

## Alternativas para extender la vida útil de la carne bovina: efecto combinado de la luz UV-C y el aceite esencial de *Rosmarinus officinalis* L. sobre el color superficial

Alternatives to extend beef shelf life: combined effect of UV-C light and *Rosmarinus officinalis* L. essential oil on superficial colour

Alternativas para prolongar a vida útil da carne bovina: efeito combinado da luz UV-C e do óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* L. na cor da superfície

Fernández Blanco M<sup>1</sup>, Olivera DF<sup>1,2</sup>, Coll Cárdenas FJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Veterinarias, Cátedra de Biofísica. Calle 60 y 118 s/n. La Plata (1900). Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA). CONICET- UNLP-CIC. Calle 47 y 116. La Plata (1900). Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: [mblanco@fcv.unlp.edu.ar](mailto:mblanco@fcv.unlp.edu.ar)

DOI: <https://doi.org/10.19137/cienvet202426102>

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 2023

Fecha de aceptado para su publicación: 22 de noviembre de 2023

### Resumen

En los últimos años se ha explorado el uso de estrategias alternativas para reducir la carga microbiana cárnica, entre ellas la aplicación de radiación UV-C y de aceites esenciales, buscando no afectar su calidad sensorial. En este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de aceite esencial de romero (AER) (5 %) y luz UV-C (dosis: 0,56 J/cm<sup>2</sup>) individualmente y combinada sobre la estabilidad del color de carne bovina (músculo Longissimus dorsi). Se trabajó con cuatro grupos de muestras: tratadas con luz UV-C (I), con solución AER/ácido láctico (R), con ambos tratamientos (I+R) y sin tratamiento (C). Las muestras se almacenaron a 0, 4 y 8 °C durante 20, 14 y 8 días, respectivamente. Para monitorear los cambios de color superficial se obtuvieron los parámetros luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*) y amarilleo (b\*) mediante un sistema de visión computacional y se calculó el cambio total de color ( $\Delta E$ ). L\* no mostró cambios significativos ( $p > 0,05$ ) en ninguna de las situaciones estudiadas, siendo la coordenada a\* la que mejor representó los cambios observados. La mayor disminución de este parámetro se evidenció en las muestras (C) e (I), mientras que la aplicación de AER permitió mantener el valor de a\* sin variaciones importantes. Con respecto a  $\Delta E$ , presentó una tendencia similar a a\*, mostrando la capacidad de retrasar la oxidación de la solución AER/ácido láctico. En conclusión, la aplicación de luz UV-C en conjunto con la solución de AER/ácido



lático retardaría el deterioro del color superficial de carne fresca durante el almacenamiento refrigerado.

**Palabras clave:** Enrojecimiento, Almacenamiento refrigerado, Antioxidantes naturales, Radiación ultravioleta de onda corta, Aceites esenciales.

### *Abstract*

In recent years, the use of alternative strategies to reduce the meat microbial load has been explored, among them the application of UV-C radiation and essential oils, seeking not to affect its sensory quality. In this study, the effect of the application of rosemary essential oil (REO) (5 %) and UV-C light (dose: 0,56 J/cm<sup>2</sup>) individually and combined on the colour stability of beef (Longissimus dorsi muscle) was studied. Four groups of samples were used: treated with UV-C light (I), with REO/lactic acid solution (R), with both treatments (I+R) and without treatment (C). Samples were stored at 0, 4 and 8 °C for 20, 14 and 8 days, respectively. To monitor surface colour changes, the parameters lightness (L\*), redness (a\*) and yellowness (b\*) were obtained using a computer vision system and the total colour change ( $\Delta E$ ) was calculated. L\* did not show significant changes ( $p > 0,05$ ) in any of the situations studied, with the a\* coordinate being the one that best represented the observed changes. The greatest decrease in this parameter was observed in samples (C) and (I), while the application of REO allowed the a\* value to be maintained without significant variations. Regarding  $\Delta E$ , it presented a similar trend to a\*, showing the capacity to delay the oxidation of the REO/lactic acid solution. In conclusion, the application of UV-C light together with the REO/lactic acid solution would delay the deterioration of the surface colour of fresh meat during refrigerated storage.

**Keywords:** Redness, Discoloration, Refrigerated storage, Natural antioxidants, Shortwave ultraviolet irradiation, Essential oils.

### *Resumo*

Nos últimos anos tem sido explorada a utilização de estratégias alternativas para reduzir a carga microbiana da carne, incluindo a aplicação de radiação UV-C e óleos essenciais, buscando não afetar a sua qualidade sensorial. Neste trabalho foi estudado o efeito da aplicação de óleo essencial de alecrim (AER) (5 %) e luz UV-C (dose: 0,56 J/cm<sup>2</sup>) individualmente e combinados na estabilidade da cor da carne bovina (músculo Longissimus dorsi). Trabalhamos com quatro grupos de amostras: tratadas com luz UV-C (I), com AER/solução de ácido láctico (R), com ambos os tratamentos (I+R) e sem tratamento (C). As amostras foram armazenadas a 0, 4 e 8 °C por 20, 14 e 8 dias, respectivamente. Para monitorar as alterações de cor da superfície, os parâmetros luminosidade (L\*), vermelho (a\*) e amarelo (b\*) foram obtidos por meio de um sistema de visão computacional e a alteração total de cor ( $\Delta E$ ) foi calculada. L\* não apresentou alterações significativas ( $p > 0,05$ ) em nenhuma das situações estudadas, sendo a coordenada a\* a que melhor representou as alterações observadas. A maior diminuição deste parâmetro foi evidente nas

amostras (C) e (I), enquanto a aplicação do AER permitiu que o valor de  $a^*$  fosse mantido sem variações significativas. Com relação ao  $\Delta E$ , apresentou tendência semelhante ao  $a^*$ , mostrando a capacidade de retardar a oxidação da solução AER/ácido láctico. Concluindo, a aplicação de luz UV-C em conjunto com a solução AER/ácido láctico retardaria a deterioração da cor da superfície da carne fresca durante o armazenamento refrigerado.

