



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos

Aspectos relacionados con la calidad de la borraja mínimamente procesada

Quality related aspects of minimally processed borage

Autor/es

Rubén Vela Santacruz

Director/es

María Luisa Salvador Solano, Jaime González Buesa

Facultad de Veterinaria

2019

Índice

1. Resumen.....	3
Abstract	4
2. Introducción.....	5
3. Justificación y objetivos	9
4. Materiales y métodos	10
4.1. Material biológico	10
4.2. Metodología experimental.....	10
4.2.1. Procesado mínimo de la borraja.....	10
4.2.2. Envasado en atmósfera modificada.....	11
4.2.3. Determinación de la actividad respiratoria	12
4.3. Metodología analítica	13
4.3.1. Medida del color por análisis digital de la imagen	13
4.3.2. Análisis instrumental de textura	14
4.3.3. Contenido en humedad.....	14
4.3.4. Capacidad antioxidante	15
4.3.5. Contenido en compuestos fenólicos totales	16
4.3.6. Composición gaseosa en el interior del envase	17
4.4 Análisis estadístico.....	18
5. Resultados y discusión	18
5.1. Actividad respiratoria de la borraja.....	18
5.2. Calidad de los tallos de borraja durante su conservación	20
5.2.1. Evolución de los parámetros fisicoquímicos	20
5.5.2. Evolución de parámetros nutricionales	25
6. Conclusiones.....	27
Conclusions.....	29
7. Valoración personal. Aportaciones en materia de aprendizaje.....	30
8. Bibliografía.....	31

1. Resumen

La borraja es una hortaliza que por sus propiedades nutricionales y su laboriosa preparación es muy adecuada para comercializarse como mínimamente procesada. Para mantener la calidad de este tipo de productos es necesaria la aplicación de tratamientos higienizantes y antiparardeamiento, un envasado en atmósfera modificada y la conservación en refrigeración. En la actualidad, la industria de los productos mínimamente procesados tiene, entre otros, como reto, la reducción del uso de plásticos derivados del petróleo que se usan en el envasado del producto.

El objetivo de este trabajo es estudiar la calidad de tallos de borraja mínimamente procesados mediante ensayos en los que se realiza una caracterización físico-química y nutricional del producto envasado con dos materiales; uno convencional, como es el polipropileno (PP) y otro biodegradable, en concreto el ácido poliláctico (PLA). La principal diferencia entre ellos, en cuanto a sus propiedades barrera, estriba en la alta permeabilidad al vapor de agua del PLA. Como control se utilizó un envasado en PP con macroperforaciones. Durante la conservación del producto se ha analizado la evolución de la atmósfera del interior de los envases, la pérdida de humedad de los tallos, el color, la textura, la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales. Además, se determinó la actividad respiratoria de la borraja a la temperatura de conservación como información necesaria para un óptimo diseño de un envase en atmósfera modificada.

Hasta el día 18 de conservación no hay diferencias significativas ($p>0,05$) en el color ni en la textura entre los diferentes envases. Sin embargo, desde el comienzo del periodo de conservación las muestras envasadas en PLA experimentan unas mayores pérdidas nutricionales en cuanto a contenido en fenoles y capacidad antioxidante, acompañadas de una mayor deshidratación, con respecto a las muestras envasadas en PP.

Abstract

Borage is a vegetable that due to its nutritional properties and its laborious preparation is very suitable to be commercialized as minimally processed. In order to maintain the quality of this type of product, it is necessary to apply hygienic and antibrowning treatments, modified atmosphere packaging and conservation in refrigeration. Currently, the industry of minimally processed products has, among other challenges, the reduction of the use of plastics derived from petroleum that are used in the packaging of the product.

The aim of this work is to study the quality of borage stems minimally processed through tests in which a physical-chemical and nutritional characterization of the product is carried out with two packaging materials: a conventional one, such as polypropylene (PP) and another biodegradable one, specifically polylactic acid (PLA). The main difference between them, in terms of their barrier properties, lies in the high water vapour permeability of the PLA. A PP packaging with macroperforations was used as a control. During the conservation of the product, the evolution of the atmosphere inside the bags, the loss of moisture content of the stems, the colour, the texture, the antioxidant capacity and the content of total phenols have been analysed. In addition, the respiratory activity of borage at storage temperature was determined as necessary information for an optimal design of a modified atmosphere package.

Until the 18th day of storage there are no significant differences ($p>0.05$) in colour or texture between the different packages. However, since the beginning of the storage period, samples packed in PLA experience greater nutritional losses in terms of phenol content and antioxidant capacity, accompanied by more marked dehydration, compared to samples packed in PP.

2. Introducción

De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se deberían de consumir al menos 400 g de frutas y verduras al día para alcanzar las metas de salud marcadas (OMS, 2008), ya que son fuente de nutrientes de gran importancia para la dieta humana como es el caso de los antocianos y otros compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y de eliminación de radicales libres, carotenoides, tocoferoles y ácido ascórbico (Qadri et al., 2015).

La borraja (*Borago officinalis L.*) es una hortaliza poco conocida fuera del curso medio y alto del río Ebro, centrándose su cultivo en las comunidades autónomas de Navarra, La Rioja y Aragón. De la borraja se consumen sus hojas y peciolos, siendo estos últimos los más usados en la gastronomía. Es un potente diurético por su riqueza en sales de potasio, flavonoides y taninos que favorecen la producción y eliminación de orina. Además, es abundante en mucílagos y su consumo al cocerse tiene un ligero efecto laxante debido a su elevado contenido en fibra (Alcusón, 2015).

Hoy en día, la forma más común de comercializar la borraja es directamente como el vegetal fresco en mata, sin recibir ningún tipo de tratamiento, o tan solo lavada y embolsada en un plástico macroperforado de polipropileno. Otra forma de comercializar la borraja es en conserva tras ser sometida a un proceso de limpieza y cortado y una esterilización comercial, alargando su vida útil, pero sacrificando calidad del producto. La venta de borraja en IV gama, o mínimamente procesada, se limita a la borraja cortada y envasada en una bandeja de poliestireno expandido cubierta por un film de PVC (Alcusón, 2015).

Los vegetales mínimamente procesados son aquellos a los que se les ha sometido a operaciones de selección, clasificación, lavado, pelado, cortado y envasado, para obtener un producto 100% comestible. Posteriormente se conservan, distribuyen y comercializan en refrigeración. Se les suele aplicar tratamientos combinados para salvaguardar con eficacia al producto de los factores que limitan su calidad y frente al crecimiento de microorganismos patógenos y/o la producción de toxinas (Alcusón, 2015).

En los países desarrollados se ha incrementado la demanda de frutas y verduras mínimamente procesadas (Qadri et al., 2015), este procesado implica acciones sobre los alimentos como el cortado, el lavado o el envasado, las cuales pueden traer como consecuencia un rápido deterioro de los vegetales, aumentando la tasa de respiración, la transpiración, la actividad enzimática y la proliferación microbiana (Ansah et al., 2017); siendo necesario conocer qué tecnologías postcosecha se deben de aplicar para frenar su deterioro, prolongar la vida útil del producto (Wilson et al., 2019; Escobar et al., 2014) y

reducir riesgos microbiológicos en la cadena de producción (Castro-Ibáñez et al., 2017).

Con operaciones como el cortado se ha demostrado en estudios como el de Priepeke et al. (1976) que se produce un incremento de la actividad respiratoria de los vegetales de hasta el doble con respecto al mismo vegetal sin cortar, este es el caso de la lechuga que, envasada en un plástico de baja permeabilidad a los gases, en tan solo dos días de almacenamiento duplica su producción de CO₂. Algo similar ocurre en el caso de las zanahorias, donde el incremento en la producción de CO₂ a los dos días es de 1,7 veces mayor en las cortadas que en las intactas.

En un estudio realizado por Bolin et al. (1977) sobre lechuga cortada se llegó a la conclusión de que los fluidos celulares que acaban impregnando a los vegetales tras realizar el cortado contienen una gran cantidad de enzimas con alta actividad padeante, como es el caso de la polifenoloxidasa (PPO) y de la catalasa, llevando a un rápido deterioro del producto si no somete a un tratamiento antioxidante. La mayoría de los productos vegetales mínimamente procesados requieren del uso de agentes químicos para el control del pardeamiento enzimático como acidulantes, reductores, acomplejantes, quelantes o inhibidores enzimáticos.

La operación de lavado se suele realizar usando hipoclorito de sodio concentrado entre 50 y 150 mg/L (Martínez-Hernández et al., 2015) aunque podría ser potencialmente dañino para la salud humana y para el medioambiente debido a la generación de ciertos subproductos como son el cloroformo, ácidos haloacéticos o trihalometanos (Nieuwenhuijsen et al., 2000). A día de hoy se está trabajando en la combinación de otros métodos para llegar a sustituir, o reducir, el uso del cloro en los procesos de desinfección en los vegetales mínimamente procesados, como es el caso del uso de bacteriocinas o bacteriófagos, ozono, peróxido de hidrógeno, radiación ionizante, ultrasonidos o luz ultravioleta (Meireles et al., 2016).

