

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS



**La influencia del almacenamiento y envasado sobre los
parámetros de calidad físico-químicos del brócoli
(*Brassica oleracea*,L)**

TRABAJO FIN DE GRADO

SEPTIEMBRE-2016

Autor: Javier Esteban Cano.

Tutor/es: Estefanía Valero Cases.

María José Frutos Fernández.

El trabajo fin de grado titulado La influencia del almacenamiento y envasado sobre los parámetros de calidad fisicoquímicos del brócoli (*Brassica oleracea*,L) se ha realizado en el marco del proyecto de investigación RTA201200062C0404 “ Evaluación de parámetros de calidad y seguridad de la producción agroalimentaria para su estimación mediante técnicas ópticas no destructivas durante su procesado y manipulación (ANADACSA), financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) que cuenta con la cofinanciación con fondos FEDER y que se realiza en el Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Universidad Miguel Hernández de Elche en el periodo 2013-2016.2.



La influencia del almacenamiento y envasado sobre los parámetros de calidad físico-químicos del brócoli (*Brassica oleracea*,L)

Resumen: El brócoli (*Brassica oleracea*, L) es altamente perecedero tras su recolección, por lo que en la actualidad diversos estudios se centran en determinar las condiciones idóneas para mantener sus parámetros de calidad. El objetivo de este trabajo ha sido determinar los cambios de color, pH, concentración de sólidos solubles, % ácido cítrico y concentración de ácidos y azúcares. El experimento se ha llevado a cabo en unas muestras control sin filmar (SFC) y otras muestras filmadas (C/F) con poliolefina, ambas muestras se almacenaron en refrigeración a 0° C durante 21 días. Los resultados han demostrado que el uso de poliolefina no mantiene los parámetros fisicoquímicos de calidad del brócoli durante su almacenamiento, ya que las muestras C/F han presentado una reducción del ácido ascórbico, % de ácido cítrico, sólidos solubles totales y un aumento del pH. Por el contrario, las muestras CSF mantienen estable el pH, % ácido cítrico, ácido ascórbico y sólidos solubles totales. En cuanto a los azúcares presentan los mismos cambios ambas muestras CSF y C/F.

PALABRAS CLAVE : HPLC, pH, CIELAB, ácidos y azúcares.

The influence of the storage and packaging on the parameters of physico-chemical quality of broccoli (*Brassica oleracea* , L)

Abstract: Broccoli (*Brassica oleracea*, L) is highly perishable after harvest, so now many studies focus on determining the right conditions to maintain their quality parameters. The aim of this study was to determine the changes in color, pH, concentration of soluble solids,% citric acid and concentration of acids and sugars. The experiment was carried out on samples without filming Control (SFC) and other filmed samples (C / F) with polyolefin, both samples were stored refrigerated at 0 ° C for 21 days. The results have shown that the use of polyolefin maintains the physiochemical quality parameters broccoli during storage, since the samples C / F presented a reduction of ascorbic acid,% citric acid, total soluble solids and pH increase . Conversely, the CSF samples remain stable pH,% total citric acid, ascorbic acid and soluble solid acid. As the sugars exhibit the same changes both samples CSF and C / F.

(KEYWORDS: HPLC, ph., CIELAB, acids and sugars.)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 ORIGEN	6
1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA	6
1.3 VALOR NUTRICIONAL	7
1.4 PRODUCCIÓN MUNDIAL	8
1.4 PRODUCCIÓN EN ESPAÑA	8
1.5 REQUERIMIENTOS DE CULTIVO	10
1.6 VIDA ÚTIL (ALMACENAMIENTO).....	10
1.7 AZUCARES.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS PARCIALES	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 MATERIAL VEGETAL Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.....	14
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	14
3.3 DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LAS PELLAS DE BRÓCOLI.....	14
3.4 PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN.....	15
3.5 DETERMINACIÓN DE PH Y ACIDEZ	15
3.6 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	16
3.7 DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS Y AZUCARES	16
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1 RESULTADOS COLOR.....	18
4.2 PH Y ACIDEZ TITULABLE	19
4.3 ÁCIDOS ORGÁNICOS	20
4.4 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	21
4.5 AZUCARES.....	22
4.6 FIBRA.....	23
5. CONCLUSIONES.....	24
6. BIBLIOGRAFIA.....	25

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Origen

El brócoli (*Brassica oleracea*, L) proviene del mediterráneo oriental y se introdujo en Europa, en concreto en Italia en tiempos medievales, más tarde se comenzó a cultivar en otras partes de Europa y América (Gray, 1982)

En la actualidad esta planta es muy conocida ya que hay diversidad de estudios que demuestran su alto contenido en ingredientes funcionales pudiendo aportar beneficios para la salud del consumidor (Peter. K, 2011).

1.2 Descripción botánica y taxonómica

El brócoli pertenece a la división angiosperma, clase dicotiledónea de la familia crucífera, género *Brassica*, especie *Oleracea* (Figura 1).

Este vegetal se compone de esquejes voluminosos que sobresalen de axilas foliares formando inflorescencias, generalmente una céntrica de tamaño superior y otras adyacentes. La parte comestible está formada por un grupo de yemas florales, pudiendo originar otras pequeñas adyacentes que salen de las axilas de las hojuelas del brote principal (Ross. C *et al.*, 1967).

El periodo de cosecha se da fundamentalmente en las estaciones de otoño e invierno, su raíz es pivotante con una longitud de hasta 1.20 m, la altura de la planta oscila entre 0.30 y 0.50 m. El color de la pella generalmente es verde con un calibre de 17 a 25 cm. Las flores son de color amarillo con cuatro pétalos en forma de aspa. (Figura 2).



Figura1.Brócoli (*Brassica oleracea*, L)

INTRODUCCIÓN



Figura 2. Brócoli en flor (enmicocinahoy.cl)

1.3 Valor nutricional

En los últimos años el consumo de brócoli y coles ha aumentado debido a sus efectos beneficiosos para la salud. En concreto, el brócoli es un vegetal bajo en calorías, con alto valor nutricional debido a su riqueza en vitaminas, antioxidantes, fitoquímicos (Esturk *et al.*, 2014; Jeffery y Araya, 2009). Además presenta alto contenido en minerales como el calcio, magnesio y fósforo (tabla 1).

Tabla 1. Información nutricional por cada 100g de brócoli (Nutricia 2016)

Agua	89.7
Kcal	21
Proteínas	3.3
Hidratos de carbono	2.8
Grasa	0.2
Fibra	3
Sodio (mg)	13
Potasio (mg)	464
Magnesio (mg)	24
Calcio (mg)	105
Fosforo (mg)	82
Hierro (mg)	1.3

INTRODUCCIÓN

Debido a todas las propiedades que posee y al interés que ha despertado en los consumidores, su producción en estos últimos años ha ido en aumento.