**Palavras-chave:** Vermelhidão, Armazenamento refrigerado, Antioxidantes naturais, Radiação ultravioleta de ondas curtas, Óleos essenciais.

## *Introducción*

La carne bovina es un producto de gran importancia económica, muy arraigado en los hábitos alimentarios de los habitantes de Argentina <sup>(1)</sup>. Por su conformación natural, pH, contenido proteico y actividad de agua, es un alimento altamente perecedero, susceptible a reacciones de oxidación y al ataque de diferentes microorganismos patógenos y alteradores que provocan su deterioro en períodos de tiempo relativamente cortos. Por lo tanto, la industria cárnica necesita diseñar tecnologías de proceso innovadoras para extender la vida útil de la carne sin alterar las características fisicoquímicas, sensoriales y el valor nutricional <sup>(2)</sup>.

Dentro de los atributos de calidad de la carne bovina, el color superficial es preponderante, ya que su apariencia es un factor determinante a la hora de adquirirla, de lo contrario, el consumidor puede rechazar el producto cuando no es de color rojo brillante, el cual es asociado a la carne fresca, acarreando grandes pérdidas económicas a la industria <sup>(3,4)</sup>. Este atributo es principalmente el resultado de la concentración de mioglobina (Mb) y de su estado químico. En ausencia de oxígeno, el pigmento se encuentra en forma de desoximioglobina (DMb) o mioglobina reducida, que tiene color rojo púrpura; cuando se expone al aire, el pigmento se oxigena para formar oximioglobina (O2Mb). Esta forma química, imparte un color rojo brillante al músculo, lo que hace que los consumidores lo encuentren atractivo, ya que lo asocian con la frescura. Tanto la DMb como la O2Mb también reaccionan con el oxígeno, dando lugar a la forma oxidada, la metamioglobina (MMb), que tiene un color marrón opaco que los consumidores asocian con la pérdida de calidad <sup>(5)</sup>.

En los últimos años se ha explorado el uso de tecnologías y estrategias alternativas para reducir la carga microbiana de la carne, sin afectar su calidad sensorial. La radiación ultravioleta de onda corta UV-C (longitud de onda 200-280 nm con 90 % de emisión a 253,70 nm) ha sido aprobada por la FDA para el control de microorganismos en la superficie de diferentes alimentos <sup>(6)</sup>, y su eficacia sobre la población microbiana en la superficie de la carne bovina ha sido ampliamente probada por diferentes autores <sup>(7,8,9,10,11,12)</sup>. A pesar de esto, en nuestro país, no está contemplada su aplicación en alimentos en la legislación vigente, solo se menciona en el Código Alimentario Argentino brevemente el uso de UV en aguas

(Capítulo XII) donde se indica que puede utilizarse como tratamiento para conservar o mejorar sus características físicas, químicas, microbiológicas o sensoriales, sin especificar límites de tratamiento o regulación alguna. Sobre radiaciones ionizantes, sin embargo, se detallan sus usos y condiciones en el Capítulo III, Art. 174.

En cuanto a sus efectos sobre los atributos de calidad, se sabe que la radiación con luz UV-C genera radicales libres mediante una gran variedad de reacciones fotoquímicas orgánicas, entre los cuales destacan los cambios de color provocados por reacciones de oxidación <sup>(13)</sup>. Hasta el momento, se han reportado pocos estudios sobre el efecto de la luz UV-C en el color superficial de la carne. A este respecto, Bertelsen y Skibsted <sup>(14)</sup>, determinaron que induce la fotooxidación de O2Mb en extracto de carne bovina del músculo semitendinoso. Sin embargo, existen otros estudios, como el caso de Stermer et al. <sup>(7)</sup>, donde una dosis de 0,50 Ws/cm<sup>2</sup> de luz UV-C aplicada a la carne fresca no afectó significativamente su color superficial en cuanto al enrojecimiento (a\*) y apariencia general. Además, Chun et al. <sup>(15)</sup> no encontraron cambios significativos en los valores de luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*) y amarilleo (b\*) de la carne de pollo usando dosis similares.