Los productos mínimamente procesados requieren de un envasado que les proteja y les permita llegar en buenas condiciones a los consumidores. Un óptimo envasado aumenta la comodidad, seguridad y calidad de los alimentos para los consumidores, a la vez que se reduce la necesidad de aditivos, el desperdicio de alimentos y los problemas relativos a intoxicaciones alimentarias (Robertson, 2012).

Aunque se están investigando novedosas tecnologías muy prometedoras para frenar el deterioro de los productos mínimamente procesados como la aplicación de recubrimientos comestibles con aditivos naturales, o nuevas generaciones de recubrimientos con soluciones nanotecnológicas como nanopartículas, nanoencapsulaciones, y sistemas multicapa (Ghidelli et al., 2018), el método más usado es el envasado en atmósfera modificada

(EAM), que consiste en alterar la atmósfera del interior del envase mediante la interacción entre la respiración de los vegetales y la transferencia de gases a través del material de envasado. La atmósfera se puede crear de manera activa, desplazando o sustituyendo los gases del envase o usando absorbentes para lograr tener la atmósfera deseada, o de manera pasiva, mediante el uso de un film en el envase que permita un desarrollo de la atmósfera natural debido a la respiración del producto y de la difusión de los gases a través del material. El oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2) son los gases más usados en el EAM. Durante el almacenamiento del producto se consume el O_2 presente, produciéndose CO_2 , a causa de la respiración. Por otro lado, el N_2 es un gas inerte usado como relleno para evitar el colapso del envase. Generalmente, una concentración de O_2 de entre 3-6% y de CO_2 entre 2-10% consigue un control microbiano y extiende la vida útil de una gran variedad de productos mínimamente procesados (Oliveira et al., 2015).

Para estos envases se ha usado tradicionalmente materiales como el polipropileno (PP), poliestireno (PE) y otros plásticos basados en el petróleo. Actualmente, se está generando un rechazo a ellos debido a la preocupación por el medioambiente. Además, el contacto directo de estos materiales con los alimentos puede ser fuente de contaminaciones al migrar compuestos químicos desde el envase al alimento. Por lo tanto, se está dando más énfasis al uso de polímeros biodegradables (Khalil et al., 2018).

El PP es uno de los polímeros sintéticos de menor densidad y mayor volumen disponibles. Siendo un material muy versátil que no solo se usa como envase, sino que también tiene aplicación en el transporte y en el sector textil, por ejemplo. Se crea tras la polimerización catalítica de monómeros de polipropileno bajo condiciones de calor y presión, por lo que este polímero está compuesto por repetidas unidades de este monómero. El control de esta polimerización puede dar como resultado tres formas de PP, siendo la usada como film en los envases la estructura isotáctica, es decir, la que presenta todos los grupos metilo en el mismo lado de la cadena (Brown, 1992). El PP es el plástico más usado en los envases rígidos, pero también es muy usado en los envases flexibles. Algunas de las propiedades que hacen que su uso esté tan extendido son su baja permeabilidad del vapor de agua, su resistencia mecánica y que es económico. De hecho, es uno de los pocos plásticos que combinan su buen precio con la resistencia requerida para realizar dobles sellados, la tolerancia a altas temperaturas y hace de barrera al vapor en un ambiente de alta humedad. Otras propiedades del PP que lo hacen buen material para envasar son: sus buenas propiedades ópticas debido a que es un material claro y transparente en láminas delgadas, tolera el llenado en caliente, ejerce un efecto barrera a la humedad alto y, sin embargo, bajo para los gases (Brown, 1992).

Pero este tipo de materiales no son degradables, por eso mismo los materiales de envasado de los alimentos representan un gran problema medioambiental a nivel global (Kirwan y Strawbridge, 2003). Desgraciadamente, el uso de materiales biodegradables se está viendo limitado por las pobres propiedades barrera y las débiles propiedades mecánicas que presentan. Es por eso por lo que frecuentemente se mezclan con otros polímeros sintéticos o se modifican químicamente para mejorar estas propiedades (Sorrentino et al., 2007).

Los compuestos biodegradables que se pueden aplicar al envasado de alimentos más estudiados son los almidones y sus derivados, el ácido poliláctico (PLA), el succinato de polibutileno (PBS), el polihidroxibutirato (PHB) y el poliéster alifático (PCL). Es el PLA el polímero con mayor potencial para una producción a gran escala de materiales de envasado renovables. El ácido láctico, que es el monómero que compone el PLA, se puede obtener de manera simple a partir de la fermentación de carbohidratos procedentes de la actividad agraria (Sorrentino et al., 2007).

Además de ser un material biobasado, el PLA es biodegradable, tal y como demostró Sinclair en 1996. Se realizaron pruebas en agua salina con temperaturas de entre 5 y 27 °C. En una primera etapa hay una difusión de la humedad dentro del PLA, posteriormente se produce la hidrólisis que va reduciendo progresivamente el peso molecular, y finalmente los microorganismos digieren los productos de menor peso molecular generados en esta hidrólisis. Este proceso puede llevar en torno a un año o dos de tiempo, en función de las temperaturas, la humedad y la pureza del PLA.

En cuanto a las características del PLA se puede decir que posee buenas propiedades mecánicas, una moderada permeabilidad al oxígeno, así como a la humedad, la cual es mejor que la que se obtiene con otros materiales biobasados como es el caso de los creados a partir de almidón, y tiene un precio económico (Petersen et al., 1999).

3. Justificación y objetivos

La borraja es un producto adecuado para ser comercializado listo para cocinar ya que su preparación requiere bastante tiempo. Los tallos de borraja mínimamente procesados envasados en atmósfera modificada y conservados en refrigeración es una alternativa a las existentes en el mercado que merece ser estudiada. Para obtener un producto de calidad es necesario un procesado que evite en lo posible el pardeamiento y que reduzca la carga microbiana; así como un diseño adecuado del envase que mantenga durante la vida útil del producto la composición gaseosa más adecuada para minimizar las pérdidas organolépticas y nutricionales de la borraja. Sin embargo, la producción y consumo de productos mínimamente procesados genera una gran cantidad de residuos con el consiguiente impacto medioambiental, incluyendo el uso de materiales derivados del petróleo en la etapa de envasado. Por ello, hay un interés creciente en encontrar envases bio-basados o biodegradables que permitan mantener la calidad de los productos mínimamente procesados.

El objetivo de este trabajo es el estudio de la calidad de los tallos de borraja mínimamente procesados mediante ensayos en los que se realizó una caracterización físico-química y nutricional del producto envasado utilizando diferentes materiales (convencionales y biodegradables). Para ello se determinó la actividad respiratoria del producto, se optimizaron las etapas del procesado mínimo y se estudió la evolución de la calidad del producto en los diferentes envases, valorando así también la aptitud de un material de envasado biodegradable alternativo a los plásticos convencionales.

4. Materiales y métodos

4.1. Material biológico

Los tallos de borraja (*Borago officinalis*) utilizados para el experimento se obtuvieron a partir de borrajas de la variedad “Movera” cultivadas en los campos de la empresa “Hermanos Mené”, en la localidad de Zaragoza, y recolectadas el día 3 de junio de 2019. Justo después de su recolección fueron transportadas a las instalaciones de la Universidad de Zaragoza, lugar donde se almacenaron a temperaturas de refrigeración (3-5°C) antes de ser procesadas en el mismo día según el procedimiento descrito a continuación.

4.2. Metodología experimental

4.2.1. Procesado mínimo de la borraja

Las muestras consistían en tallos de borraja sin hojas ni defectos en la calidad tales como heridas, podredumbres o colores extraños.

Partiendo de las matas de borraja, conservadas en refrigeración, se cortaron trozos de 5 cm de los tallos haciendo uso de un cuchillo cerámico (Kyocera, Kioto, Japón) que previamente se introducía en una solución del 2% de ácido ascórbico antes de cada corte, para así aplicar un tratamiento antipardeante en los extremos de los tallos, debido a que el ácido ascórbico reduce las quinonas formadas por la oxidación devolviéndolas a compuestos fenólicos normales (Barret, 1996).

A estos tallos cortados se les aplicó un tratamiento desinfectante al sumergirlos durante 1 min en una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio, la cual se llevó con anterioridad a un pH de 6,5, mediante la adición de otra solución de ácido cítrico al 2% de concentración, para así obtener la mayor efectividad del cloro en la desinfección (Food Safety Authority of Ireland, 2001).

Transcurrido ese minuto, los tallos se aclararon sumergiéndolos en agua fría durante otro minuto más. Pasado este tiempo se llevaron a un escurridor giratorio manual en el que se centrifugaron durante 30 s para retirar el agua y proceder al envasado (Figura 1).



Figura 1. Procesado de tallos de borraja y producto final.

