

Calidad organoléptica y nutricional de la borraja (*Borago officinalis* L.) mínimamente procesada y envasada con film biodegradable

PALABRAS CLAVE: Capacidad Antioxidante, Color, Fenoles, PLA, Textura

AUTORES: **Rubén Vela Santacruz** -Universidad de Zaragoza

Jaime González-Buesa -Universidad de Zaragoza (CITA); Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2)

María Luisa Salvador Solano -Universidad de Zaragoza (CITA); Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2)

La borraja es una hortaliza que por sus propiedades nutricionales y laboriosa preparación es muy adecuada para que sus tallos se comercialicen como mínimamente procesados. Para mantener la calidad de este producto fue necesario aplicar un tratamiento higienizante, un tratamiento antipardeamiento, un envasado en atmósfera modificada y la conservación en refrigeración (4 °C). Motivado por la necesidad de reducir el uso de plásticos derivados del petróleo, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad organoléptica y nutricional de los tallos de borraja envasados en bolsas biodegradables de ácido poliláctico, y compararla con la del producto envasado con polipropileno (PP); utilizando como control el producto envasado en PP macroporoso. Debido a la alta permeabilidad al agua del PLA los tallos envasados en este material llegan a perder hasta un 5,7 % de su peso a los 21 días. Durante la conservación, los tallos pierden luminosidad e intensidad de la tonalidad verde característica, sin embargo, no hay diferencias significativas ($P > 0,05$) entre envases hasta el día 18, que comienzan a ser más marcados los cambios en los tallos envasados en PLA. No se encontraron diferencias en la textura de las borrajas envasadas en PP y PLA, pero las muestras control presentaron una menor resistencia a la flexión indicando que la composición gaseosa en el interior del envase influye en la textura. La capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales del producto envasado en PP no sufre cambios significativos durante los 21 días de conservación; sin embargo, el producto envasado en PLA reduce a la mitad su capacidad antioxidante entre los días 11 y 14 y pierde hasta el 70 % de los compuestos fenólicos al final del periodo de conservación. •

Calidad organoléptica y nutricional de la borraja (*Borago officinalis* L.) mínimamente procesada y envasada con film biodegradable.

R. Vela, J. González-Buesa y M.L. Salvador

Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal, Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2-(Universidad de Zaragoza-CITA), Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza. E-mail: mlsalva@unizar.es (M.L. Salvador)

Resumen

Para mantener la calidad de tallos de borraja mínimamente procesados fue necesario aplicar un tratamiento higienizante, un tratamiento antipardeamiento, un envasado en atmósfera modificada y la conservación en refrigeración (4 °C). Motivado por la necesidad de reducir el uso de plásticos derivados del petróleo, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad organoléptica y nutricional de los tallos de borraja envasados en bolsas biodegradables de ácido poliláctico (PLA), y compararla con la del producto envasado con polipropileno (PP); utilizando como control el producto envasado en PP macroporoso. Debido a la alta permeabilidad al agua del PLA los tallos envasados en este material llegan a perder hasta un 5.7 % de su peso a los 21 días. Durante la conservación, luminosidad e intensidad de la tonalidad verde característica disminuyen, sin embargo no hay diferencias significativas ($P>0.05$) entre envases hasta el día 18, que comienzan a ser más marcados los cambios en los tallos envasados en PLA. No se encontraron diferencias en la textura de las borrajas envasadas en PP y PLA, pero las muestras control presentaron una menor resistencia a la flexión indicando que la composición gaseosa en el interior del envase influye en la textura. La capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales del producto envasado en PP no sufre cambios significativos durante los 21 días de conservación; sin embargo, el producto envasado en PLA reduce a la mitad su capacidad antioxidante entre los días 11 y 14 y pierde hasta el 70 % de los compuestos fenólicos al final del periodo de conservación.

Palabras clave: capacidad antioxidante, color, fenoles, PLA, textura.