Por otro lado, los aceites esenciales se consideran alternativas naturales a los conservantes químicos y su uso en los alimentos satisface la demanda de los consumidores de productos seguros y naturales. El romero (*Rosmarinus officinalis* L.) es una hierba aromática que pertenece a la familia Lamiaceae. Varios estudios han demostrado que el aceite esencial de romero (AER) tiene poderosas propiedades antioxidantes y antibacterianas <sup>(16,17,18)</sup>. Sin embargo, la aplicación práctica en los alimentos es limitada debido al fuerte sabor que imparten y a su interacción con algunos ingredientes alimentarios <sup>(19)</sup>. Por estas razones, el efecto conservante de los aceites esenciales se puede lograr utilizando concentraciones más bajas de dichos productos en combinación con otras tecnologías de conservación, como la baja temperatura, o en mezcla con ácidos orgánicos, por ejemplo, ácido láctico <sup>(11)</sup>. Además, debemos mencionar que, a diferencia de la radiación UV, el Instituto IRAM, a través del Subcomité de Aceites Esenciales, y el Código Alimentario Argentino (Cap. XVI, Art. 1298) incluyen a los aceites esenciales dentro de los aditivos aromatizantes – saborizantes autorizados a aplicar en alimentos.

En estudios previos se ha comprobado que la aplicación conjunta de bajas dosis de radiación UV-C y solución de aceites esenciales y ácido láctico sobre carne fresca tiene un efecto aditivo en cuanto a la reducción de flora contaminante <sup>(11,12)</sup>. Considerando lo anteriormente descrito, el objetivo del presente estudio fue investigar el efecto combinado de estas tecnologías sobre el color superficial de la carne durante el almacenamiento refrigerado.

## *Materiales y Métodos*

### *Preparación de las muestras*

Las muestras de carne bovina (músculo Longissimus dorsi) fueron adquiridas en un comercio local (48 h post mortem, almacenadas a 4 °C, pH = 5,70). Se cortaron asépticamente para obtener submuestras circulares de 5 cm de diámetro y 0,50 cm de espesor, y luego se colocaron en placas Petri estériles (n = 48). Las muestras se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. El primer grupo (n = 12) estuvo formado por las muestras tratadas con luz UV-C (I); el segundo grupo (n = 12), por las tratadas con la solución AER/ácido láctico (R); el tercer grupo (n = 12), tratadas con luz UV-C y con solución AER/ácido láctico (I+R); y el cuarto grupo (n = 12), por muestras sin tratamiento o control (C).

#### *Tratamiento con luz UV-C*

La irradiación de las muestras se realizó con un equipo diseñado para tal fin, compuesto por dos tubos de luz UV-C de 45 cm de longitud y 15 W de potencia cada uno (Philips). Las muestras de carne a irradiar (n = 24) se colocaron a 15 cm de la fuente de luz y se expusieron a una dosis de radiación de 0,56 J/cm<sup>2</sup> de luz UV-C (11). Dicha dosis se determinó utilizando un radiómetro digital Cole Parmer UVP (Cole-Parmer, EE. UU.). Una vez concluido el tratamiento, se tomaron 12 muestras y se acondicionaron para el almacenamiento refrigerado (I) y las 12 restantes fueron rociadas con la solución de AER/ácido láctico (I+R).

#### *Tratamiento con aceite esencial de romero*

La solución utilizada en este trabajo, AER 5 %, fue preparada con AER (*Rosmarinus officinalis* L.), el cual se obtuvo por hidrodestilación a partir de hojas de esta planta recolectadas en etapa de floración, y propilenglicol como diluyente (relación 1/10, según CIM previamente determinada). Debido a que los aceites esenciales podrían afectar la aceptabilidad sensorial de la carne, para reducir la concentración de la solución de AER se utilizó una mezcla de solución de AER y ácido láctico (1:1) (11,12).

Las muestras (R) e (I+R), estas últimas luego del tratamiento con UV-C, se rociaron con 1 ml de la solución AER/ácido láctico mencionada anteriormente.

#### *Almacenamiento refrigerado*

Todas las muestras se envasaron individualmente en películas de polietileno de 50 µm de espesor con baja penetración al oxígeno (permeabilidad al vapor de agua = 12 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> atm<sup>-1</sup> a 30 °C, humedad relativa = 78 %, tasa de transmisión de oxígeno = 5000 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> atm<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> a 23 °C) y se almacenaron en cámaras frigoríficas de temperatura controlada a 0 °C (n = 16), 4 °C (n = 16) y 8 °C (n = 16) durante 20, 14 y 8 días, respectivamente.

#### *Determinación del color superficial*

El color de la superficie de las muestras cárnicas se cuantificó utilizando un sistema de visión computacional (SVC) <sup>(17)</sup>, que consta de un gabinete de adquisición de imágenes, un sistema de iluminación, una cámara digital en su modo manual (Samsung ST600, Japón) y un software para procesar las imágenes <sup>(21)</sup>. Las muestras

se colocaron en el centro del piso del gabinete, junto con un patrón de color X-Rite Color Checker (X-Rite Inc., EE. UU.), que permite calibrar el SVC mediante un modelo empírico de conversión entre las unidades de color RGB y los espacios de color CIE L\*a\* b\* (luminosidad, L\*; enrojecimiento, a\*; amarilleo, b\*). Para cada tratamiento, tiempo de almacenamiento y temperatura, se obtuvieron imágenes de 2048 x 1536 píxeles y se procesaron mediante herramientas informáticas <sup>(21)</sup>, teniendo así los parámetros de color.

Además, para monitorear los cambios de color de la carne durante el almacenamiento, se calculó el cambio de color total ( $\Delta E$ ). Este parámetro se expresa como: donde L0\*, a0\* y b0\* representaron las lecturas en el tiempo cero, y L\*, a\* y b\* representaron las lecturas individuales después de la condición de almacenamiento definida.