4.2.2. Envasado en atmósfera modificada

El envasado se llevó a cabo usando bolsas de dos materiales distintos: polipropileno (PP) y ácido poliláctico (PLA). Se prepararon tres tipos distintos de envases: el envase denominado “control”, que consiste en bolsas de PP a las que se hicieron macroperforaciones con una aguja a fin de que se permitiera el intercambio gaseoso con la atmósfera exterior; los otros dos tipos de envase fueron bolsas de PP y PLA sin realizarles ninguna otra acción. Se anotó el peso de cada una de las bolsas para luego poder realizar los cálculos pertinentes en cuanto a pérdidas de peso durante la obtención de resultados en las pruebas analíticas. Las dimensiones de las bolsas fueron 20 cm de alto y 15 cm de ancho.

Una vez procesada la borraja se procedió al llenado de las bolsas, introduciendo aproximadamente 150 g en cada una y sellando la abertura superior de las bolsas para permitir que se generase una atmósfera modificada pasiva a lo largo del tiempo debido a la respiración de los vegetales. Se prepararon en total 30 muestras de cada uno de los tres tipos de envases y se llevaron a una cámara de refrigeración (a 4 °C) de donde se irían sacando las muestras a analizar en cada punto de análisis a razón de tres bolsas de cada tipo de envase los días 0, 4, 7, 11, 14, 18, y 21.

4.2.3. Determinación de la actividad respiratoria

Previamente al desarrollo del experimento se llevó a cabo una prueba para determinar la actividad respiratoria de los tallos de borraja mínimamente procesados en un respirómetro (Figura 2) desarrollado por el grupo de investigación de Alimentos de Origen Vegetal (González-Buesa y Salvador, 2019). Este equipo permite la medida cada 5 min de la composición gaseosa (O_2 y CO_2) y de la presión diferencial, en una cámara de respiración estanca de 1450 mL, en el interior de la cual se introdujeron 300 g de tallos de borraja previamente procesados. El respirómetro se mantuvo a temperatura de 4 °C en una cámara de refrigeración.

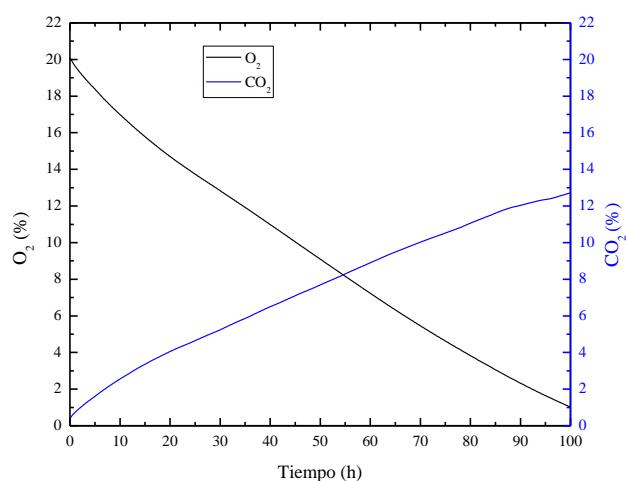


Figura 2. Tallos de borraja en el respirómetro y ejemplo de evolución de la composición gaseosa en el interior de la cámara de respiración durante el ensayo para determinar la actividad respiratoria.

4.3. Metodología analítica

4.3.1. Medida del color por análisis digital de la imagen

Para determinar las coordenadas de color CIELab se optó por emplear el análisis digital de imágenes (ADI) de la superficie de los tallos de borraja adquiridas mediante un escáner (CanonScan Lide 210), con una resolución mínima de 600 dpi (Figura 3). El procesado de las mismas se realizó utilizando el software ADImag (versión 6.2, Centro de tratamiento digital de la Imagen, Universidad de Zaragoza) con el que se obtuvo los valores RGB de un área representativa del sistema (mínimo 15000 pixeles). Los valores RGB se relacionaron con sus correspondientes coordenadas L^* , a^* y b^* mediante un modelo cuadrático simple (León et al., 2006). Los coeficientes de la matriz de correlación se obtuvieron a partir de los datos de imágenes de referencia de la norma española de colores UNE (1994) 48-103-94 minimizando el cuadrado del error con la herramienta Solver de Microsoft Excel. Cada día de análisis, para cada uno de los tipos de envase, se analizó el color de 15 tallos de tres réplicas (45 muestras por condición).



Figura 3. Escaneado de los tallos de borraja.

4.3.2. Análisis instrumental de textura

La prueba elegida para llevar a cabo este análisis fue el test de pandeo con un texturómetro (TA.XTplus, Stable Micro Systems, United Kingdom), con una célula de carga de 5 kg y una velocidad de 2 mm s^{-1} hasta ruptura, Figura 4. Se midió el punto de fractura en 45 muestras por condición (15 tallos de tres réplicas). Para evitar la variabilidad en los resultados, debida a la gran diferencia que hay en el grosor entre los tallos de borraja, se registró el área de las dos secciones de corte de cada tallo. Para ello se impregnaron los extremos con tinta y se tamponaron sobre papel para posteriormente mediante ADI medir el área de las manchas que así se generaban (Figura 4). A partir de estos datos se obtuvo la resistencia a la flexión, σ , mediante la expresión matemática:

$$\sigma = \frac{F \cdot L}{\pi \cdot R^3} \quad (1)$$

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

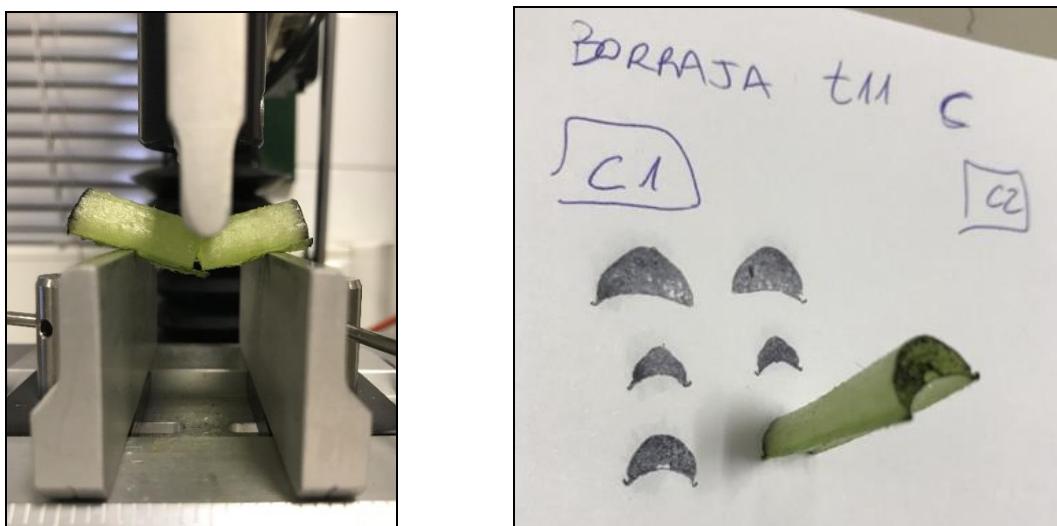


Figura 4. Test de pandeo sobre un tallo de borraja (izquierda) y registro de las áreas de las secciones de corte de un tallo de borraja (derecha).

4.3.3. Contenido en humedad

El contenido en humedad se determinó por pérdida de peso de 2 g de muestra tras su secado en estufa de convección a 105°C hasta pesada constante. Estos datos no solo se usarán para conocer el contenido en humedad, sino que también servirán para realizar los futuros cálculos de los demás análisis y así poder referirlos al peso seco de la muestra.

4.3.4. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó a partir del método propuesto por Llorach et al. (2004) y Gil et al. (2000). Este método mide la capacidad antioxidante de los distintos compuestos antioxidantes presentes en la muestra al hacerla reaccionar con un radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). En primera instancia el DPPH se caracteriza por tener una coloración morada que, al reaccionar con los compuestos antioxidantes de la muestra, va tornando en amarillo. Es esta reacción colorimétrica la que se mide mediante espectrofotometría para determinar la capacidad antioxidante.

Dado que los valores se expresan en mg de Trolox/100g de materia seca se requiere la realización de una recta patrón de diferentes concentraciones de esta sustancia (60-0 µM), Figura 5. Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) es un análogo soluble en agua del α -tocoferol (Vitamina E) y es un potente antioxidante (Forrest et al., 1994).

Para realizar la extracción se pesaron 5 g de muestra en un tubo Falcon de 50 mL de capacidad al que se le añadieron 10 mL de una solución 80:20 (v:v) de metanol:agua y 2 mM de NaF. La muestra con la solución se homogeneizó con un Ultraturrax (IkaWerke, Alemania) durante 1 min y posteriormente se centrifugó (4000 rpm durante 15 min a 4 °C). Se recogió el sobrenadante de los tubos en un matraz aforado de 25 mL y se enrasó con la misma solución de metanol:agua utilizada anteriormente.