1.4 Producción Mundial

Los principales productores de brócoli a nivel mundial (Figura 3) son China, con una producción de 9 millones de toneladas y la India con una producción de 7.8 millones de toneladas, en tercer lugar se encuentra España con una producción de 541 mil toneladas, seguido de México e Italia con una producción de 481 mil y 381 mil toneladas respectivamente.

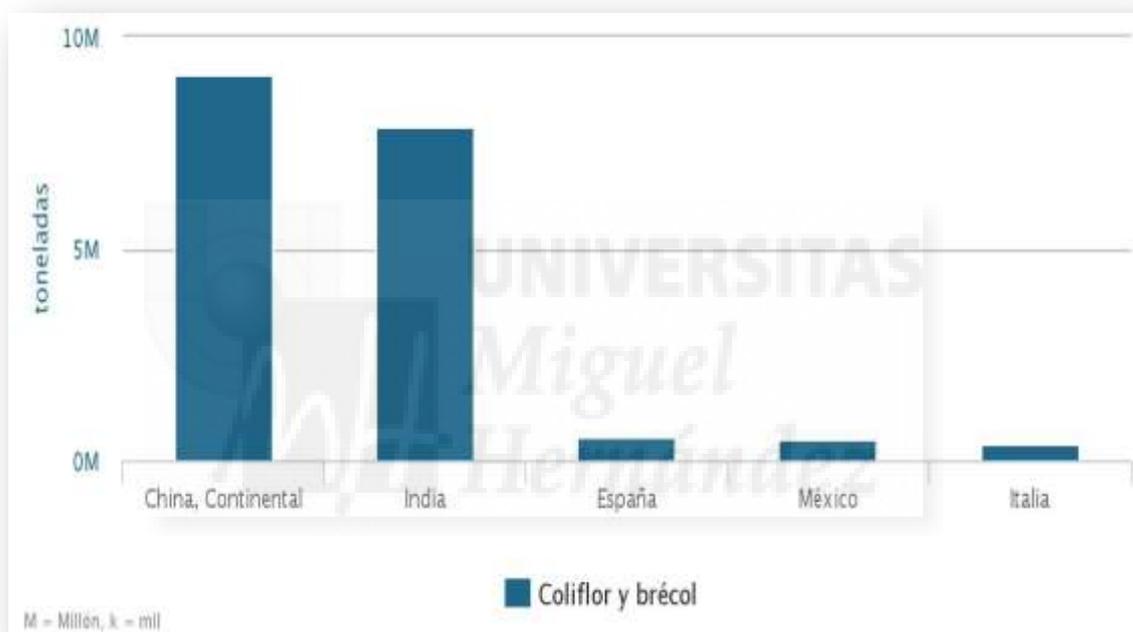


Figura 3. Producción de brócoli y coliflor en el mundo. (FAO 2013)

1.4 Producción en España

En los últimos años el brócoli es el cultivo hortícola que más se ha desarrollado en España, (Figura 4) pasando de ser un desconocido a ser la hortaliza con una mayor tasa de desarrollo, sobre todo en Murcia. (Figura5). La gran mayoría de la producción de brócoli se destina a la exportación, siendo Murcia la principal provincia exportadora con un 68% del total. (Proexport 2009)

INTRODUCCIÓN

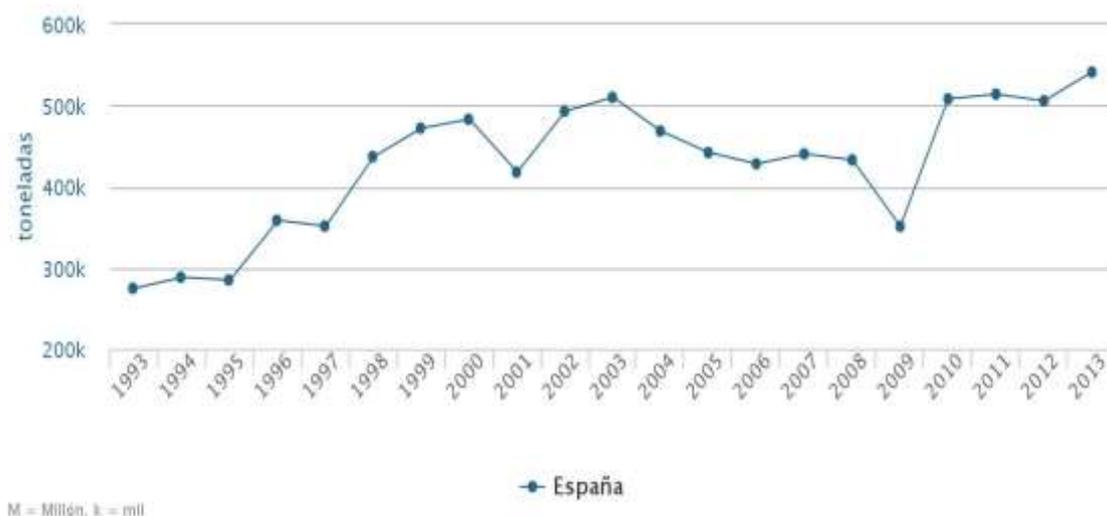


Figura 4. Gráfica producción de brócoli en España (FAO, 2013)

Reino Unido es el principal destino de las coles (brócoli, coliflor, repollo, picuda, saboya o colirrábano, entre otros) exportadas desde España. El segundo destino es Alemania, con un 18%, sucedido por Países Bajos y Francia, con el 12 y el 13 % respectivamente. (Hortoinfo 2016).