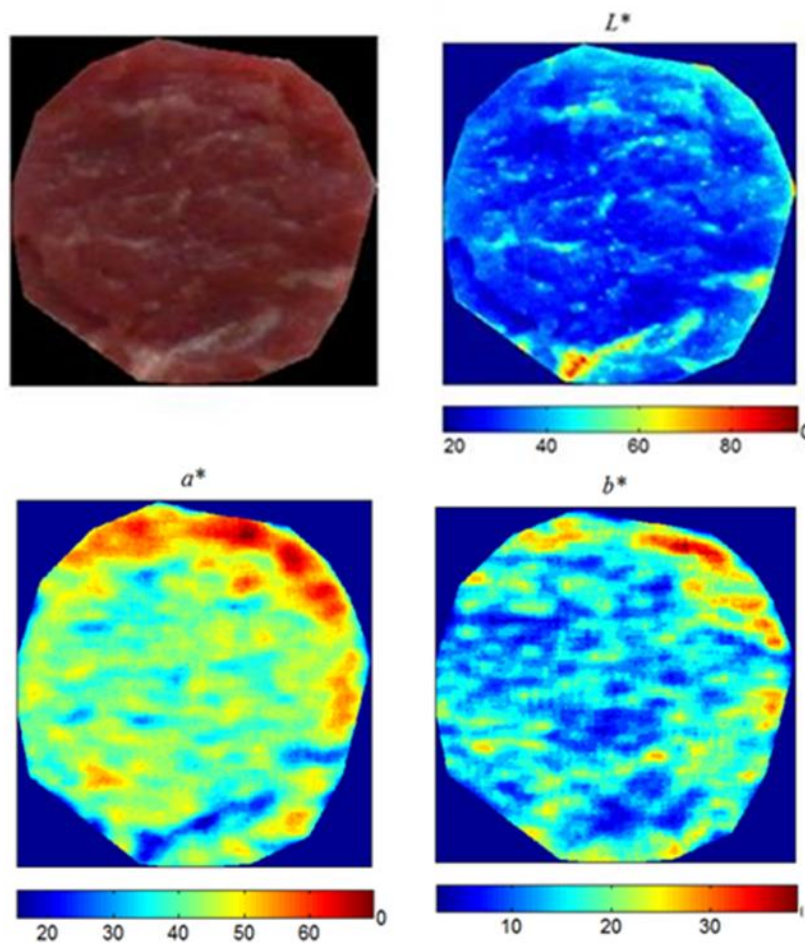
#### *Análisis estadístico*

Los resultados se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Fisher utilizando el software SYSTAT (SYSTAT Inc., 1990, v. 10.0). Los valores de probabilidad (p) inferiores a 0,05 fueron estadísticamente significativos.

### *Resultados y discusión*

En la Figura 1 se presenta, a modo de ejemplo, una imagen digital de la muestra de carne y la distribución de los valores L\*, a\* y b\* obtenidos a partir del SVC. Según éste, para la muestra de carne fresca, la luminosidad fue de  $34,67 \pm 1,53$ , el enrojecimiento de  $35,60 \pm 1,43$  y el amarilleo de  $15,73 \pm 1,40$ . Estos resultados son similares a los informados por Girolami et al. (22) para el mismo músculo, haciendo uso del SVC también, para determinar el color superficial. Esta figura expresa no solo la heterogeneidad de color que puede tener una muestra de carne, sino también la capacidad técnica del SVC para identificar y cuantificar dicha variabilidad en el modelo completo en estudio, a diferencia de los métodos convencionales utilizados para determinar el color instrumental (colorímetros) que registran partes muy limitadas de las muestras, que en muchos casos no son representativas de lo que percibe el consumidor. En este sentido, Goñi y Salvadori <sup>(20)</sup> y Tarlak et al. <sup>(23)</sup> exponen las ventajas de utilizar el SVC en la caracterización del color superficial de diferentes alimentos, obteniendo así una mejor correlación con el color percibido.