Para llevar a cabo las medidas en el espectrofotómetro se tuvieron que hacer varias diluciones a partir de la dilución madre del extracto y, una vez hechas, se prepararon las cubetas donde se añadió a cada una 900 µL de la dilución correspondiente y 900 µL de DPPH, se agitaron y se mantuvieron en oscuridad durante 2,5 h para permitir que se desarrollara el color. Tras esto se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Unicam UV-500, Thermospectronic, UK) a 515 nm habiendo realizado el *autocero* con la solución de metanol-agua 80:20. Se debe realizar la medida en la primera cubeta que haya desarrollado el color morado. Se analizaron tres muestras por condición.

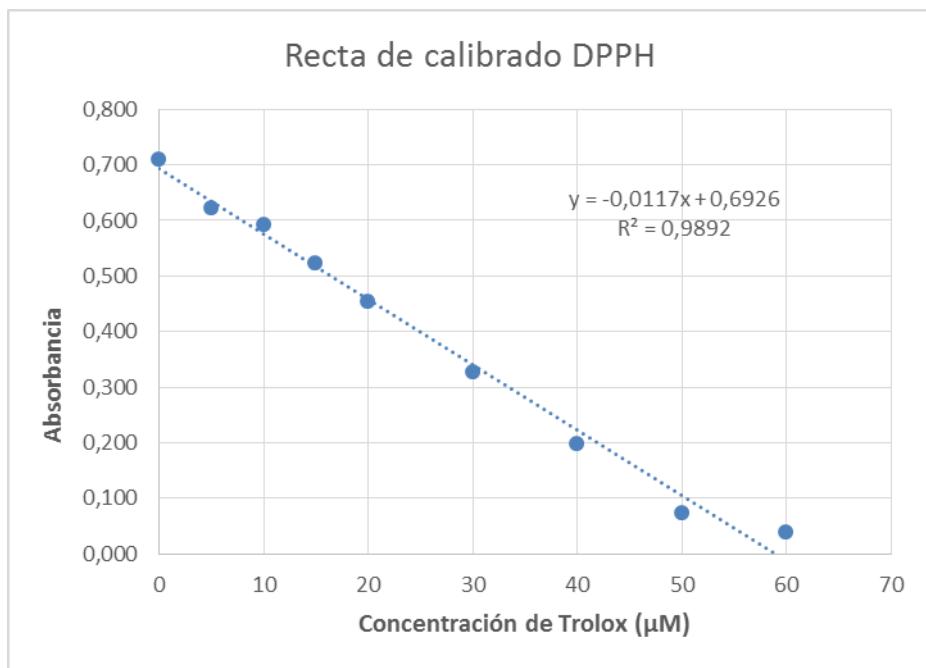


Figura 5. Recta de calibrado para la cuantificación de la actividad antioxidante.

4.3.5. Contenido en compuestos fenólicos totales

Para determinar el contenido en compuestos fenólicos partimos del extracto que se obtuvo en la determinación de la capacidad antioxidante y se siguió el método Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). A 0,5 mL de extracto se le adicionó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, tras agitar y esperar 5 min se añadió 0,5 mL de carbonato sódico NaCO₃ 7,5% y 7 mL de agua destilada, se agitó para homogeneizar y se guardó en oscuridad durante 1 h para dejar que se desarrollase la reacción antes de las medidas espectrofotométricas a 760 nm. Para la recta patrón se utilizó ácido gálico (0-150 mg/L), preparándose de igual manera que los tubos de ensayo con las muestras. Los resultados se expresaron en mg GAE/100 g de materia seca, por lo que se elaboró la recta patrón con concentraciones entre 0 y 200 mg/L (Figura 6).

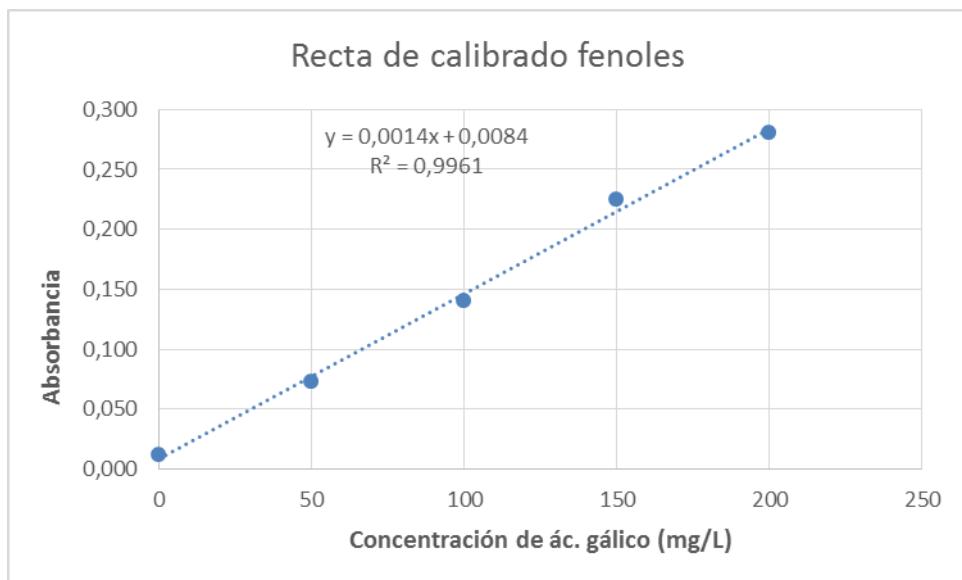


Figura 6. Recta de calibrado para la cuantificación de los fenoles totales.

4.3.6. Composición gaseosa en el interior del envase

Previamente a la toma de muestras para realizar el resto de análisis, se midió el contenido en O₂ y CO₂ que se había desarrollado en el interior de los envases debido a la respiración de los tallos gracias a un analizador de gas (Dansensor CheckMate 3, Dinamarca). Para ello se calibró cada día con una mezcla de gases cuya composición era 21% O₂ y 21% CO₂ (Figura 7).



Figura 7. Medida de la composición gaseosa del interior de una bolsa de tallos de borraja.

4.4 Análisis estadístico

Los datos se presentan como valores promedios \pm desviación estándar (sd). Con el fin de comparar las medias se realizó un test de varianza ANOVA (Terrádez y Juan, 2003) acompañado de un test de Tukey, considerándose que las diferencias son significativas si $p<0,05$.

5. Resultados y discusión

5.1. Actividad respiratoria de la borraja

Previamente al cálculo de la tasa respiratoria, se corrigieron los valores brutos de concentración de CO₂ y O₂ que suministra el respirómetro siguiendo las instrucciones del fabricante de los sensores, teniendo en cuenta su dependencia con la presión. Después, se calculó la tasa de producción de dióxido de carbono, R_{CO_2} ($mL\ kg^{-1}\ h^{-1}$) y de oxígeno R_{O_2} ($mL\ kg^{-1}\ h^{-1}$) utilizando las siguientes expresiones (Fonseca et al., 2002):

$$R_{CO_2} = \frac{1}{W} \frac{([CO_2]_{t_2} - [CO_2]_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \frac{1}{V} * 100 \quad (2)$$

$$R_{O_2} = \frac{1}{W} \frac{([O_2]_{t_2} - [O_2]_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \frac{1}{V} * 100 \quad (3)$$

Donde $[CO_2]_{t_2}$ y $[CO_2]_{t_1}$ (%) son las concentraciones de dióxido de carbono para t_2 y t_1 (h) respectivamente, de forma análoga $[O_2]_{t_2}$ y $[O_2]_{t_1}$ (%) las concentraciones de oxígeno para t_2 y t_1 (h); W (kg) es el peso del producto, y V (mL) es el volumen libre dentro de la cámara de respiración. Los valores obtenidos se muestran en la Figura 8 en función de la concentración de oxígeno.

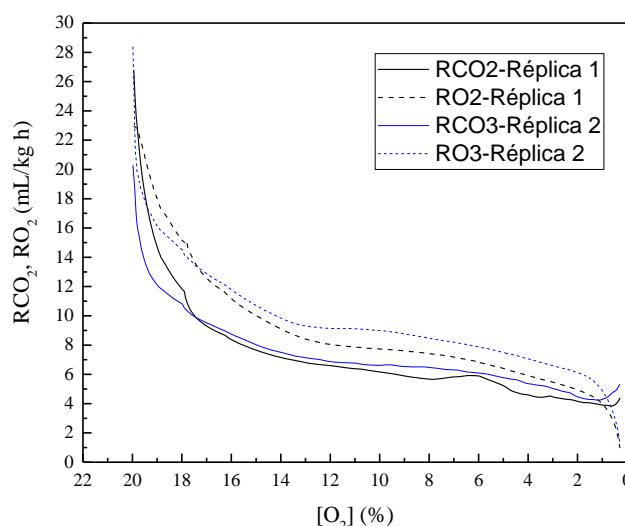


Figura 8. Evolución de la velocidad de respiración con la concentración de oxígeno.