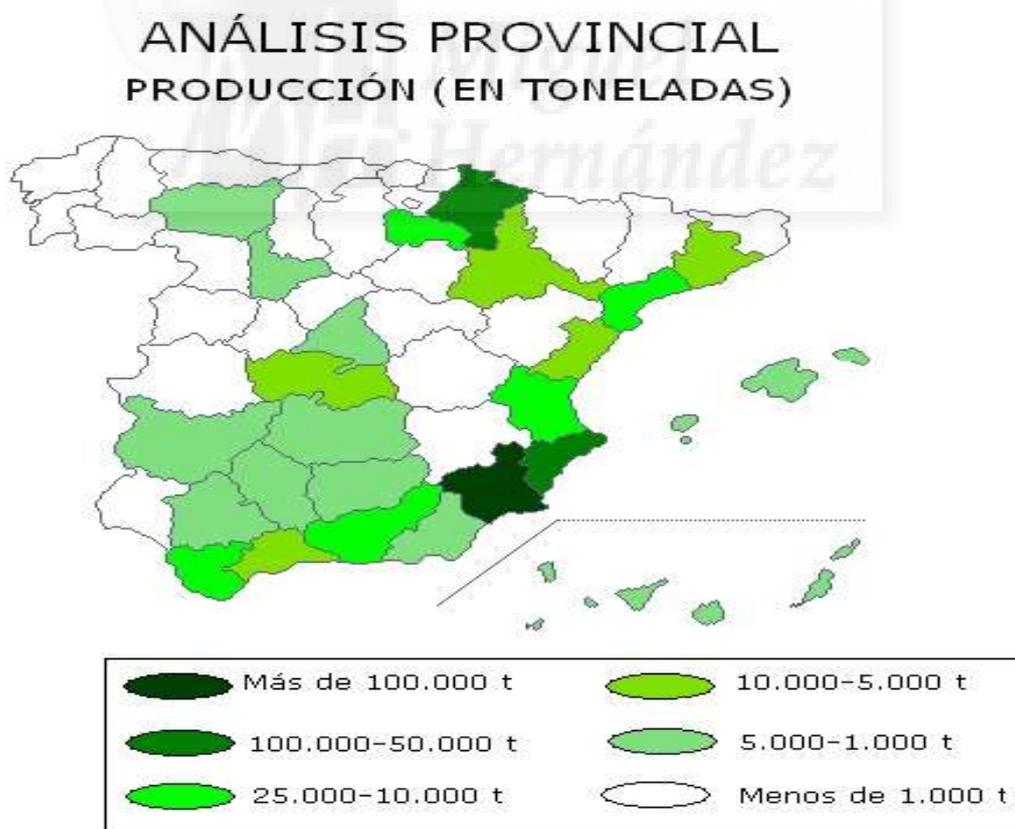


Figura 5: Distribución geográfica de España en producción de Brócoli. (MARM 2008)

INTRODUCCIÓN

1.5 Requerimientos de cultivo

El brócoli es una planta rigurosa que demanda suelos fértiles y con elevada materia orgánica. Los suelos deben ser hondos, terrenos sueltos y de firmeza media para evitar encharcamientos. Es una planta sensible a la carencia de calcio, boro y magnesio. El brócoli es exigente en cuanto al contenido de potasio y azufre y no soportan bien suelos salinos, con un pH 6.5 y 7.5. Para el desarrollo óptimo y para el crecimiento floral las temperaturas deben oscilar entre 15-18 ° C. (Ordás, A *et al.*, 2001; Japón Quintero, J *et al.*, 1986).

1.6 Vida útil (almacenamiento)

El brócoli recién cosechado es altamente perecedero, cuando se mantiene a temperatura ambiente tras la cosecha presenta una senescencia muy rápida (Nishikawa *et al.*, 2005). En cambio, cuando se almacena a 0 °C, su vida útil se puede aumentar de 21 a 28 días (Jacobsson *et al.*, 2004).

La vida útil postcosecha del brócoli está condicionada por su alta tasa metabólica, la susceptibilidad al etileno así como la pronta pérdida de agua, ablandamiento y la degradación de la clorofila (Forney., *et al* 2003; Jones., *et al* 2006).

Los pigmentos de clorofila son responsables del color verde del brócoli, estas clorofilas pueden sufrir alteraciones durante el almacenamiento produciendo cambios de color, pasando de color verde a un color marrón oliva, típico de feofitina (Martins y Silva, 2002). Estos cambios de coloración en las pellas del brócoli reducen la aceptación por parte del consumidor a nivel comercial (Xu, 2016). Debido a que el color es el primer atributo que va a percibir el consumidor del alimento y por tanto, juega un papel fundamental a la hora de tomar la decisión de compra, es por esto importante que el vegetal mantenga sus características idóneas el mayor tiempo posible.

Para la determinación de color existen ensayos que nos permiten identificar cambios de color que el ojo humano no percibe, uno de los métodos más conocidos, rápido y no destructivo, es la obtención de las coordenadas CIELAB. Con este método obtenemos los valores de L*, a* y b*.

INTRODUCCIÓN

Estos valores se pueden usar para calcular el croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y el ángulo Hue ($h = \arctan(b^* / a^*) \times 180/3.14$) pudiendo determinar así los cambios de color que ha sufrido el brócoli durante su almacenamiento.

El parámetro L^* indica luminosidad pudiendo variar desde 0% (negro) al 100% (blanco). El ángulo Hue (h) indica el color siendo $0^\circ =$ rojo, $90^\circ =$ amarillo, $180^\circ =$ verde y $270^\circ =$ azul. El valor de croma (C^*) indica la saturación del color (Topcu *et al.*, 2015).

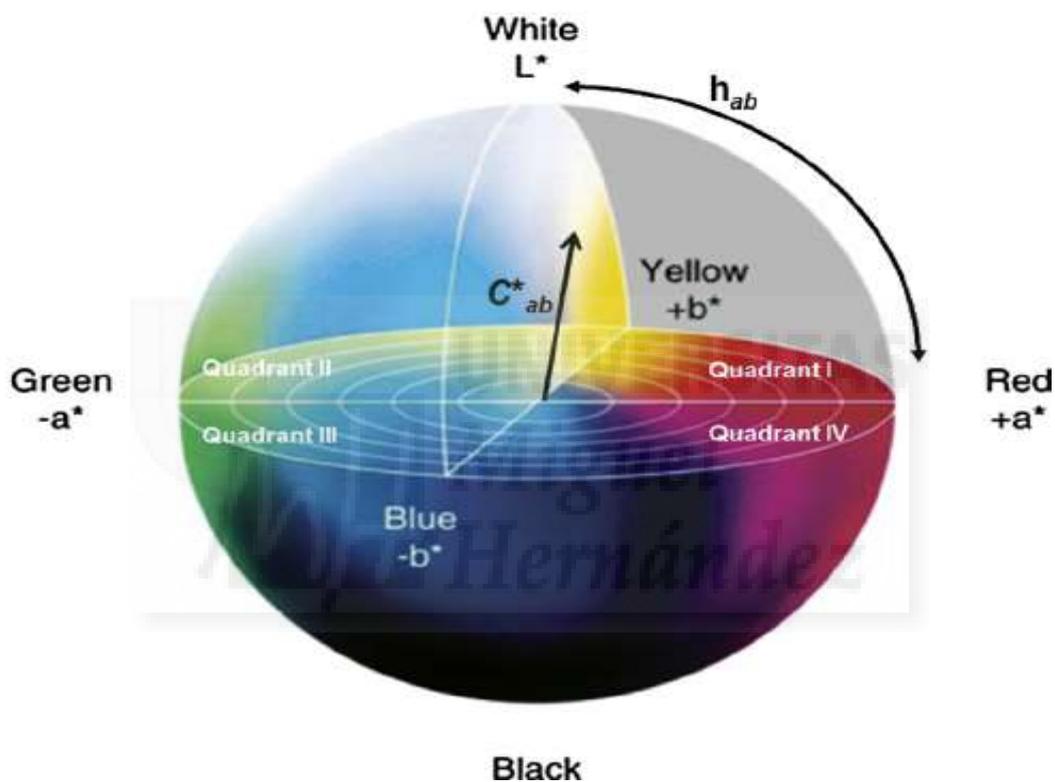


Figura 6: Diagrama de cromaticidad de espacio de color L^*, a^*, b^* (researchgate.net)