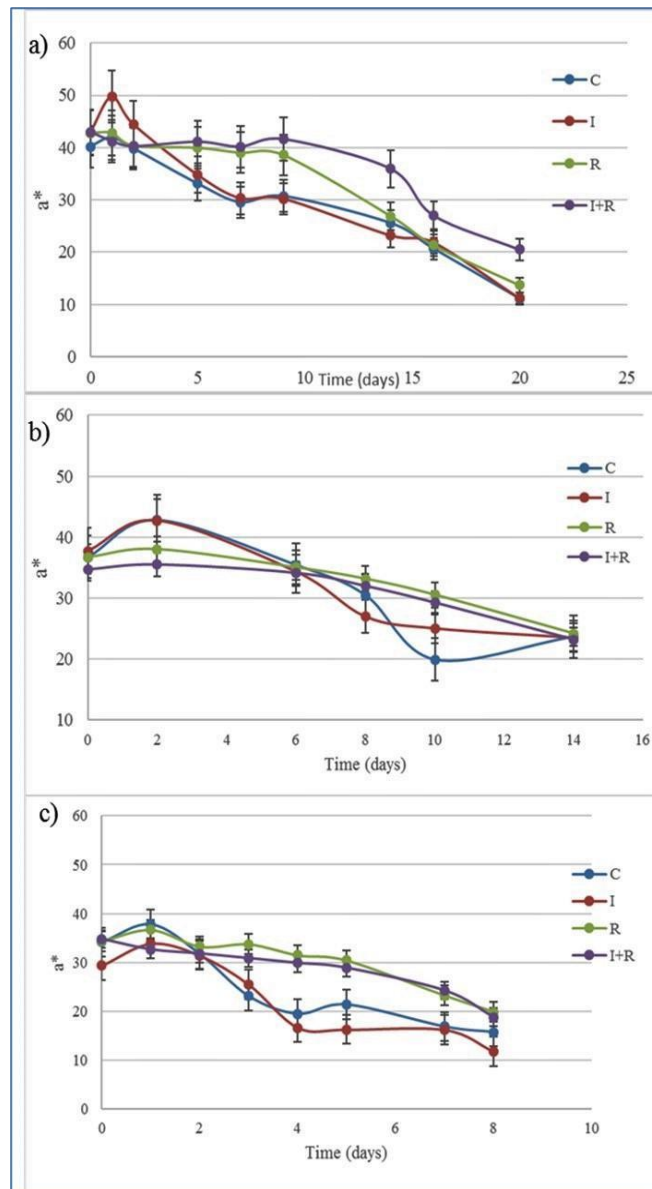
**Figura 1.** Imagen digital de muestra de carne bovina y distribución de valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

### *Evolución del color superficial de la carne durante el almacenamiento*

Las coordenadas de color mostraron un comportamiento desigual en cuanto al almacenamiento refrigerado y los tratamientos aplicados. En primer lugar, la luminosidad ( $L^*$ ) no mostró cambios significativos ( $p > 0,05$ ) en ninguna de las situaciones estudiadas, a excepción de las muestras almacenadas a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en las cuales a partir del día 5 de almacenamiento se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Estos resultados coinciden con lo reportado por diferentes autores (24,25), quienes han informado que esta coordenada se mantiene constante durante la oxigenación y oxidación de la carne en diferentes condiciones de almacenamiento. La luminosidad está relacionada con el contenido total de pigmento del músculo, y ese contenido no estaría afectado por la oxidación (24).

Por el contrario, las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  disminuyeron durante el almacenamiento refrigerado, siendo la variación de  $a^*$  más evidente que la de  $b^*$  en todos los tratamientos de estudio. Varios autores informan que este es el parámetro de color más importante para la carne fresca, siendo la coordenada que se

correlaciona mejor con la aceptación en base a la apariencia por parte de los consumidores <sup>(3,26)</sup>. La evolución del enrojecimiento del alimento durante el almacenamiento se presenta en la Figura 2. La mayor tasa de disminución de  $a^*$  durante el almacenamiento refrigerado se evidenció en las muestras (C) e (I), sin observarse diferencias significativas entre ellas ( $p>0,05$ ), lo que indica que la decoloración superficial es causada por el tiempo de almacenamiento de las muestras y no por el tratamiento con UV-C. Estos resultados concuerdan con Stermer et al. <sup>(7)</sup>, quien afirmó que una dosis de radiación como la utilizada en este trabajo, no cambia significativamente el color o el aspecto general de la carne fresca durante el almacenamiento.