En aire, la velocidad de respiración, a 4 °C, es de 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y de 22 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹. Como puede observarse se produce un rápido descenso de las velocidades de respiración cuando la concentración de oxígeno disminuye desde el 21 al 14 %. A partir de ese momento, permanecen prácticamente constantes, descendiendo de nuevo cuando la concentración de oxígeno es menor del 6 %. Estos resultados indican que un envase que reduzca la concentración de oxígeno por debajo del 14 % es suficiente para ralentizar la actividad metabólica de la borraja a valores de 7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 8,5 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Los tallos de borraja en aire presentan una elevada velocidad de respiración, mayor a la de otros productos como judías verdes cortadas (15 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 5 °C), pero inferior a la de la lechuga cortada (35 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 6 °C), (Deza-Durand et al., 2011). El descenso de la velocidad de respiración de las borrajas para concentraciones de oxígeno inferiores al aire concuerda con lo obtenido en otros estudios para este producto (Alcusón, 2015) y con el comportamiento de otros productos (Fonseca et al. 2005). El coeficiente respiratorio (RQ), se calculó también usando los valores obtenidos experimentalmente de R_{CO_2} y R_{O_2} :

$$RQ = \frac{R_{CO_2}}{R_{O_2}} \quad (4)$$

En la Figura 9 se muestra la evolución del coeficiente respiratorio y de la presión diferencial con la concentración de oxígeno. El consumo de oxígeno se produce a mayor velocidad que la producción de dióxido de carbono, por lo que el coeficiente respiratorio es menor que 1 en prácticamente todo el intervalo de concentraciones de O₂. Este hecho, es el responsable de que la presión en el interior de la cámara de respiración sea menor que la atmosférica, y que por lo tanto la presión diferencial tome valores negativos, disminuyendo de forma lineal al hacerlo la concentración de oxígeno. Sin embargo, a concentración de oxígeno muy pequeñas (en torno al 1 %) esta tendencia se invierte, el coeficiente respiratorio toma valores mayores de 1 y simultáneamente la presión diferencia deja de disminuir, lo que podría indicar cambios metabólicos y la iniciación de rutas anaeróbicas.

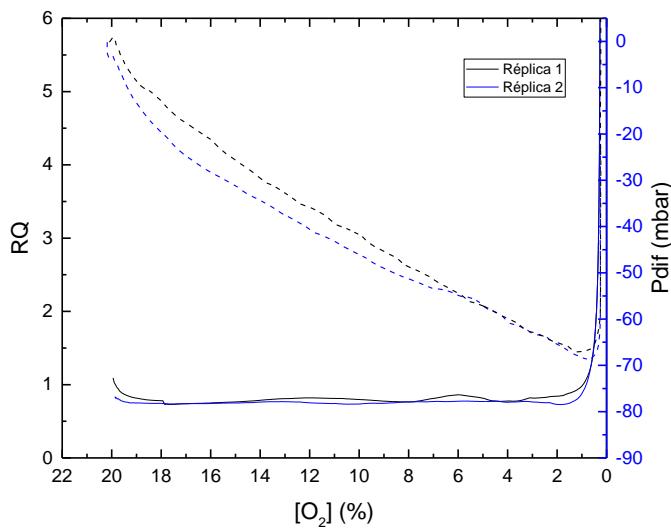


Figura 9. Evolución del coeficiente respiratorio, RQ, y de la presión diferencial, Pdif, con la concentración de oxígeno.

5.2. Calidad de los tallos de borraja durante su conservación

5.2.1. Evolución de los parámetros fisicoquímicos

Composición gaseosa en el interior del envase

La composición gaseosa en el envase control permaneció sin alteraciones durante todo el experimento debido a que estas bolsas contaban con macroperforaciones, lo que permitía sin ningún problema el intercambio gaseoso con la atmósfera exterior, haciendo así que la atmósfera de los controles siempre fuera la misma (21% O₂ y 0% CO₂) como se puede comprobar en la Figura 10. En las bolsas de PLA los tallos de borraja agotaron el O₂ en una semana de almacenamiento en refrigeración, mientras que en las bolsas de PP costó hasta alrededor de 11 días que el nivel de O₂ descendiera a niveles inferiores al 1%. Esto es debido a la menor permeabilidad al O₂ del PLA en comparación con el PP como se puede comprobar en la Tabla 1 de González-Buesa et al., 2014.

Tabla 1. Coeficientes de permeabilidad al CO₂, O₂ y agua en films de PP y PLA

Material	Permeability coefficient		
	CO ₂ ^a	O ₂ ^a	H ₂ O ^b
PLA	30.34 ± 9.07	5.67 ± 1.17	21.86 ± 3.22
PP/PE	113.4 ± 13.8	28.35 ± 4.61	1.08 ± 0.24

^a ×10⁻¹⁸ kg m m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹.

^b ×10⁻¹⁵ kg m m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹.

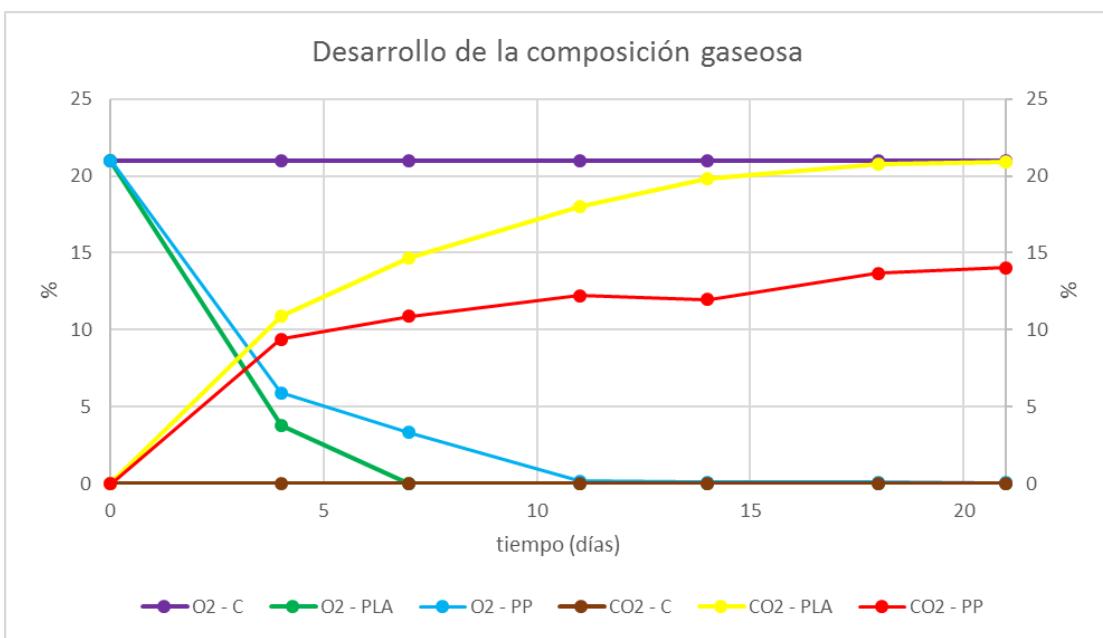


Figura 10. Evolución de la composición gaseosa a lo largo del tiempo en los distintos tipos de envasado para los tallos de borraja mínimamente procesados.

Contenido en humedad

Visualmente se apreciaba con el paso de los días que se iba produciendo una deshidratación de los tallos de borraja en los tres tipos de envase. Sin embargo, cabe destacar como los tallos envasados en PLA sufrieron una deshidratación mucho más severa que los envasados en PP, los cuales apenas perdieron contenido en agua, e incluso más que las muestras control.

Tabla 2. Evolución del contenido de agua de las borrajas durante el periodo de conservación para los diferentes envases.

tiempo (d)	Humedad (g agua/g materia)							
	CONTROL		PP		PLA			
	promedio	sd	promedio	sd	promedio	sd		
t0	0.9649	0.0004	A	a	0.9649	0.0004	A	a
t4	0.9587	0.0033	A	ab	0.9645	0.0006	A	ab
t7	0.9513	0.0017	B	ab	0.9637	0.0005	A	bc
t11	0.9423	0.0019	B	bc	0.9638	0.0007	A	bc
t14	0.9410	0.0049	B	bc	0.9639	0.0000	A	bc
t18	0.9252	0.0132	B	c	0.9632	0.0000	A	c
t21	0.9261	0.0094	B	c	0.9632	0.0000	A	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.

Tal y como se muestra en la Tabla 2, durante los primeros 7 días no se aprecian diferencias significativas ($p<0,5$) entre las muestras. A partir de ese punto, la humedad de las borrajas envasadas en PP es significativamente mayor que en los demás casos. A partir de los 14 d, aparecen diferencias entre las muestras control y las envasadas en PLA. La alta permeabilidad al agua del PLA en comparación con el PP se pone de manifiesto claramente en los resultados obtenidos en este trabajo. Las borrajas envasadas en PLA llegan a perder un 5,7 % de peso. Algunos autores como Aharoni et al. (2007) y Mahajan et al. (2008), establecieron que el límite de aceptación de un producto en función de la pérdida de peso era del 5 %. Son muchos los autores que resaltan la importancia del envasado adecuado para la retención de la humedad del producto (Oliveira et al., 2012; Martínez-Sánchez et al., 2011; Sanz et al., 2007).