INTRODUCCIÓN

Los tallos de borraja mínimamente procesados envasados en atmósfera modificada y conservados en refrigeración es una alternativa a las existentes en el mercado acorde con la tendencia por parte de los consumidores de adquirir productos listos para el ser consumidos o cocinados (Alcúzar et al., 2017). Para el envasado de este tipo de productos se ha utilizado hasta la actualidad, fundamentalmente, plásticos derivados del petróleo. Estos materiales no son biodegradables y suponen un gran problema medioambiental global, por lo que existe un interés creciente en sustituirlos por envases bio-basados. Sin embargo, el uso de materiales bio-basados está limitado por las pobres propiedades barrera y débiles propiedades mecánicas que presentan (Khalil et al., 2018). Ello implica que hay que analizar cada producto en concreto para determinar cómo se ve afectada la calidad del mismo si se utilizan envases bio-basados.

El ácido poliláctico (PLA) es un material bio-basado y biodegradable, de precio económico, con buenas propiedades mecánicas y moderadas permeabilidades al oxígeno y al vapor de agua en comparación con otros materiales bio-basados (Almenar y Auras,

2010), que ya ha sido evaluado con otros productos (González-Buesa et al., 2014), pero su idoneidad para el envasado de borraja mínimamente procesada todavía no se ha evaluado. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del material de envasado en la calidad de tallos de borraja mínimamente procesados, para ello se ha utilizado un material bio-basado (PLA) y otro derivado del petróleo (PP).

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizó borraja (*Borago officinalis* L.) de flor blanca, cv Movera, cultivada en invernadero. Los tallos se cortaron en trozos de 5 cm mediante un cuchillo cerámico que se bañó en una disolución de ácido ascórbico al 2 % para reducir el pardeamiento enzimático. Se lavaron en agua fría a 4 °C con una disolución de hipoclorito sódico de 100 ppm durante 5 min, se aclararon y se centrifugaron manualmente. Posteriormente se envasaron (150 g) en bolsas de PLA y de PP de 40 µm de espesor, de 20x15 cm, y se conservaron en refrigeración a 4 °C. Como control se utilizaron bolsas de PP macroperforadas. La calidad del producto se analizó los días 0, 4, 7, 11, 14, 18 y 21. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Metodología analítica

La medida del color se realizó por análisis digital de imágenes adquiridas con un escáner (CanonScan Lide 210) utilizando el software ADImag .

La textura se analizó mediante test de pandeo con un texturómetro (TA.XTplus, Stable Micro Systems), con una célula de carga de 5 kg a 2 mm s⁻¹ hasta ruptura. A partir de estos datos se obtuvo la resistencia a la flexión, como el producto de la fuerza, a 5 mm de desplazamiento de la sonda, por la longitud de separación entre los puntos de apoyo del tallo en la sonda, referido al área de un tallo de sección circular que tuviese la misma área que el tallo analizado.

El contenido en humedad se determinó por pérdida de peso tras secado en estufa de convección a 105 °C. La capacidad antioxidante se determinó haciendo reaccionar los distintos compuestos antioxidantes presentes en la muestra con DPPH. Para cuantificar el contenido en compuestos fenólicos se partió del mismo extracto que en la determinación de la capacidad antioxidante y se siguió el método de Folin-Ciocalteu.

La evolución de la composición gaseosa en el interior de los envases (O₂ y CO₂), se midió con un analizador de gas (Dansensor CheckMate 3).

Los datos se presentan como valores medios ±desviación estándar. Con el fin de comparar las medias se realizó un test de varianza ANOVA acompañado de un test de Tukey, considerándose que las diferencias son significativas si P<0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la menor permeabilidad al O₂ del PLA (310 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹, a 23 °C, 85% HR) en comparación con el PP (1100 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹, a 23 °C, 0% HR), en los envases de PLA los tallos agotaron el O₂ en una semana de almacenamiento a 4°C, mientras que en los de PP la concentración de O₂ descendió por debajo del 1% el día 11.

Por otra parte, la alta permeabilidad al vapor de agua del PLA ($186 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a $38 \text{ }^\circ\text{C}$, 90% HR) fue la causa de que los tallos envasados en este material sufrieran una deshidratación más severa que los envasados en PP ($4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a $38 \text{ }^\circ\text{C}$, 100% HR), (ver Tabla 1), llegando a perder un 5.7 % de peso.