Además de las técnicas usadas para prevenir la degradación de color, se usan otras técnicas para intentar conservar el resto de parámetros fisicoquímicos y nutricionales y así prolongar la vida útil del alimento como los que se describen a continuación:

La reducción de la temperatura de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ \text{C}$ es el primer factor a destacar para mantener la calidad del producto, prolongar la vida útil, la frescura y reducir las pérdidas tras la recolección, puesto que de esta manera se consigue ralentizar

INTRODUCCIÓN

la respiración y la producción de etileno. (Makhlouf *et al.*, 1991). Otros tratamientos se basan en el empleo de sacarosa exógena, el uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP), el almacenamiento en atmósfera controlada, agua electrolizada, UV-C luz combinada con el empaquetado de oxígeno superior a la atmosférica y eliminadores de etileno son utilizados para aumentar la vida útil del producto así como para mejorar su valor nutricional (Ansorena *et al.*, 2014; Baclayon., *et al* 2007; Gong y Mattheis., *et al* 2003; Fernández-León., *et al* 2013A, b.; Martínez-Hernández., *et al* 2013.; Cao., *et al* 2015).

El segundo factor es el uso de materiales poliméricos en el envasado que permiten reducir la pérdida de agua manteniendo una alta humedad relativa alrededor del producto, reduciendo el efecto de presión de vapor de agua (Mahajan *et al* 2008; Caleb *et al* 2013A, b.). Sin embargo, estos tratamientos presentan la desventaja o punto crítico, que se da cuando, en condiciones cercanas a la saturación podría producirse la condensación dentro del envase produciendo un aumento acelerado crecimiento microbiano, delgadez, la decadencia y alteraciones fisiológicas inducidas (Caleb *et al*, 2012; Link y Geyer, 2013).

1.7 Azúcares

Los azúcares están implicados en la transducción de señales y la expresión génica en todas las etapas del ciclo de vida de la planta (Smeekens, 2000), esto significa que además de actuar como sustancia energética para mantener el suministro de energía y prolongar la vida útil, pueden actuar de forma similar a las hormonas, detectando e indicando cambios relacionados con la senescencia de los vegetales (Rollan *et al.*, 2002)

En diversos estudios se ha relacionado el aumento de la vida útil poscosecha con un mayor nivel de sacarosa (Clarkson *et al.*, 2005) y también el uso de sacarosa exógena aumenta la vida útil del brócoli (IrvingyJoyce,1995).

La acumulación de sacarosa depende del equilibrio entre su síntesis y degradación.

Por lo que la determinación y cuantificación de este azúcar en el presente estudio será necesaria para determinar dichos cambios.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo principal consiste en evaluar la influencia del almacenamiento, refrigerado y envasado sobre las propiedades físico-químicas del brócoli.

2.2 Objetivos parciales

Para llevar a cabo el objetivo principal del presente trabajo se realizaron las siguientes medidas: color, sólidos solubles, pH, acidez titulable, ácidos orgánicos y azúcares por HPLC.



MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal y condiciones de almacenamiento

Para el desarrollo del trabajo los brócolis (*Brassica oleracea* L. var Itálica cv. Parthenon) se obtuvieron de las plantaciones de la empresa Guiralber Fruit S.L. Los brócolis (60 pellas) fueron recolectados de forma manual en el mes de Marzo y seleccionados de acuerdo al tamaño, color y ausencia de daños físicos y microbiológicos para obtener la mayor uniformidad posible. De las 60 pellas de brócolis, se seleccionaron al azar 30 pellas siendo estas el grupo control (CSF) y las otras 30 fueron filmadas (C/F) en la empresa con un film retráctil Syfan (poliolefina multicapa compuesta por Polietileno U Polipropileno de 25 μm de espesor). Los brócolis CSF y C/F fueron almacenados en cajas diferentes con hielo para ser transportados al laboratorio dentro de las primeras 24 horas de recolección. Una vez en el laboratorio, se almacenaron durante 21 días en las mismas condiciones $0 \pm 1^\circ \text{C}$ y aproximadamente a 95% de humedad relativa.

3.2 Diseño experimental

Las determinaciones y los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios del departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (UMH).

Durante el estudio (abril – junio 2016) cinco pellas de CSF y cinco de C/F se cogieron los días 1, 8, 15 y 21. En cada día de muestreo se realizó la extracción de las diferentes muestras y se determinó el contenido de sólidos solubles totales (%), pH, color, % ácido cítrico. La determinación de ácidos y azúcares se realizó en la última etapa del experimento una vez obtenidas todas las extracciones.

3.3 Determinación del color de las pellas de brócoli

La determinación del color de las pellas de brócolis CSF y C/F se realizaron con un colorímetro Minolta CR-300 Chroma Mether (Osaka, Japón). (Figura 7) usando la escala L^* , a^* , b^* (sistema CIELAB). Los resultados instrumentales de color se expresaron como luminosidad L^* , Chroma: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y ángulo Hue: $H =$

MATERIAL Y MÉTODOS

$\arctan (b^* / a^*) \times 180/3.14$ (Ingrid P. et al., 2015). Todas las mediciones se realizaron por triplicado.



Figura 7: Konica minolta CR-300 Chroma meter w/Dp 301 (onicaminolta.com).

3.4 Procedimiento de extracción

Para la preparación de la extracción se troceó y trituró el brócoli con homogeneizador modelo OSTER (OHB125X) hasta conseguir una pasta homogénea. Posteriormente en una relación 1:1 (p/v), se pesaron 15 g de cada muestra, se añadieron con 15 mL de agua ultrapura y se homogeneizó en ultraturrax (mod. IKA (T18)) durante 2 minutos a 1400 rpm. A continuación la extracción se agitó en un agitador magnético durante 1 hora a 1250 rpm. Pasado este tiempo se llevó a baño ultrasonido (mod. ULTRASON) durante 15 minutos y por último, la muestra se centrifugó (mod. B.BRAUN BIOTECH (C30P)) durante 15 minutos a 15000 rpm. Una vez centrifugada, los sobrenadantes de las diferentes muestras fueron filtrados a través de filtros de politetrafluoroetileno con un tamaño de poro de 0,45 μm y se almacenaron en un viales de 1.5 mL ámbar (mod. PK/100) y se congelaron a -80°C para su posterior análisis de ácidos y azúcares por HPLC. Todas las extracciones se realizaron por triplicado.