Color

El mantenimiento del color propio del producto fresco es uno de los aspectos más valorados por el consumidor en la aceptabilidad de los vegetales envasados en atmósfera modificada. Por eso es necesario evaluar la evolución del color durante la conservación en refrigeración en los diferentes envases.

Los valores de las coordenadas CIELab de los tallos de borraja se muestran en la Tabla 3 para todos los días de conservación analizados y los tres envases utilizados. Durante el periodo de conservación, los tallos de borraja experimentan una pérdida tanto de luminosidad, que se manifiesta al final de la conservación, como de tonalidad verde característica durante los primeros 4 días, que se traduce en un incremento en la coordenada a^* . Por otra parte, existe una estabilidad en el balance amarillo-azul que muestra la coordenada b^* .

Si se compara el color de las borrajas de los diferentes envases se observa que solamente existen diferencias significativas ($P<0,5$) en las muestras envasadas en PLA. A los 21 días de conservación, las borrajas embolsadas en PLA son menos luminosas que las muestras control o las envasadas en PP, alcanzando la coordenada L^* el valor de 61,51 mientras que en los envases Control y PP se sitúa en 65,00 y 66,71 respectivamente. Además, a partir del día 18, las borrajas en envase de PLA presentan una tonalidad verde menos intensa que las demás, tal y como muestra el valor de la coordenada a^* , que es del -2,67 frente al -3,32 y -3,26 de los envases Control y PP.

Tabla 3. Evolución del color de los tallos de borraja en los diferentes envases.

tiempo (d)	Control											
	L*				a*				b*			
	promedio	sd		promedio	sd		promedio	sd				
0	68.32	3.29	A	a	-4.21	0.75	A	a	17.55	2.50	A	a
4	67.39	3.68	A	a	-3.29	0.61	A	b	15.58	1.76	A	b
7	67.29	3.93	A	ab	-3.39	0.92	A	b	17.09	2.21	A	a
11	67.49	3.63	A	a	-3.39	0.98	A	b	16.76	2.50	A	ab
14	66.27	4.18	A	ab	-3.20	1.05	A	b	17.58	2.99	AB	a
18	66.92	3.81	A	ab	-3.39	1.18	A	b	17.69	2.26	A	a
21	65.00	3.96	A	b	-3.32	0.91	A	b	17.78	2.50	A	a
PP												
tiempo (d)	L*				a*				b*			
	promedio	sd		promedio	sd		promedio	sd				
0	68.32	3.29	A	ab	-4.21	0.75	A	a	17.55	2.50	A	a
4	68.54	3.13	A	a	-3.41	0.96	A	b	15.95	2.69	A	b
7	66.89	4.40	A	ab	-3.38	0.94	A	b	16.64	2.35	A	ab
11	66.18	4.42	A	b	-3.32	0.96	A	b	16.92	1.99	A	ab
14	66.45	3.12	A	ab	-3.09	0.85	A	b	16.53	1.85	B	ab
18	67.70	4.37	A	ab	-3.27	0.70	A	b	16.66	2.24	B	ab
21	66.71	3.68	A	ab	-3.26	0.96	A	b	17.26	2.15	A	ab
PLA												
tiempo (d)	L*				a*				b*			
	promedio	sd		promedio	sd		promedio	sd				
0	68.32	3.29	A	a	-4.21	0.75	A	a	17.55	2.50	A	ab
4	66.87	3.90	A	ab	-3.43	0.84	A	b	16.25	1.80	A	a
7	68.26	3.76	A	a	-3.34	1.57	A	b	16.16	2.92	A	a
11	66.86	3.17	A	ab	-3.24	0.81	A	b	17.49	2.02	A	ab
14	65.08	5.49	A	b	-2.67	1.99	A	b	17.82	2.44	A	b
18	66.00	5.00	A	ab	-2.67	1.52	B	b	16.23	1.98	B	a
21	61.51	5.09	B	c	-1.61	2.37	B	c	17.37	2.18	A	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.

En la bibliografía se ha descrito el descenso de la coordenada de color a^* durante la conservación de borraja mínimamente procesada asociada al pardeamiento de las muestras, encontrándose una correlación entre la evolución de dicha coordenada de color y la concentración de oxígeno en los diferentes envases (Giménez et al., 2003).

Al final del periodo de conservación se observó la aparición de algunos tallos pardeados en las bolsas envasadas con PLA (ver Figura 11). Aunque el color de las borrajas haya cambiado en todas las condiciones respecto a los valores a tiempo cero, las borrajas envasadas en PP y las muestras control presentan un aspecto aceptable para su comercialización (según apreciación subjetiva, puesto que no se ha realizado un ensayo de aceptabilidad mediante análisis sensorial).



Figura 11. Borrajas a día 21 de conservación a 4 °C. Envasadas en PLA (imagen superior izquierda), en PP (imagen superior derecha) y control (imagen inferior).

Textura

En la Tabla 4 se muestra la evolución de la turgencia de los tallos de borraja en los diferentes envases determinada a partir del test de pandeo y cuantificada mediante la resistencia a la flexión. En todos los envases se produce 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 (tiempos mayores de 11 d) se produce un descenso de la resistencia a la flexión que refleja un ablandamiento del tallo debido a un incremento de su deterioro. Este ablandamiento no se aprecia en las muestras envasadas en PLA ni en las envasadas con PP. Esto indica que sobre la textura influye notablemente la atmósfera de envasado. Las muestras control permanecen durante todo el envasado en una atmósfera similar a la del aire, mientras que los otros envases tienen una concentración de O₂ al final de la conservación menor del 1 % y de CO₂ mayor del 10 %. Aunque en un principio podría pensarse que la alta permeabilidad al vapor de agua del PLA repercutiría negativamente en el mantenimiento de la turgencia de la borraja al sufrir una mayor deshidratación, la acción protectora de la atmósfera de envasado contrarresta este efecto. Puesto que la borraja es un producto que se consume cocinado (normalmente hervido), estas modificaciones en la textura no son indicativo de los atributos sensoriales del producto final, pero cuando son consecuencia de la presencia en los envases de tallos deteriorados pueden limitar la adquisición del producto por apreciación visual del mismo.

Estos resultados difieren a los obtenidos en otros productos como el apio. (González-Buesa et al., 2014), en cuyo caso sí que se encontraron diferencias significativas entre las muestras envasadas en PLA y las envasadas en PP.

Tabla 4. Evolución de la turgencia de los tallos de borraja en los diferentes envases medida como resistencia a la flexión.

tiempo (d)	Resistencia a la flexión (MPa)								PLA			
	CONTROL				PP				PLA			
	<i>promedio</i>	<i>sd</i>		<i>promedio</i>	<i>sd</i>		<i>promedio</i>	<i>sd</i>		<i>promedio</i>	<i>sd</i>	
<i>t</i> 0	0.63	0.17	A	ab	0.63	0.17	A	a	0.63	0.17	A	a
<i>t</i> 4	0.79	0.29	A	bc	0.73	0.26	A	ab	0.71	0.25	A	ab
<i>t</i> 7	0.74	0.23	A	abc	0.81	0.23	A	b	0.74	0.25	A	ab
<i>t</i> 11	0.82	0.24	A	c	0.81	0.27	A	b	0.84	0.22	A	b
<i>t</i> 14	0.74	0.23	A	abc	0.73	0.24	A	ab	0.73	0.28	A	ab
<i>t</i> 18	0.63	0.25	A	a	0.80	0.24	B	ab	0.75	0.30	B	ab
<i>t</i> 21	0.65	0.26	A	a	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.

5.5.2. Evolución de parámetros nutricionales

Capacidad antioxidante

El valor de capacidad antioxidante de las muestras de borraja al inicio del experimento fue de 744 mg Trolox/100 g materia seca. Las borrajas envasadas en PP mantienen esta capacidad antioxidante durante los 21 días de conservación. Sin embargo, en los otros envases, se produce una pérdida de la capacidad antioxidante. El mayor descenso se da en las muestras envasadas en PLA, que al cuarto día del experimento ya mostraba diferencias significativas sobre el resto de envasados. En el caso del PLA vemos como la capacidad antioxidante se ve reducida a la mitad entre los días 11 y 14, algo que no ocurre en las muestras Control hasta el día 18 y que, en el caso del PP, no solo no llega a ocurrir, sino que el valor obtenido el último día del experimento es 734 mg Trolox/100 g materia seca, un valor sin diferencia significativa con respecto al valor inicial. Si se compara el valor de la capacidad antioxidante el último día del experimento con el inicial, nos encontramos con una reducción del 65% en los tallos de borraja que se encontraban en PLA y una reducción de alrededor un 50% en las muestras control (Tabla 5).