En todos los envases se produjo un incremento en la firmeza de los tallos en los 11 primeros días de conservación, posiblemente debido al estrés que el procesado genera en el producto. En las muestras control, en el último tramo del periodo de conservación, descendió la resistencia a la torsión, lo que refleja un ablandamiento del tallo que no se aprecia en las muestras envasadas en PLA ni en las envasadas en PP (Tabla 1), indicando que en la textura influye notablemente la atmósfera de envasado.

Durante la conservación los tallos perdieron luminosidad y tonalidad verde característica que se manifestó por un incremento de la coordenada a^* los primeros 4 d de conservación (Tabla 2). Comparando el color de los tallos entre los envases se observó que solamente existen diferencias significativas ($P < 0.05$) en las muestras envasadas en PLA que a los 21 d eran menos luminosas y tenían un tono verde menos intenso.

La evolución de la capacidad antioxidante y del contenido en compuestos fenólicos siguió la misma tendencia (Tabla 3). Las muestras envasadas en PP mantienen durante la conservación los valores iniciales. Sin embargo, en el caso del PLA, la capacidad antioxidante sufrió una reducción del 65 % y los compuestos fenólicos del 70%.

CONCLUSIONES

Los tallos de borraja mínimamente procesados si se envasan con PLA en vez de usar PP, a pesar de experimentar cierta deshidratación, presentan un color y una textura similares durante los primeros 18 d de conservación. Sin embargo, las pérdidas nutricionales de los tallos en PLA desaconsejan su utilización ya que el envasado en PP preserva mejor la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles del producto.

REFERENCIAS

- Alcusón, G., Remón, S., Salvador, M.L. (2017). Quality related aspects of sous-vide processing of borage (*Borago officinalis* L.) stems. LWT-Food Sci. Technol. 85: 104-109.
- Almenar, E., Auras, R. (2010). Permeation, sorption, and diffusion in poly(lactic acid). In: Auras, R., Lim, L.-T., Selke, S.E.M., Tsuji, H. (Eds.), Poly(lactic Acid): Synthesis, structure, properties and applications. Wiley and Sons, New York, pp. 155-179:
- Khalil, H.P.S.A., Banerjee, A., Saurabh, C.K., Tye Y.Y., Suriani, A.B., Azmi, M., Paridah, M.T. (2018). Biodegradable films for fruits and vegetables packaging applications: preparation and properties. Food Eng. Rev. 10 (3): 139-153.
- González-Buesa, J., Page, N., Kaminski, Ch., Ryser, E.T., Beadry, R., Almenar, E. (2014). Effect on non-convetional atmospheres and bio-bases packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes*-inoculated fresh-cut celery (*Apium graveolens* L.) during storage. Postharvest Biol. Technol. 93:29-73.

TABLAS

Tabla 1. Evolución de la humedad y de la turgencia de los tallos, expresada como resistencia a la flexión, durante la conservación en los diferentes envases.

| día | Humedad (g agua/g) | | | Resistencia a la flexión (MPa) | | |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} |
| 4 | 0.9587±0.0033 ^{A,ab} | 0.9645±0.0006 ^{A,ab} | 0.9503±0.0127 ^{A,ab} | 0.79±0.29 ^{A,ab} | 0.73±0.26 ^{A,ab} | 0.70.251± ^{A,ab} |
| 7 | 0.9513±0.0017 ^{B,ab} | 0.9637±0.0005 ^{A,bc} | 0.9501±0.0018 ^{B,ab} | 0.74±0.23 ^{A,ab} | 0.81±0.23 ^{A,b} | 0.74±0.25 ^{A,ab} |
| 11 | 0.9423±0.0019 ^{B,bc} | 0.9638±0.0007 ^{A,bc} | 0.9400±0.0014 ^{B,bc} | 0.82±0.24 ^{A,b} | 0.81±0.27 ^{A,b} | 0.84±0.22 ^{A,b} |
| 14 | 0.9410±0.0049 ^{B,bc} | 0.9639±0.0001 ^{A,bc} | 0.9318±0.0034 ^{C,c} | 0.74±0.23 ^{A,ab} | 0.73±0.24 ^{A,ab} | 0.73±0.28 ^{A,ab} |
| 18 | 0.9252±0.0132 ^{B,c} | 0.9632±0.0001 ^{A,c} | 0.9229±0.0058 ^{B,cd} | 0.63±0.25 ^{B,ab} | 0.80±0.24 ^{B,ab} | 0.75±0.30 ^{B,ab} |
| 21 | 0.9261±0.0094 ^{B,c} | 0.9632±0.0001 ^{A,c} | 0.9098±0.0020 ^{C,d} | 0.65±0.26 ^{AB,ab} | 0.82±0.27 ^{B,b} | 0.71±0.29 ^{AB,ab} |

Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre envases. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre tiempos de conservación.

Tabla 2. Evolución del color de los tallos durante la conservación en los diferentes envases.

| día | L* | | | a* | | |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 68.32±3.29 ^{A,a} | 68.32±3.29 ^{A,ab} | 68.32±3.29 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} |
| 4 | 67.39±3.68 ^{A,a} | 68.54±3.13 ^{A,a} | 66.87±3.90 ^{A,ab} | -3.29±0.61 ^{A,b} | -3.41±0.96 ^{A,b} | -3.43±0.84 ^{A,b} |
| 7 | 67.29±3.93 ^{A,ab} | 66.89±4.40 ^{A,ab} | 68.26±3.76 ^{A,a} | -3.39±0.92 ^{A,b} | -3.38±0.94 ^{A,b} | -3.34±1.57 ^{A,b} |
| 11 | 67.49±3.63 ^{A,a} | 66.18±4.42 ^{A,b} | 66.86±3.17 ^{A,ab} | -3.39±0.98 ^{A,b} | -3.32±0.96 ^{A,b} | -3.24±0.81 ^{A,b} |
| 14 | 66.27±4.18 ^{A,ab} | 66.45±3.12 ^{A,ab} | 65.08±5.49 ^{A,b} | -3.20±1.05 ^{A,b} | -3.09±0.85 ^{A,b} | -2.67±1.99 ^{A,b} |
| 18 | 66.92±3.81 ^{A,ab} | 67.70±4.37 ^{A,ab} | 66.00±5.00 ^{A,ab} | -3.39±1.18 ^{A,b} | -3.27±0.70 ^{A,b} | -2.67±1.52 ^{B,b} |
| 21 | 65.00±3.96 ^{A,b} | 66.71±3.68 ^{A,ab} | 61.51±5.09 ^{B,c} | -3.32±0.91 ^{A,b} | -3.26±0.96 ^{A,b} | -1.61±2.37 ^{B,c} |

Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre envases. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre tiempos de conservación.

Tabla 3. Evolución de la capacidad antioxidante y del contenido en fenoles totales de los tallos durante la conservación en los diferentes envases.

| día | Capacidad antioxidante (mgTrolox/100g DM) | | | Fenoles totales (mg GAES/100g DM) | | |
|-----|---|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 753±15 ^{A,a} | 744±15 ^{A,a} | 744±15 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} |
| 4 | 759±19 ^{A,a} | 751±20 ^{A,a} | 560±28 ^{B,b} | 198±49 ^{AB,b} | 258±13 ^{A,a} | 128±23 ^{B,b} |
| 7 | 408±29 ^{B,b} | 747±127 ^{A,a} | 520±66 ^{B,bc} | 166±70 ^{A,b} | 287±24 ^{A,a} | 151±84 ^{A,b} |
| 11 | 398±23 ^{B,b} | 656±46 ^{A,a} | 424±17 ^{B,cd} | 148±12 ^{B,b} | 241±42 ^{A,a} | 187±9 ^{Ab,b} |
| 14 | 452±47 ^{B,b} | 747±164 ^{A,a} | 308±33 ^{B,e} | 170±27 ^{B,b} | 311±40 ^{A,a} | 124±3 ^{B,b} |
| 18 | 383±44 ^{B,b} | 714±72 ^{A,a} | 361±22 ^{B,de} | 106±14 ^{B,b} | 313±53 ^{A,a} | 118±2 ^{B,b} |
| 21 | 414±66 ^{B,b} | 734±129 ^{A,a} | 259±62 ^{B,e} | 168±3 ^{B,b} | 285±20 ^{A,a} | 99±8 ^{C,b} |