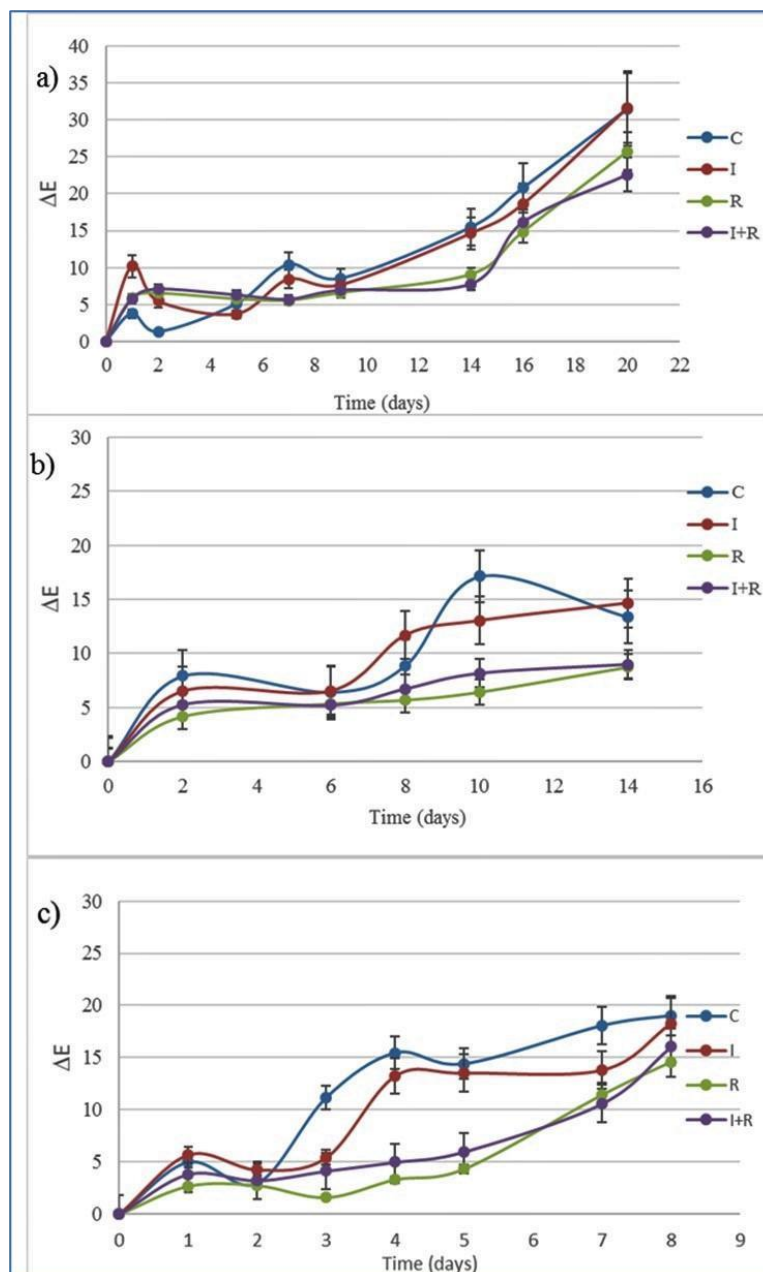




**Figura 2.** Evolución del enrojecimiento ( $a^*$ ) en los diferentes tratamientos de la carne (C: control; I: tratamiento con radiación UV-C; R: tratamiento con AER/ácido láctico; I+R: tratamientos con radiación UV-C y AER/ácido láctico) durante el almacenamiento refrigerado a: a) 0 °C; b) 4 °C; y c) 8 °C. Las barras de error muestran las desviaciones estándar.

Por otro lado, la aplicación de AER/ácido láctico (muestras (R) e (I+R)) permitió mantener el valor de  $a^*$  sin variaciones importantes ( $p > 0,05$ ) hasta los días 10, 8 y 5 de almacenamiento a temperaturas de 0, 4 y 8 °C, respectivamente (Figura 2a, b y c), comprobando así el efecto antioxidante de la solución utilizada y su capacidad para proteger el color de la carne fresca <sup>(27,28)</sup>. En este sentido, Djenane et al. <sup>(27)</sup>, encontraron que rociar la carne bovina con una mezcla de romero y vitamina C reducía las tasas de formación de MMb extendiendo la vida útil. McBride et al. <sup>(28)</sup>, demostraron que el extracto de romero era más eficaz que el BHA/BHT (butil-hidroxi-anisol/butil-hidroxi-tolueno) y la vitamina E en la protección frente a la oxidación y la estabilidad del color de la carne bovina fresca.

Además, fue posible evaluar el cambio de color total a partir del cálculo de  $\Delta E$ , variable que puede ser útil para cuantificar un valor global de cambio de color que el consumidor está dispuesto a aceptar, en lugar de estudiar la evolución de cada coordenada por separado. La Figura 3 muestra esta variable para las diferentes condiciones y tratamientos estudiados.



**Figura 3.** Efecto de diferentes tratamientos (C: control; I: tratamiento con radiación UV-C; R: tratamiento con AER/ácido láctico; I+R: tratamientos con radiación UV-C y AER/ácido láctico) sobre el cambio de color total durante el almacenamiento refrigerado a: a) 0 °C; b) 4 °C; y c) 8 °C. Las barras de error muestran las desviaciones estándar.

Se puede inferir de estos resultados que los cambios de color total presentan una tendencia similar a la coordenada  $a^*$ , mostrando la capacidad de retrasar la oxidación de la solución de AER/ácido láctico (para retrasar la formación de MMb). Por ejemplo, en ese sentido, a los 14 días de almacenamiento a 0 °C (Figura 3a), las muestras (C) e (I) presentaron una variación de color de 15. Sin embargo, las

muestras tratadas con AER/ácido láctico, (R) e (I+R), presentaron valores de  $\Delta E$  inferiores a 10.

Por último, al evaluar la influencia de las condiciones de almacenamiento, se observó que al aumentar la temperatura disminuyó la estabilidad del color de la carne tanto en las muestras tratadas como en el control, efecto provocado por el aumento de la tasa de oxidación de la Mb. El consumo de oxígeno y la actividad reductora de la MMb son procesos bioquímicos que impactan directamente en el color de la carne <sup>(29)</sup>. En este sentido, un mayor consumo de oxígeno indica una mayor actividad metabólica, lo cual resulta perjudicial para el color final de este alimento <sup>(30)</sup>.

### *Conclusiones*

En este trabajo se estudió la evolución del color superficial de muestras de carne tratadas con radiación UV-C y solución de AER/ácido láctico, con el fin de prolongar su vida útil microbiológica durante el almacenamiento refrigerado. La coordenada que mejor representó los cambios observados en las muestras fue  $a^*$ , comprobándose que la radiación UV-C, a la dosis estudiada, no afecta el color superficial de las mismas durante el almacenamiento. No se encontraron cambios significativos de dicha coordenada con respecto al control. Además, el tratamiento con la solución de AER/ácido láctico resultó en una disminución de la tasa de oxidación de Mb, efecto cuantificado tanto en la coordenada  $a^*$  como en la variación total de color,  $\Delta E$ .

