical and colours changes of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) during freezing and frozen storage", *J. Food Eng.* **93**, **2009**, 32-39.
- [51] A.A. Kader, "Postharvest biology and technology: An overview" En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer, J.F. Thompson, J.F. Ed: Cooperative Extension University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California, **1985**, 39-47. Disponible en: https://irrec.ifas.ufl.edu/postharvest/HOS_5330/Ch4-2002-Postharvest%20Technology%20of%20Horticultural%20Crops%20-%20Kader.pdf Consultado: 19 de septiembre 2023
- [52] E.M. Marcondes Tassi, R.M. Teixeira Duarte, J. Amaya-Farfán, "Partial nutrient characterization of arugula (rocket - *Eruca sativa* L.) and the effect of heat treatment on its lipoxidase activity", *Braz. J. Food Technol.* **21**, 2018. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.02417>
- [53] D.B. Rodríguez-Amaya, "Carotenoids and Food Preparation: The retention on Provitamin A Carotenoids in prepared, Processed and Stored Foods" [on line], Departamento de Ciencias de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, **1997**, 93p. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180516041835id_/https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacb907.pdf
- [54] A.J. Meléndez-Martínez, I.M. Vicario, F.J. Heredia, "Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos", *Arch Latinoam Nutr* **54**, **2004**, 209-215.
- [55] G.A.F. Hendry, J. D. Houghton, B. Stanley, "The Degradation of Chlorophyll-A Biological Enigma", *New Phytol.* **107**, **1987**, 255-302. <https://www.jstor.org/stable/2433054>