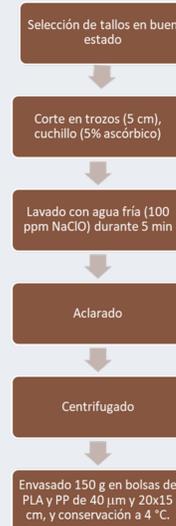
Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre envases. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre tiempos de conservación.

INTRODUCCIÓN



- Los tallos de borraja mínimamente procesados envasados en atmósfera modificada y conservados en refrigeración es una alternativa a las existentes en el mercado acorde con la tendencia por parte de los consumidores de adquirir productos listos para el ser consumidos o cocinados (Alcúson et al., 2017).
- Para el envasado de este tipo de productos se ha utilizado hasta la actualidad, fundamentalmente, plásticos derivados del petróleo. Estos materiales no son biodegradables y suponen un gran problema medioambiental global, por lo que existe un interés creciente en sustituirlos por envases bio-basados.
- Sin embargo, el uso de materiales bio-basados está limitado por las pobres propiedades barrera y débiles propiedades mecánicas que presentan (Khalil et al., 2018). Ello implica que hay que analizar cada producto en concreto para determinar cómo se ve afectada la calidad del mismo si se utilizan envases bio-basados.
- El ácido poliláctico (PLA) es un material bio-basados que ya ha sido evaluado con otros productos (González-Buesa et al., 2014), pero su idoneidad para el envasado de borraja mínimamente procesada todavía no se ha evaluado.

MATERIAL BIOLÓGICO



- Borraja (*Borago officinalis* L.) de flor blanca, cv Movera
- Suministrada por la empresa Hermanos Mene

Diagrama de procesado de la borraja

METODOLOGÍA

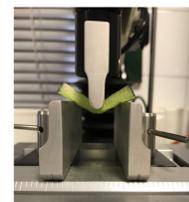
Medida de la permeabilidad de los films de PLA y PP



Laboratorio del CITA de caracterización de propiedades barrera de envases.



Evolución de la calidad de la borraja mínimamente procesada durante la conservación

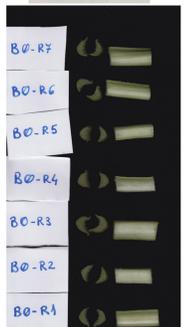


Se determinó la resistencia a la flexión σ mediante la expresión:

$$\sigma = \frac{FL}{\pi R^3}$$

Donde F es la fuerza a 5 mm de desplazamiento de la sonda, L la longitud de separación entre los puntos de apoyo del tallo en la sonda y R radio de un tallo de sección circular de igual área que el tallo analizado.

- Análisis de textura** mediante test de pando (texturómetro TA.XTplus, Stable Micro Systems).
- Análisis del color** mediante ADI de imágenes adquiridas con un escáner (Canon Scan Lide 210) usando el software ADImag.
- Contenido en humedad** por pérdida de peso tras secado en estufa de convección a 105 °C.
- Capacidad antioxidante** determinada por reacción de los distintos compuestos antioxidantes con DPPH.
- Contenido en compuestos fenólicos totales** por el método de Folin-Ciocalteu.
- Evolución de la composición gaseosa en el interior de los envases** (Analizador Dansensor CheckMate 3).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Evolución de la humedad y de la turgencia de los tallos.