3.5 Determinación de pH y acidez

La determinación del pH y acidez, se realizó con un titrador (mod. CRISON PH-MATIC 23) (Figura 8). Para ello, se cogió 1 g de cada extracción (previamente

MATERIAL Y MÉTODOS

preparada) y se añadió 9g de agua destilada. Todas las muestras se analizaron por triplicado y los resultados de acidez fueron expresados como % de ácido cítrico.



Figura 8: Titrador CRISON PH-MATIC 23 (www.crisoninstrument.com)

3.6 Determinación de sólidos solubles totales

La determinación de sólidos solubles totales (%) se realizó con las muestras de brócoli recién trituradas (antes de realizar las extracciones) directamente usando un refractómetro (mod. HANNA (HI 96801) (Figura 9) previamente calibrado antes de cada medida con agua destilada. Todas las muestras se analizaron por triplicado y los resultados se expresaron como sólidos solubles totales.



Figura 9: Refractómetro Hanna HI 9681(hannacolombia.com)

3.7 Determinación de ácidos y azúcares

La identificación y cuantificación de azúcares y ácidos orgánicos en todos los brócolis (CSF y C/F) se analizaron simultáneamente por cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) usando un equipo Hewlett-Packard HPLC serie 1100 (Woldbronn, Alemania) (Figura 10) equipado con una columna Supelcogel C-610H (30 cm x 7,8

MATERIAL Y MÉTODOS

mm) y una pre-columna Supelcoguard C-610H (5 cm x 4,6 mm) (Supelco, Sigma, Madrid, España). Los ácidos se midieron a 210 nm en ultravioleta-visible (UV-VIS) con detector de diodos (DAD G1315A). Para los azúcares se utilizó un detector de índice de refracción (G1362A RID). Como fase móvil se utilizó ácido ortofosfórico al 0.1% con un volumen de inyección de 10 µl y la velocidad de flujo de a 0.5 mL / min en condiciones isocráticas. Las concentraciones se calcularon a través de curvas de calibración con los patrones para los azúcares (inulina, glucosa, fructosa sacarosa), y ácidos orgánicos (ascórbico, málico, cítrico, tartárico y furámico). (Sigma; Madrid, España). Los resultados fueron expresados como gramos por kilo de brócoli (g/Kg).



Figura 10: .HPLC. (jascoinc.com)

3.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó el software SPSS v 21.0 (SPSS Inc., Chicago-Illinois-USA). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados como la media \pm la desviación estándar. La comparación de medias se realizó con un análisis de varianza (ANOVA) y mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan. La diferencia significativa fue establecida como ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados color

Uno de los factores más importantes para la comercialización del brócoli es mantener su color verde ya que es un parámetro determinante en la preferencia del consumidor. Se obtuvieron los parámetros de L^* (medida de luminosidad de las muestras), h° (representa el color verdadero de la muestras) y C^* (describe el brillo de la muestra) (Topcu, Y., *et al.*, 2015) (Tabla 2). Al inicio del almacenamiento los valores de L^* para la muestra control sin film (CSF) fueron de 39.30 y 38.61 para la muestra con film (C/F) permaneciendo ambas muestras sin diferencias significativas durante la primera semana de almacenamiento. En cambio a partir del día 15 tanto en las muestras CSF como en las muestras C/F se observó un aumento estadísticamente significativo que se mantuvo estable hasta el final del periodo de almacenamiento.

El ángulo Hue (h), los valores pueden variar desde 0° (rojo), 90° (amarillo), 180° (verde), 270° (azul). En las muestras CSF al inicio del almacenamiento se registraron valores de 140° manteniéndose estable hasta el día 8, en el día 15 observamos una disminución estadísticamente significativa con respecto al día 1 y al día 8. Sin embargo en el día 21 no se encuentran diferencias significativas. En las muestras de brócoli C/F observamos que el color se mantiene estable sin diferencias estadísticamente significativas hasta el día 8. En el día 15 se produce una disminución del ángulo Hue produciéndose un cambio de color ($P \leq 0.05$), sin embargo en el día 21 no se encontraron diferencia con respecto al día 1 y 8 de almacenamiento. El C^* puede oscilar de 0 a 100. En la muestra CSF se obtuvieron valores iniciales de 37.12 produciéndose un aumento estadísticamente significativo en el día 8 de almacenamiento con un valor de 85.23. Entre el día 8 y 15 se mantuvo estable sin cambios significativos, sin embargo en el día 21 se observó una disminución estadísticamente significativa con respecto al día 8 y el día 15. En la muestra C/F se mantuvo estable hasta el día 21 de almacenamiento donde se observó una reducción estadísticamente significativa.

Los cambios de color que se producen en el brócoli pueden ser debidos a la degradación de clorofila, esta degradación puede producirse durante el almacenamiento, dando como

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

resultado un color amarillento en las pellas de los brócolis (Forney., *et al* 2003; Jones., *et al* 2006).

Con los resultados obtenidos no se ha podido determinar si existen diferencias significativas en el día 21, como indican otros estudios en los que se ha determinado el color, reflejando que las muestras con film presentan menos cambios de color que la muestra control sin film durante su almacenamiento (Serrano *et al.*, 2006).

En un estudio paralelo (datos no mostrados) se determinó la concentración de clorofilas para relacionarlas con la calidad visual del brócoli, resultando que las muestras C/F presentan menor degradación que las muestras CSF, esto es debido a que el uso de este empaque reduce la degradación de clorofilas durante los 21 días de almacenamiento.