Tabla 5. Evolución de la capacidad antioxidante de las borrajas en los diferentes envases.

tiempo (d)	Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 g DM)											
	CONTROL				PP				PLA			
	<i>promedio</i>	<i>sd</i>	<i>promedio</i>	<i>sd</i>	<i>promedio</i>	<i>sd</i>	<i>promedio</i>	<i>sd</i>	<i>promedio</i>	<i>sd</i>		
<i>t0</i>	753	15	A	a	744	15	A	a	744	15	A	a
<i>t4</i>	759	19	A	a	751	20	A	a	560	28	B	b
<i>t7</i>	408	29	B	b	747	127	A	a	520	66	B	bc
<i>t11</i>	398	23	B	b	656	46	A	a	424	17	B	cd
<i>t14</i>	452	47	B	b	747	164	A	a	308	33	B	e
<i>t18</i>	383	44	B	b	714	72	A	a	361	22	B	de
<i>t21</i>	414	66	B	b	734	129	A	a	259	62	B	e

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

La disminución de la capacidad antioxidante durante la conservación en refrigeración es un fenómeno normal que se produce en los productos vegetales. Y aunque el envasado en atmósferas modificadas reduce estas pérdidas, sobre todo si se aplica una atmósfera activa con niveles bajos de oxígeno (Serrano et al., 2006), en muchos casos de productos mínimamente procesados se describe un descenso de la capacidad antioxidante durante su conservación, asociado al estrés oxidativo que se produce en el producto al causarle una alteración durante el procesado (Lana y Tijskens, 2006; Gil et al., 1999).

Contenido en compuestos fenólicos totales

La conservación del contenido en compuestos fenólicos es importante puesto que aportan valor nutricional al producto. La evolución del contenido en compuestos fenólicos totales es similar a la de la capacidad antioxidante puesto que la capacidad antioxidante de los productos vegetales depende de los compuestos fenólicos totales y de otros compuestos bioactivos, como los flavonoides, ácidos fenólicos, aminoácidos, ácido ascórbico, tocoferoles y otros pigmentos (Kenny y O’Bernie, 2010; Oms-Oliu et al., 2008). La cantidad de compuestos fenólicos totales el día de procesado fue de 319 mg GAES/100 g materia seca. Los tallos de borraja envasados en PLA reducen a la mitad su contenido en compuestos fenólicos en el cuarto día del experimento, una disminución que no se da en el caso de los envases de PP y que en las muestras control no se alcanza hasta los días finales del experimento. A la vista de los resultados recogidos en la Tabla 6 podemos decir que los tallos de borraja envasados en PLA reducen drásticamente su contenido en compuestos fenólicos, alcanzando casi un 70% de pérdidas. Las muestras control llegan a tener unas

pérdidas en torno a un 50%, y los tallos de borraja envasados en PP no experimentan ningún descenso significativo con respecto al tiempo desde el primero hasta el último día ($p<0,05$). Aunque en la bibliografía la mayoría de los datos indican que una concentración baja de oxígeno favorece el mantenimiento de la concentración de compuestos fenólicos (Alcusón, 2015), en este estudio esto es así para las borrajas envasadas en PP, pero no para las envasada en PLA, posiblemente derivado de la diferencia en la concentración de vapor de agua en el interior de los dos envases.

Tabla 6. Evolución del contenido en fenoles totales de las borrajas en los diferentes envases.

tiempo (d)	Fenoles totales (mg GAES/100 g DM)							
	CONTROL		PP		PLA			
	promedio	sd	promedio	sd	promedio	sd		
<i>t</i> 0	319	30	A	a	319	30	A	a
<i>t</i> 4	198	49	AB	b	258	13	A	a
<i>t</i> 7	166	70	A	b	287	24	A	a
<i>t</i> 11	148	12	B	b	241	42	A	a
<i>t</i> 14	170	27	B	b	311	40	A	a
<i>t</i> 18	106	14	B	b	313	53	A	a
<i>t</i> 21	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.

6. Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan del estudio llevado a cabo en este Trabajo Fin de Grado son:

- La borraja mínimamente procesada es un producto cuya velocidad de respiración a 4 °C disminuye muy acusadamente cuando la presencia de oxígeno se reduce por debajo del 14%, pasando de velocidades de 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y de 22 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹, en aire, a valores de 7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 8,5 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹. El coeficiente respiratorio, para concentraciones de O₂ mayores del 1%, es menor que uno, indicando un mayor consumo de O₂ que producción de CO₂.
- La evolución de la composición gaseosa en el interior de los envases de PP y PLA siguió la tendencia esperada teniendo en cuenta la menor permeabilidad al O₂ y al CO₂ del PLA.
- Los tallos de borraja envasados en PLA sufren una mayor deshidratación que aquellos envasados en PP, e incluso que los tallos envasados en PP macroperforado (considerado como envase control). Debido a la alta permeabilidad al agua del PLA

estos tallos llegan a perder hasta un 5,7% de su peso tras 21 días de almacenamiento en refrigeración.

- Durante la conservación, los tallos de borraja mínimamente procesados sufren ligeros cambios en el color caracterizados por una pérdida de luminosidad e intensidad de la tonalidad verde que los caracteriza. Hasta el día 18 no hay diferencias significativas ($p>0,05$) entre envases de las coordenadas L* y a*, pero al final del periodo de conservación los tallos envasados el PLA son los que experimentan mayores cambios.
- No hay diferencias en la textura de las borrajas envasadas en PP y PLA. Sin embargo, las muestras control presentan una menor resistencia a la flexión, indicando la influencia de la composición gaseosa en la textura del producto.
- Mientras que la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales de las muestras envasadas en PP no sufre cambios significativos a lo largo de los 21 días de conservación en frío, las muestras envasadas en PLA reducen su capacidad antioxidante a la mitad entre los días 11 y 14, alcanzando al final una reducción de hasta el 65%, con una disminución del 70% en el contenido en compuestos fenólicos.

Por todo lo cual se puede concluir que, los tallos de borraja mínimamente procesados si se envasasen con PLA en vez de usar PP, a pesar de experimentar cierta deshidratación, durante los primeros 18 días de conservación, el color y la textura de ambos productos serían similares. Sin embargo, las pérdidas nutricionales de los tallos envasados en PLA en cuanto a capacidad antioxidante y contenido en fenoles totales desaconsejan su utilización ya que el envasado en PP preserva mejor el valor nutricional de este producto.

Conclusions

The main conclusions deriving from the study carried out in this Final Degree Project are:

- Minimally processed borage is a product whose breathing speed at 4 °C decreases very sharply when the presence of oxygen is reduced below 14%, going from speeds of 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ and 22 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹, in air, to values of 7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ and 8.5 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹. The respiratory coefficient, for O₂ concentrations higher than 1%, is less than one, indicating a higher consumption of O₂ than CO₂ production.
- The evolution of the gaseous composition inside the PP and PLA packages followed the expected trend taking into account the lower permeability to O₂ and CO₂ of the PLA.
- Borage stems packed in PLA suffer greater dehydration than those packed in PP, and even than stems packed in macroperforated PP (considered as control packaging). Due to the high water permeability of the PLA, these stems lose up to 5.7% of their weight after 21 days of refrigerated storage.
- During conservation, the minimally processed borage stems have slight changes in colour, characterised by a loss of luminosity and intensity of the characteristic green tonality. Until the 18th there are no significant differences ($p>0.05$) between the L* and a* coordinates, but at the end of the conservation period the PLA packaged stems undergo the greatest changes.
- There are no differences in the texture of borage packaged in PP and PLA. However, the control samples present a lower resistance to bending, indicating the influence of the gaseous composition on the texture of the product.
- While the antioxidant capacity and total phenol content of samples packed in PP do not have significant changes over the 21 days of cold storage, samples packed in PLA reduce their antioxidant capacity by half between days 11 and 14, ultimately reaching a reduction of up to 65%, with a 70% decrease in the phenolic compound content.

Therefore, it can be concluded that the borage stems minimally processed if they were packed with PLA instead of using PP, despite experiencing some dehydration, during the first 18 days of conservation, the color and texture of both products would be similar. However, the nutritional losses of the stems packed in PLA in terms of antioxidant capacity and total phenol content, discourage its use as the PP packaging better preserves the nutritional value of this product.

7. Valoración personal. Aportaciones en materia de aprendizaje

La realización de este Trabajo Fin de Grado ha supuesto un importante paso más en mi formación universitaria, ya que he podido comprobar de primera mano cómo es el trabajo de una persona que se dedica a la investigación. Gracias a mis tutores, he aprendido la manera en la que se plantea un experimento, marcando los objetivos y los caminos para llegar a ellos y buscando las metodologías y formas de trabajo más adecuadas para su consecución. Además, al tener que pasar tanto tiempo en el laboratorio, he llegado a desarrollar cierta independencia que, por motivos lógicos, no se llega a obtener durante las prácticas a lo largo de la carrera. He tenido la oportunidad de profundizar e interiorizar, con ejemplos prácticos, aspectos relacionados con varias asignaturas en temas como estadística, análisis físico y químico de los alimentos y tecnología de productos vegetales.