| día | Humedad (g agua/g) | | | Resistencia a la flexión (MPa) | | |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.9649±0.0004 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} | 0.63±0.17 ^{A,a} |
| 4 | 0.9587±0.0033 ^{A,b} | 0.9645±0.0006 ^{A,b} | 0.9503±0.0127 ^{A,b} | 0.79±0.29 ^{A,b} | 0.73±0.26 ^{A,b} | 0.70.251± ^{A,b} |
| 7 | 0.9513±0.0017 ^{B,ab} | 0.9637±0.0005 ^{A,bc} | 0.9501±0.0018 ^{B,ab} | 0.74±0.23 ^{A,ab} | 0.81±0.23 ^{A,b} | 0.74±0.25 ^{A,ab} |
| 11 | 0.9423±0.0019 ^{B,bc} | 0.9638±0.0007 ^{A,bc} | 0.9400±0.0014 ^{B,bc} | 0.82±0.24 ^{A,b} | 0.81±0.27 ^{A,b} | 0.84±0.22 ^{A,b} |
| 14 | 0.9410±0.0049 ^{B,bc} | 0.9639±0.0001 ^{A,bc} | 0.9318±0.0034 ^{C,c} | 0.74±0.23 ^{A,ab} | 0.73±0.24 ^{A,ab} | 0.73±0.28 ^{A,ab} |
| 18 | 0.9252±0.0132 ^{B,c} | 0.9632±0.0001 ^{A,c} | 0.9229±0.0058 ^{B,cd} | 0.63±0.25 ^{B,ab} | 0.80±0.24 ^{B,ab} | 0.75±0.30 ^{B,ab} |
| 21 | 0.9261±0.0094 ^{B,c} | 0.9632±0.0001 ^{A,c} | 0.9098±0.0020 ^{C,d} | 0.65±0.26 ^{AB,ab} | 0.82±0.27 ^{B,b} | 0.71±0.29 ^{AB,ab} |

Tabla 2. Evolución del color de los tallos.

| día | L* | | | a* | | |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 68.32±3.29 ^{A,a} | 68.32±3.29 ^{A,a} | 68.32±3.29 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} | -4.21±0.75 ^{A,a} |
| 4 | 67.39±3.68 ^{A,a} | 68.54±3.13 ^{A,a} | 66.87±3.90 ^{A,ab} | -3.29±0.61 ^{A,b} | -3.41±0.96 ^{A,b} | -3.43±0.84 ^{A,b} |
| 7 | 67.29±3.93 ^{A,ab} | 66.89±4.40 ^{A,ab} | 68.26±3.76 ^{A,a} | -3.39±0.92 ^{A,b} | -3.38±0.94 ^{A,b} | -3.34±1.57 ^{A,b} |
| 11 | 67.49±3.63 ^{A,ab} | 66.18±4.42 ^{A,b} | 66.86±3.17 ^{A,ab} | -3.39±0.98 ^{A,b} | -3.32±0.96 ^{A,b} | -3.24±0.81 ^{A,b} |
| 14 | 66.27±4.18 ^{A,ab} | 66.45±3.12 ^{A,ab} | 65.08±5.49 ^{A,b} | -3.20±1.05 ^{A,b} | -3.09±0.85 ^{A,b} | -2.67±1.99 ^{A,b} |
| 18 | 66.92±3.81 ^{A,ab} | 67.70±4.37 ^{A,ab} | 66.00±5.00 ^{A,ab} | -3.39±1.18 ^{A,b} | -3.27±0.70 ^{A,b} | -2.67±1.52 ^{B,b} |
| 21 | 65.00±3.96 ^{A,b} | 66.71±3.68 ^{A,ab} | 61.51±5.09 ^{B,c} | -3.32±0.91 ^{A,b} | -3.26±0.96 ^{A,b} | -1.61±2.37 ^{C,b} |

Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre envases. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de conservación.

Tabla 3. Evolución de la capacidad antioxidante y del contenido en fenoles.