Para concluir, los resultados obtenidos en cuanto al análisis de las condiciones de almacenamiento mostraron la importancia de la temperatura en la tasa de deterioro de la calidad sensorial de la carne fresca, en particular, en su color superficial.

## Bibliografía

1. IPCVA. Exportaciones de Carne Vacuna Argentina. Informe elaborado por el área de información económica y estadística del Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina. 2015. [Actualizada en mayo de 2015; acceso 28 de agosto de 2023]. Disponible en: [http://www.ipcva.com.ar/documentos/1409\\_1432754878\\_informemensuaIdeexportacionesabril2015.pdf](http://www.ipcva.com.ar/documentos/1409_1432754878_informemensuaIdeexportacionesabril2015.pdf)
2. Hilgarth M, Behr J, Vogel RF. Monitoring of spoilage-associated microbiota on modified atmosphere packaged beef and differentiation of psychrophilic and psychrotrophic strains. *J Appl Microbiol*. [Internet] 2017. [Consultado agosto 2023]; 124: 740-753. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jam.13669>
3. Olivera DF, Bambicha, R, Laporte GM, Coll Cárdenas FJ, Mestorino N. Kinetics of colour and texture changes of beef during storage. *J Food Sci Technol*. [Internet] 2013. [Consultado agosto 2023]; 50(4): 821-825. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0885-7>
4. Suman S, Hunt M, Nair M, Rentfrow G. Improving beef color stability: practical strategies and underlying mechanisms. *Meat Sci*. [Internet] 2014. [Consultado agosto 2023]; 98(3): 490-504. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.032>
5. Beriain M, Goñi M, Indurain G, Sarriés M, Insausti K. Predicting Longissimus dorsi myoglobin oxidation in aged beef based on early post-mortem colour measurements on the carcass as a colour stability index. *Meat Sci*. [Internet] 2009. [Consultado agosto 2023]; 81: 439-445. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174008003161>
6. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Irradiation in the production, processing and handling of food. 21 CFR 179. [Actualizada el 7 de junio de 2023; acceso 28 de agosto de 2023]. Disponible en <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=179&showFR=1>
7. Stermer RA, Lasater-Smith M, Brasington CF. Ultraviolet Radiation. An Effective Bactericide for Fresh Meat. *J Food Prot*. [Internet] 1987. [Consultado agosto 2023]; 50(2): 108-111. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30965406/>
8. Ozer N, Demirci A. Inactivation of Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes Inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *Int J Food Sci Technol*. [Internet] 2006. [Consultado agosto 2023]; 41: 354-360. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/229774377\\_Inactivation\\_of\\_Escherichia\\_coli\\_O157H7\\_and\\_Listeria\\_monocytogenes\\_inoculated\\_on\\_raw\\_salmon\\_fillets\\_by\\_pulsed\\_UV-light\\_treatment](https://www.researchgate.net/publication/229774377_Inactivation_of_Escherichia_coli_O157H7_and_Listeria_monocytogenes_inoculated_on_raw_salmon_fillets_by_pulsed_UV-light_treatment)
9. Isohanni P, Lyhs M. Use of ultraviolet irradiation to reduce Campylobacter jejuni on broiler meat. *Poult Sci*. [Internet] 2009. [Consultado agosto 2023];

- 88: 661-668. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911940117X>
10. Chen H, Kim J, Lee B, Yu D, Song K. Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. *Food Control*. [Internet] 2010. [Consultado agosto 2023]; 21: 276-280. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713509001807>
  11. Álvarez MC, Pena I, Villat MC, de la Sota PE, Laporte GM, Olivera DF, Noia MA, Coll Cárdenas FJ. Joint application of antimicrobial agents on microbial flora chilled meat cattle. Use of mathematical models. *Procedia Food Sci*. 2016; 7: 63-66. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X16000882>
  12. Fernández Blanco M, Amasino AJ, Pena I, Laporte GM, de la Sota PE, Olivera DF, Coll Cárdenas FJ. Predictive Modelling in Food. En: Pérez-Rodríguez F, Carrasco E, Valero A, Posada-Izquierdo G. editores. *Mathematical modeling of microbial development in meat treated with Rosemary Essential oil and UVC light*. Cambridge, England: Cambridge Scholars Publishing; 2019, p. 22-23.
  13. Koutchma T, Forney L, Moraru C. *Ultraviolet light in food technology: principles and applications*. 1st. ed. Boca Raton, Fla.: CRS Press. 2009. Disponible en <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315112862/ultraviolet-light-food-technology-da-wen-sun-carmen-moraru-larry-forney-tatiana-koutchma>
  14. Bertelsen G, Skibsted LH. Photooxidation of oxymyoglobin. Wavelength dependence of quantum yields in relation to light discoloration of meat. *Meat Sci*. [Internet] 1987. [Consultado agosto 2023]; 19: 243-251. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0309174087900702>
  15. Chun HH, Kim JY, Lee BD, Yu DJ, Song KB. Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. *Food Control*. [Internet] 2010. [Consultado agosto 2023]; 21: 276-280. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713509001807>
  16. Galovičová L, Borotová P, Valková V, Kačániová M. Antibiofilm and antioxidant activity of *Rosmarinus officinalis* essential oil. *Potr. S. J. F. Sci*. [Internet] 2021. [Consultado agosto 2023]; 15: 1093-1103. Disponible en <https://potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/1693>
  17. Ojeda-Sana AM, van Baren CM, Elechosa, MA, Juárez MA, Moreno S. New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components. *Food Control*. [Internet] 2013. [Consultado agosto 2023]; 31: 189-195. Disponible en