También ha sido importante el aprendizaje en cuanto a interpretar resultados, averiguando las causas de los posibles fallos en la experimentación, para posteriormente encontrar y aplicar soluciones. Una vez obtenidos los resultados, uno de los retos ha sido, además de obtener conclusiones, plasmarlos en la memoria de forma clara y ordenada.

Este trabajo me ha ayudado a reforzar mis habilidades de búsqueda y de análisis de información correcta y veraz sobre un tema concreto, a desenvolverme en búsquedas bibliográficas en inglés y a citar correctamente toda la información obtenida.

8. Bibliografía

Aharoni, N., Rodoy, V., Fallik, E., Afek, V., Chalupowicz, D., Aharon, Z. (2007). "Modified atmosphere packaging for vegetable crops using high water-vapour permeable films". *C. L. Wilson, Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*, 73-112. DOI: 10.1201/9781420008678.ch5

Alcusón, G. (2015). *Borraja procesada: Estudio sobre la elaboración de un producto en IV y V Gama*. Doctorado. Universidad de Zaragoza.

Ansah, F.A., Amodio, M.L., Colelli, G. (2018). "Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(10), 3214-3626. DOI: 10.1002/jsfa.8885

Barret, D. (1996) "Special treatments to maintain product quality. 2p. Fresh-cut products: Maintaining quality and safety". *Postharvest Horticulture Series N° 10*. Universidad de California.

Bolin, H.R., Stafford, A.E., King, A.D., Huxsoll, C. C. (1997). "Factors affecting the storage stability of shredded lettuce". *Journal of food science*, 42(5), 1319-1321. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1977.tb14487.x

Brown, W.E. (1992). *Plastics in Food Packaging*, New York, USA, Marcel Dekker.

Castro-Ibáñez, I., Gil, M.I., Allende, A., (2017). "Ready-to-eat vegetables: Current problems and potential solutions to reduce microbial risk in the production chain". *LWT - Food Science and Technology* 85, 284-292. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.073

Deza-Durand, K.M., Agerlin Petersen, M. (2011). "The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Latuca sativa L.*)". *Postharvest Biology and Technology*, 61, 83-90. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.02.011

Escobar Hernández, A., Márquez Cardozo, C.J., Restrepo Flórez, C.E., Pérez Córdoba, L.J. (2014). "Aplicación de tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados". *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(1), 7237-7245. DOI:10.15446/rfnam.v67n1.42652

Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Brecht, J.K., Chau, K.V. (2005). "Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development of modified atmosphere packages". *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), 279-292. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2004.08.007

Food Safety Authority, of Ireland (2001) *Code of practice for food safety in the fresh produce supply chain in Ireland* / Food Safety Authority of Ireland.

Forrest, V.J., Kang, Y.H., McClain, D.E., Robinson, D.H., Ramakrishnan, N. (1994). "Oxidative stress-induced apoptosis prevented by Trolox". *Free Radical Biology and Medicine*, 16(6), 675-684. DOI: 10.1016/0891-5849(94)90182-1

Ghidelli, C., Pérez-Gagoa, M.B. (2018) "Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58(4), 662–679. DOI: 10.1080/10408398.2016.1211087

Gil, M.I., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F.A. (1999). "Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach". *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 47(6), 2213-2217. DOI: 10.1021/jf9812001

Gil, M.I., Tomás-Barberán, F.A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D.M., Kader, A.A. (2000). "Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing". *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(10), 4581-4589 DOI: 10.1021/jf000404a

Giménez, M., Olarte, C., Sanz, S., Lomas, C., Echávarri, J.F., Ayala, F. (2003). "Influence of packaging films on the sensory and microbiological evolution of minimally processed borage (*Borago officinalis*)". *Journal of Food Science*, 68(3), 1051-1058. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb08286.x

González-Buesa, J., Page, N., Kaminski, Ch., Ryser, E.T., Beaudry, R., Almenar, E. (2014). "Effect on non-conventional atmospheres and bio-based packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes*-inoculated fresh-cut celery (*Apium graveolens L.*) during storage". *Postharvest Biology and Technology*, 93, 29-73. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2014.02.005

González-Buesa, J., Salvador, M.L. (2019). "An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables". *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 14-20. DOI: 10.1016/j.compag.2019.03.029

Kenny, O., O'Beirne, D. (2010). "Antioxidant phytochemicals in fresh-cut carrot disks as affected by peeling method". *Postharvest Biology and Technology*, 58(3), 247-253. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2010.07.012

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 Application: Preparation and Properties". *Food Engineering Reviews*, 10(3), 139-153. DOI:10.1007/s12393-018-9180-3

Kirwan, M.J., Strawbridge, J.W. (2003). *Plastics in food packaging. Food Packaging Technology*, 174-240.

Lana, M.M., Tijskens, L. M. M. (2006). "Effect of cutting and maturity on antioxidant activity of fresh-cut tomatoes". *Food Chemistry*, 97(2), 203-11. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.03.037

León, K., Mery, D., Pedreschi, F., León, J. (2006). "Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images". *Food Research International*, 39(10), 1084-1091. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.03.006

Llorach, R., Tomás-Barberán, F.A., Ferreres, F. (2004). "Lettuce and Chicory Byproducts as a Source of Antioxidant Phenolic Extracts". *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(16), 5109-5116 DOI: 10.1021/jf040055a.

Mahajan, P.V., Oliveira, F.A., Macedo, L., (2008). "Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms". *Journal of Food Engineering*. 84(2), 281-288. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.05.021

Martínez-Hernández, G.B., Navarro-Rico, J., Gómez, P.A., Otón, M., Artés, F., Artés-Hernández, F. (2015). "Combined sustainable sanitising treatments to reduce *Escherichia coli* and *Salmonella Enteritidis* growth on fresh-cut kailan-hybrid broccoli". *Food Control*, 47, 312-317. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.07.029

Martínez-Sánchez, A., Tudela, J.A., Luna, C., Allende, A., Gil, M.I. (2011). "Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine". *Postharvest Biology and Technology*. 59(1), 34-42. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2010.07.005

Meireles, A., Giaouris, E. y Simoes, M. (2016). "Alternatice desinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry". *Food Research International*, 82, 71-85. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.01.021

Nieuwenhuijsen, M.J., Toledoano, M.B., Elliot, P. (2000). "Uptake of chlorination desinfection by-products; a review and a discussion of its implications for exposure assessment in epidemiological studies". *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 10, 586-599. DOI: 10.1038/sj.jea.7500139

Oliveira, F., Sousa-Gallaher, M.J., Mahajan, P.V., Teixeira, J.A. (2012). "Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms". *Journal of Food Engineering*, 108(4), 507-514. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.09.025

Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., Viñas. (2015). "Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables-A review". *Trends in food science and technology*, 46(1), 13-26. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.07.017

Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M.A., Alandes González, L., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando Hernando, M.I., Pérez Munuera, I., Fiszman, S., Martín-Belloso, O. (2010). "Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review". *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2010.04.001

Organización Mundial de la Salud (2008). *WHO European Action Plan for Food and Nutrition 2007/2012*. Disponible en: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0017/74402/E91153.pdf

Petersen, K., Vaeggemose Nielsen, P., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H., Mortensen, G. (1999). "Potential of biobased materials for food packaging". *Trends in Food Science & Technology*, 10(2), 52-68. DOI: 10.1016/s0924-2244(99)00019-9

Priepke, P.E., Wei, L.S., Nelson, A.I. (1976). "Refrigerated storage of prepackaged salad vegetables". *Journal of Food Science*, 41(2), 379-382. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1976.tb00624.x

Qadri, O.S., Yousuf, B., Srivastava, A.K. (2015). "Fresh-cut fruits and vegetables: Critical factors influencing microbiology and novel approaches to prevent microbial risks-A review". *Cogent Food & Agriculture*, 1(1) DOI: 10.1080/23311932.2015.1121606.

Robertson, G.L. (2012). *Food packaging: Principles and practices*. CRC Press., Boca Raton, USA.

Sanz, S., Olarte, C., Echávarri, J.F., Ayala, F. (2007). "Influence of exposure to light on the sensorial quality of minimally processed cauliflower". *Journal of Food Science*, 72(1), S12-S18. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2006.00228.x

Serrano, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D. (2006). "Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging". *Postharvest Biology and Technology*, 39 (1), 61-68. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2005.08.004

Sinclair, R.G. (1996). "The Case for Polylactic Acid as a Commodity Packaging Plastic". *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 33(5), 585-597. DOI: 10.1080/10601329608010880

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. (1999). "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and atioxidants by mean of folin-ciocalteu reagent". *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. DOI: 10.1016/s0076-6879(99)99017-1

Sorrentino, A., Gorrasi, G., Vittoria, V. (2007). "Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications". *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 84-95. DOI: 10.1016/j.tifs.2006.09.004

Terrádez, M., Juan, A.A. (2003). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. [En línea]. Disponible en: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/ANOVA.pdf>. [Último acceso: 07 09 2019].

Wilson, W.D., Stanley, R.A., Eyles, A., Roos T. (2019). “Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables”. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-12. DOI: 10.1080/10408398.2017.1375892