	DIA	L*	h	C*
CSF	1	39,30±1 ^a	140,31±2 ^b	37.12±6 ^a
	8	39,75±1 ^a	135,52±3 ^b	85,23±6 ^b
	15	43,35±1 ^b	125,76±2 ^a	68,10±5 ^b
	21	44,61±2 ^b	135,38±2 ^b	20,73±6 ^a
C/F	1	38,61±1 ^a	132,94±2 ^b	51,08±7 ^b
	8	37,56±3 ^a	130,90±1 ^b	63,07±10 ^b
	15	43,13±1 ^b	128,47±1 ^a	70,28±7 ^b
	21	46,81±1 ^b	132,18±1 ^b	37,35±7 ^a

Tabla 2. Los valores CSF y C/F son valores medios de los parámetros L*, h y C* de las muestras. Los valores medios de la misma letra, son iguales entre si según la prueba de Duncan. (P≤ 0.05)

4.2 pH y acidez titulable

La tabla 3 representa los resultados del valor del pH y % ácido cítrico de las brócolis control sin film (CSF) y con film (C/F). Al inicio del almacenamiento en la muestra CSF se observa un valor de pH 7.04, manteniéndose sin cambios significativos hasta el día 21. En cuanto al % de ácido cítrico también se mantiene sin cambios significativos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

para los 21 días de almacenamiento. El brócoli C/F tiene un valor inicial de pH de 6.96 produciéndose un aumento estadísticamente significativo a partir del día 15 que se mantiene hasta el final del almacenamiento, este aumento del pH se ve reflejado en el % de ácido cítrico ya al disminuir este, se produce un aumento del pH.

	DIA	CSF	C/F
pH	1	7,04±0,03 ^a	6,96±0,10 ^a
	8	7,03±0,02 ^a	7,06±0,03 ^{ab}
	15	7,02±0,04 ^a	7,11±0,01 ^b
	21	6,96±0,01 ^a	7,09±0,03 ^b
% Ácido Cítrico	1	0,14±0,01 ^a	0,13±0,01 ^b
	8	0,13±0,02 ^a	0,13±0,01 ^b
	15	0,12±0,02 ^a	0,10±0,01 ^{ab}
	21	0,13±0,01 ^a	0,09±0,01 ^a

Tabla 3. Los valores CSF y C/F son valores medios del pH para las muestras. Los valores medios de la misma letra, son iguales entre si según la prueba de Duncan. ($P \leq 0.05$)

4.3 Ácidos orgánicos

En la figura 11 se expresan los resultados de la evolución de los ácidos orgánicos del brócoli durante el almacenamiento para las muestras control sin film (CSF) y las muestras con film (C/F). En la gráfica del ácido málico observamos que no hay diferencias manteniéndose estable durante los 21 días de almacenamiento para ambas muestras. En la concentración de ácido cítrico observamos que la muestra CSF se mantiene estable mientras que la muestra C/F sufre una disminución durante los 21 días de almacenamiento, coincidiendo esto con la tabla 3 donde se vio que existía una disminución estadísticamente significativa del % ácido cítrico. Para los valores del ácido fumárico observamos que no hay cambios durante el almacenamiento tanto para la muestra de brócoli CSF como para la muestra C/F.

En la concentración del ácido ascórbico observamos que la muestra C/F sufre una disminución a partir del día 15 hasta el día 21, esta disminución se da cuando se producen condiciones anaerobias ya que puede darse una autooxidación del ácido ascórbico reduciendo así su concentración, si además la concentración de CO_2 se ve

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

incrementada también se vería reducido el contenido en vitamina C. (Braverman 1980; Platenius y Jones 1944, citados por Wang 1979). La muestra de brócoli CSF no ha sufrido cambios durante el almacenamiento manteniéndose estable durante los 21 días.

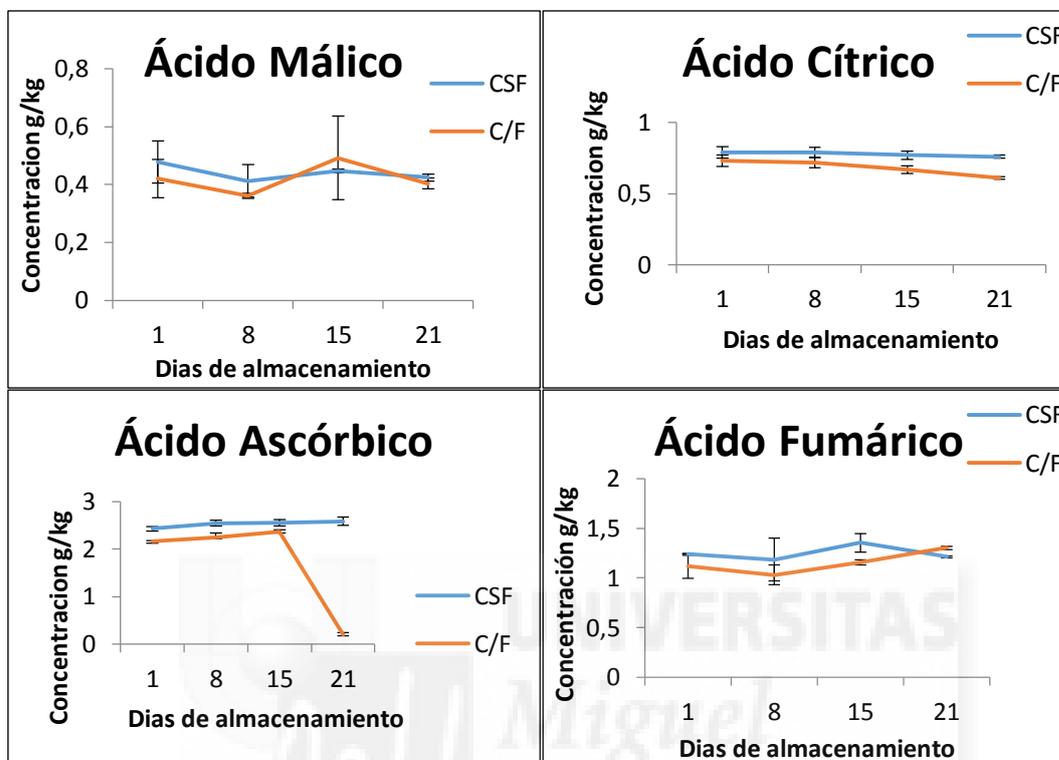


Figura 11. Concentración Ácidos orgánicos en brócoli durante su almacenamiento.

4.4 Sólidos solubles totales

La tabla 4 indica los resultados de sólidos solubles totales (SST) en las muestras control sin film (CSF) y en las muestras con film (C/F) durante 21 almacenamientos.

La muestra CSF presenta una concentración 8.76% SST al inicio del almacenamiento, manteniéndose sin cambios estadísticos significativos hasta el día 21 de almacenamiento. La muestra C/F presenta una concentración inicial de 8.66% en el día 1, manteniéndose sin cambios estadísticos significativos hasta el día 15, a partir de este día se produce una disminución estadística significativa hasta un valor de 7.80%, esta disminución está de acuerdo con estudios donde se indica que durante la maduración y producción de etileno se producen cambios relacionados con la concentración de azúcar debido al proceso metabólico de respiración en brócoli (Gillen *et al.*, 2006). (Finger ,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Endres , Mosquim , y Pulatti , 1999; Kader ,1992 ; Pramanik , Matsui , Suzuki, y Kosugi , 2004).