| día | Capacidad antioxidante (mg Trolox/100g DM) | | | Fenoles totales (mg GAES/100g DM) | | |
|-----|--|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Control | PP | PLA | Control | PP | PLA |
| 0 | 753±15 ^{A,a} | 744±15 ^{A,a} | 744±15 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} | 319±30 ^{A,a} |
| 4 | 759±19 ^{A,a} | 751±20 ^{A,a} | 560±28 ^{B,b} | 198±49 ^{AB,b} | 258±13 ^{A,a} | 128±23 ^{B,b} |
| 7 | 408±29 ^{B,b} | 747±127 ^{A,a} | 520±66 ^{B,bc} | 166±70 ^{A,b} | 287±24 ^{A,a} | 151±84 ^{A,b} |
| 11 | 398±23 ^{B,b} | 656±46 ^{A,a} | 424±17 ^{B,cd} | 148±12 ^{B,b} | 241±42 ^{A,a} | 187±9 ^{AB,b} |
| 14 | 452±47 ^{B,b} | 747±164 ^{A,a} | 308±33 ^{B,e} | 170±27 ^{B,b} | 311±40 ^{A,a} | 124±3 ^{B,b} |
| 18 | 383±44 ^{B,b} | 714±72 ^{A,a} | 361±22 ^{B,de} | 106±14 ^{B,b} | 313±53 ^{A,a} | 118±2 ^{B,b} |
| 21 | 414±66 ^{B,b} | 734±129 ^{A,a} | 259±62 ^{B,e} | 168±3 ^{B,b} | 285±20 ^{A,a} | 99±8 ^{C,b} |

- Debido a la **menor permeabilidad al O₂ del PLA** (310 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹, a 23 °C, 85% HR) en comparación con el **PP** (1100 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹, a 23°C, 0% HR), en los envases de PLA los tallos agotaron el O₂ en una semana de almacenamiento a 4°C, mientras que en los de PP la concentración de O₂ descendió por debajo del 1% el día 11.
- La **alta permeabilidad al vapor de agua del PLA** (186 g m⁻² d⁻¹, a 38 °C, 90% HR) fue la causa de que los tallos envasados en este material sufrieran una **deshidratación más severa que los envasados en PP** (4 g m⁻² d⁻¹, a 38 °C, 100% HR), (Tabla 1), llegando a perder un 5.7 % de peso.
- En todos los envases se produjo un incremento en la firmeza de los tallos hasta el día 11, posiblemente debido al estrés que el procesamiento genera en el producto. En las muestras control, en el último tramo del periodo de conservación, descendió la resistencia a la flexión (Tabla 1), indicando que **en la textura influye notablemente la atmósfera de envasado**.

- Durante la conservación los tallos perdieron luminosidad y tonalidad verde (Tabla 2). Comparando el color de los tallos entre los envases se observó que **solamente existen diferencias significativas (P<0.05) en las muestras envasadas en PLA que a los 21 d eran menos luminosas y tenían un tono verde menos intenso**.
- Las muestras envasadas en PP mantienen durante la conservación los valores iniciales de la capacidad antioxidante y del contenido en fenoles. Sin embargo, **en el caso del PLA, la capacidad antioxidante sufrió una reducción del 65 % y los compuestos fenólicos del 70%**.

CONCLUSIONES

- Los tallos de borraja mínimamente procesados si se envasan con PLA en vez de usar PP, a pesar de experimentar cierta deshidratación, presentan un color y una textura similares durante los primeros 18 días de conservación.
- Sin embargo, las pérdidas nutricionales de los tallos en PLA desaconsejan su utilización ya que el envasado en PP preserva mejor la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles del producto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Departamento de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento del Gobierno de Aragón a través del reconocimiento y subvención a la actividad investigadora del Grupo de investigación A22-20R.

REFERENCIAS

- Alcúson, G., Remón, S., Salvador, M.L. (2017). Quality related aspects of sous-vide processing of borage (*Borago officinalis* L.) stems. LWT-Food Sci. Technol. 85: 104-109.
- Khalil, H.P.S.A., Banerjee, A., Saurabh, C.K., Tye YY., Suriani, A.B., Azmi, M., Paridah, M.T. (2018). Biodegradable films for fruits and vegetables packaging applications: preparation and properties. Food Eng. Rev. 10 (3): 139-153.
- González-Buesa, J., Page, N., Kaminski, Ch., Ryser, E.T., Beadry, R., Almenar, E. (2014). Effect on non-convetional atmospheres and bio-based packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes*-inoculated fresh-cut celery (*Apium graveolens* L.) during storage. Postharvest Biol. Technol. 93:29-73.