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713512005221>
18. Bajalan I, Rouzbahani R, Abdollah Ghasemi Pirbalouti AG, Maggi F. Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils obtained from seven Iranian populations of *Rosmarinus officinalis*. *Ind Crops Prod*. [Internet] 2017. [Consultado agosto 2023]; 107: 305-311. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017303837>
  19. Burt, SA. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. A review. *Int J Food Microbiol*. [Internet] 2007. [Consultado Agosto 2023]; 94: 223-253. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/8463493\\_Essential\\_oils\\_Their\\_antibacterial\\_properties\\_and\\_potential\\_applications\\_in\\_foods-A\\_review\\_International\\_Journal\\_of\\_Food\\_Microbiology\\_943\\_223-253](https://www.researchgate.net/publication/8463493_Essential_oils_Their_antibacterial_properties_and_potential_applications_in_foods-A_review_International_Journal_of_Food_Microbiology_943_223-253)
  20. Goñi SM, Salvadori VO. Color measurement: comparison of colorimeter vs. computer vision system. *J Food Meas Charact*. [Internet] 2017. [Consultado agosto 2023]; 11: 538-547. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103350>
  21. Goñi SM, Salvadori VO. CIELAB color measurement from digital images. 2015. [Acceso 14 de agosto de 2023]. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45660/User\\_guide\\_Gu%C3%ADa\\_del\\_usuario.pdf?sequence=9&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45660/User_guide_Gu%C3%ADa_del_usuario.pdf?sequence=9&isAllowed=y)
  22. Girolami A, Napolitano F, Faraone D, Braghieri A. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Sci*. [Internet] 2013. [Consultado agosto 2023]; 93(1): 111-118. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030917401200277X>
  23. Tarlak F, Ozdemir M, Melikoglu M. Computer vision system approach in colour measurements of foods: Part I. Development of methodology. *Food Sci Technol (Campinas)*. [Internet] 2016. [Consultado agosto 2023]; 36(2): 382-388. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/305541653\\_Computer\\_vision\\_system\\_approach\\_in\\_colour\\_measurements\\_of\\_foods\\_Part\\_I\\_development\\_of\\_methodology](https://www.researchgate.net/publication/305541653_Computer_vision_system_approach_in_colour_measurements_of_foods_Part_I_development_of_methodology)
  24. Hernández Salueña B, Sáenz Gamasa B, Diñeiro Rubial JM, Alberdi Odriozola C. CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Sci*. [Internet] 2019. [Consultado agosto 2023]; 157: 107889. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/334412671\\_CIELAB\\_color\\_paths\\_during\\_meat\\_shelf\\_life](https://www.researchgate.net/publication/334412671_CIELAB_color_paths_during_meat_shelf_life)
  25. Ma D, Kim YHB, Cooper B, Oh JH, Chun H, Choe JH, Schoonmaker JP, Ajuwon KM, Min B. Metabolomics profiling to determine the effect of postmortem aging on color and lipid oxidative stabilities of different bovine muscles. *J Agric Food Chem*. [Internet] 2017. [Consultado agosto 2023]; 65(31): 6708-6716. Disponible en



- <https://www.researchgate.net/publication/341326494> Metabolomics Profiling to Determine the Effect of Postmortem Aging on Color and Lipid Oxidative Stabilities of Different Bovine Muscles
26. Quevedo R, Valencia E, Cuevas G, Ronceros B, Pedreschi F, Bastías JM. Color changes in the surface of fresh cut meat: A fractal kinetic application. *Food Res Int.* [Internet] 2013. [Consultado agosto 2023]; 54(2): 1430-1436. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996913005449>
  27. Djenane D, Sanchez Escalante A, Beltran J, Roncales P. Extension of the shelf life of beef steaks packaged in a modified atmosphere by treatment with rosemary and displayed under UV-free lighting. *Meat Sci.* [Internet] 2003. [Consultado agosto 2023]; 64(4): 417-426. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174002002103>
  28. McBride NTM, Hogan SA, Kerry JP. Comparative addition of rosemary extract and additives on sensory and antioxidant properties of retail packaged beef. *Int J Food Sci Technol.* [Internet] 2007. [Consultado agosto 2023]; 42(10): 1201-1207. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/229976330> Comparative addition of rosemary extract and additives on sensory and antioxidant properties of retail packaged beef
  29. Ramanathan R, Mancini RA. Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat and Muscle Biology.* [Internet] 2018. [Consultado agosto 2023]; 2(1): 309-320. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/328523833> Role of Mitochondria in Beef Color A Review
  30. Ramanathan R, Hunt MC, Price T, Mafi GG. Chapter Five. Strategies to limit meat wastage: Focus on meat discoloration. *Adv Food Nutr Res.* [Internet] 2021. [Consultado agosto 2023]; 95: 183-205. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043452620300528>

**Contribuciones de autor:** Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio.

**Financiamiento:** Este trabajo fue apoyado financieramente por la Universidad Nacional de La Plata, Proyecto 11/V285 (La Plata, Buenos Aires, Argentina).

**Conflicto de intereses:** No existe ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este documento.