	DIA	CSF	C/F
% Sólidos solubles totales	1	8,76±0,15 ^a	8,66±0,11 ^b
	8	8,73±0,15 ^a	8,60±0,26 ^b
	15	8,83±0,20 ^a	8,20±0,43 ^b
	21	8,70±0,10 ^a	7,80±0,00 ^a

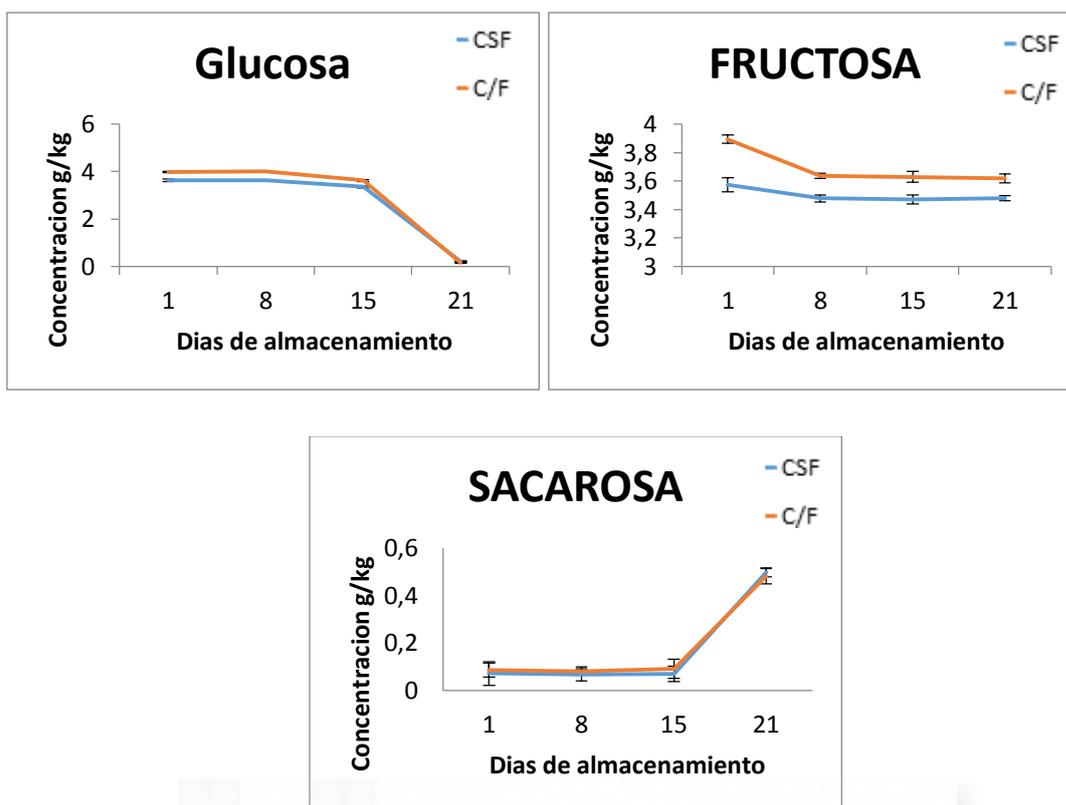
Tabla 4. Los valores muestra con film (CSF) y muestra sin film (C/F) son valores medios para la concentración de sólidos solubles totales (SST) en las muestras. Los valores medios de la misma letra, son iguales entre si según la prueba de Duncan.(P≤ 0.05)

4.5 Azucares

En la figura 12 se expresan los resultados de la evolución de los azucares durante el almacenamiento para las muestras control sin film (CSF) y las muestras con film (C/F). La concentración de glucosa para la muestra CSF y para la muestra C/F se mantiene sin cambios significativos hasta el día 15, es a partir de ese día cuando se produce una disminución para ambas muestras llegando hasta una concentración de 0.20g en la muestra CSF y 0.48g en la muestra C/F, esta disminución se produce cuando los carbohidratos son metabolizados de forma prolongada durante el almacenamiento del brócoli, debido a la energía necesaria para la respiración (Finger , Endres , Mosquim , y Pulatti , 1999; Kader ,1992 ; Pramanik , Matsui , Suzuki, y Kosugi , 2004).

La concentración de fructosa sufre una disminución en la primera semana para ambas muestras, manteniéndose después estable hasta el día 21 de almacenamiento, sin embargo la concentración de sacarosa desde el día 1 hasta el día 15 se mantiene de forma estable para las muestras CSF y C/F , es a partir del día 15 cuando se produce un aumento para ambas muestras llegando al día 21 con una concentración de 0.48g/kg en la muestra de brócoli C/F y 0.48g/kg en la muestra CSF, este aumento de la sacarosa está relacionado con la enzima sacarosa fosfato sintasa, que aumenta durante la maduración sintetizando sacarosa, a su vez el enzima invertasa hidroliza la sacarosa para obtener glucosa y fructosa (Castrillo M. *et al.*,1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



En la figura 12 se expresan los resultados de la evolución de los azúcares durante el almacenamiento para las muestras control sin film (CSF) y las muestras con film (C/F)

4.6 Fibra

En la figura 13 se expresan los resultados de la evolución de la inulina durante el almacenamiento para las muestras control sin film (CSF) y las muestras con film (C/F).

La muestra CSF se mantiene estable a lo largo del almacenamiento durante 21 días, mientras que la muestra C/F experimenta un aumento del día 1 hasta el día 15, para posteriormente mantenerse estable hasta el día 21 del experimento.

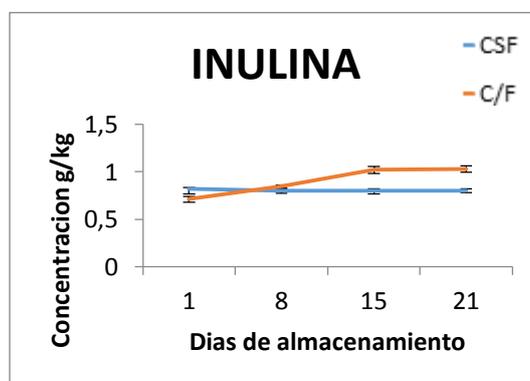


Figura 13. Concentración de Inulina en brócoli a lo largo del almacenamiento

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- El envasado del brócoli con poliolefina no muestra mejoras en la propiedades físico-químicas del brócoli durante su almacenamiento a 0° C.
- La muestra control sin film (CSF) presenta menos pérdidas de ácido cítrico y ascórbico que la muestra con film (C/F) durante el almacenamiento a 0°C.
- Los azúcares presentes en el brócoli no se ven influenciados por el uso de poliolefina ya que tanto la muestra CSF como la muestra C/F presentan los mismos cambios durante su almacenamiento.
- No se puede determinar si existen cambios de color durante el almacenamiento para ambas muestras, ya que los resultados no presentan una continuidad lógica.



BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- Ansorena, M.R., Moreira, M.R., Roura, S.I., 2014. Combined effect of ultrasound, mild heat shock and citric acid to retain greenness, nutritional and microbiological quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.): an optimization study. *Postharvest Biol. Technol.* 94, 1–13.
- Baclayon, D.P., Matsui, T., Suzuki, H., Kosugi, Y., 2007. Some changes in postharvest physiology and activities of glutamine synthetase in broccoli head supplied with exogenous sucrose during storage. *J. Appl. Hortic.* 9, 9–12.
- Caleb, O.J., Mahajan, P.V., Opara, U.L., Witthuhn, C.R., 2012. Modeling the effect of time and temperature on respiration rate of pomegranate arils. *J. Food Sci.* 77, E80–E87.
- Caleb, O.J., Mahajan, P.V., Al-Said, F.A., Opara, U.L., 2013a. Transpiration rate and quality of pomegranate arils as affected by storage conditions. *CyTAJ. Food* 11, 199–207.
- Caleb, O.J., Mahajan, P.V., Manley, M., Opara, U.L., 2013b. Evaluation of parameters affecting modified atmosphere packaging engineering design for pomegranate arils. *Int. J. Food Sci. Technol.* 48, 2315–2323.
- Cao, J., Li, X., Wu, K., Jiang, W., Qu, G., 2015. Preparation of a novel PdCl₂-CuSO₄ based ethylene scavenger supported by acidified activated carbon powder and its effects on quality and ethylene metabolism of broccoli during shelf-life. *Postharvest Biol. Technol.* 99, 50–57.
- Clarkson, G.J.J., Rothwell, S.D., Taylor, G., 2005. End of day harvest extends shelf life. *Hortscience* 40, 1431–1435.
- Echeverria, E., Valich, J., 1989. Enzymes of sugar and acid metabolism in stored Valencia organs. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114, 445e449.
- Feng Xua,b, Hongfei Wangb, Yuechang Tangb, Shuanquan Dongb, Xing Qiaob, Xuehong Chenc, Yonghua Zheng Effect of 1-methylcyclopropene on senescence and sugar metabolism in harvested broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology* 116 (2016) 45–49.
- Fernández-León, M. F., Fernández-León, A. M., Lozano, M., Ayuso, M. C., Amodio, M. L., Colelli, G., et al. (2013a). Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 31 (2), 302–313.
- Fernández-León, M. F., Fernández-León, A. M., Lozano, M., Ayuso, M. C., & González-Gómez, D. (2013b). Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for 'Parthenon' broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*).

BIBLIOGRAFIA

- Influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. *LWT – Food Science and Technology*, 50(2), 665–672.
- Finger, F. L., Endres, L., Mosquim, P. R., & Pulatti, M. (1999). Physiological changes during postharvest senescence of broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 9, 1565e1569.
- Forney, C.F., Song, J., Fan, L., Hildebrand, P.D., Jordan, M.A., 2003. Ozone and 1-methylcyclopropene alter the postharvest quality of broccoli. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128, 403–408.
- Gong, Y., Mattheis, J.P., 2003. Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on chlorophyll catabolism of broccoli florets. *Plant Growth Reg.* 40, 33–38.
- Gray, A.R., 1982. Taxonomy and evolution of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Econ. Bot.* 36, 397–410.
- Guillen, F., Castillo, S., Zapata, P.J., Martinez-Romero, D., Serrano, M., Valero, D., 2006. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit. 2. Effect of cultivar and ripening stage at harvest. *Postharvest Biol. Technol.* 42, 235e242.
- Hasperué, J.H., Chaves, A.R., Martínez, G.A., 2011. End of day harvest delays postharvest senescence of broccoli florets. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 64–70.
- Jacobsson, A., T. Nielsen y I. Sjöholm. 2004. Effects of type of packaging material on shelf-life of fresh broccoli by means of changes in weight, colour and texture. *Eur. Food Res. Technol.* 218:157–163.
- Jeffery, E., Araya, M., 2009. Physiological effects of broccoli consumption. *Phytochem. Rev.* 8, 283e298.
- Jones, R.B., Faragher, J.D., Winkler, S., 2006. A review of the influence of postharvest treatments on the quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Postharv Biol. Technol.* 41, 1e8.
- Lima, G.P.P., Machado, T.M., Furtado, N.R., Fleuri, L.F., Vieira, M.C.S., Oliveira, L.M., Vianello, F., 2013. Influence of sanitation on the physico-chemical and microbiological quality of organic and conventional broccoli. *Afr. J. Biotechnol.* 12 (18), 2456e2463.
- Linke, M., Geyer, M., 2013. Condensation dynamics in plastic film packaging for fruit and vegetables. *J. Food Eng.* 116, 144–154.
- Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R., Macedo, I., 2008. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *J. Food Eng.* 84, 281–288.

BIBLIOGRAFIA

- Makhlouf, J., Willemot, C., Arm, J., Cheour, F., Castaigne, F. and Gosselin, A., 1991.
Le role de l'ethylene dans la conservation et la regulation de la biosynthese de l'ethylene des florets du brocoli apres la recoite. Effets de la temperature. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 24: 42-47.
- Marisol Castrillo., Nicholas J. Kruger., F.R. Whatley. 1992. Sucrose metabolism in mango fruit during ripening. *Plant Science* Volume 84, Issue 1, Pages 45–51.
- Martínez-Hernández, G. B., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., & Artés, F. (2013). Comparative behaviour between kailan-hybrid and conventional fresh-cut broccoli throughout shelf-life. *LWT – Food Science and Technology*, 50(1), 298–305.
- Oliveira, F., Sousa-Gallaghera, M.J., Mahajan, P.V., Teixeira, J.A., 2012. Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms. *J. Food Eng.* 108, 507–514.
- Opara, U.L., Hussein, Z., Caleb, O.J., Mahajan, P.V., 2015. Investigating the effect of perforation and storage temperature on water vapour transmission rate of packaging films: experimental and modelling approaches. *Wulfenia J.* 22, 498– 509.
- Pramanik, B. K., Matsui, T., Suzuki, H., & Kosugi, Y. (2004). Changes in acid invertase activity and sugar distribution during postharvest senescence in broccoli. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7, 679e684.
- Rolland, F., Moore, B., Sheen, J., 2002. Sugar sensing and signaling in plants. *Plant Cell* 14, S185–S205.