

## HORTICULTURA

# Caracterización de compuestos antioxidantes presentes en apio según el estadio de madurez

M.G. Goñi<sup>1-2</sup>; N. Di Gerónimo<sup>3</sup>; L. Carrozzi<sup>3-4</sup>; A. Yommi<sup>4</sup> y S.I. Roura<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup>CONICET. <sup>2</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. <sup>4</sup>Laboratorio de Postcosecha y Calidad de Frutas y Hortalizas, INTA EEA Balcarce. Juan B. Justo 4302, Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Facultad de Ingeniería, UNMdP (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [ggoni@fi.mdp.edu.ar](mailto:ggoni@fi.mdp.edu.ar)

Recibido: 8/2/12

Aceptado: 26/12/12

### Resumen

Goñi, M.G.; Di Gerónimo, N.; Carrozzi, L.; Yommi, A. y Roura, S.I. 2012. Caracterización de compuestos antioxidantes presentes en apio según el estadio de madurez. *Horticultura Argentina* 31 (76): 5-11.

El apio es apreciado por su aporte nutricional a la dieta. La “madurez comercial” es definida por el tamaño de la planta, sin embargo, el contenido en antioxidantes tiene efecto sobre la calidad nutricional y debería considerarse al definir el momento de cosecha. El objetivo fue caracterizar el contenido en compuestos antioxidantes de pecíolos de apio en tres zonas (externa, media e interna) y distintos estadios de desarrollo, para recomendar el momento de cosecha que maximice la calidad nutricional. Se determinó el contenido en ácido ascórbico (AA) y compuestos fenólicos totales, como potencial de pardeamiento (PP) y quinonas

(QT). El AA y el PP disminuyeron con la maduración, siguiendo una tendencia lineal en las tres zonas. El AA y el PP fueron mayores en la zona interna, mientras que el QT se observó en las zonas interna y externa, manteniéndose constante con la maduración. Desde un criterio nutricional, la zona interna es más rica en antioxidantes, pero con mayor tendencia al deterioro por cambios en la coloración. La zonificación encontrada podría afectar el sabor, astringencia, dureza de cada zona, pensando en la elaboración de productos mínimamente procesados. Las plantas de apio deberían ser cosechadas antes de la semana 3 de cosecha (94 días postrasplante) para mantener el valor nutricional pero considerando el potencial incremento del pardeamiento.

**Palabras clave adicionales:** calidad, madurez, ácido ascórbico, polifenoles.

### Abstract

Goñi, M.G.; Di Gerónimo, N.; Carrozzi, L.; Yommi, A. and Roura, S.I. 2012. Characterization of antioxidant compounds present in celery at different maturity stages. *Horticultura Argentina* 31 (76): 5-11.

Celery is appreciated for its nutritional value. “Commercial maturity” is established by the size of the plant; however, the antioxidant content has an effect on the nutritional quality and should be considered when defining the time of harvest. The objective was to characterize the antioxidant compounds present in celery stalks in three zones (outer, middle and inner) at different stages of development, to recommend the harvest-time that maximizes nutritional quality. Ascorbic acid (AA) and total phenolic compounds, such as browning potential (PP) and quinones (QT) were

measured. The AA and PP decreased with ripening, following a linear trend in all three areas. The AA and PP were higher in the inner zone, while higher QT was observed in the inner and outer zones, remaining constant with ripening. From a nutritional standpoint, the inner zone is rich in antioxidants, but more prone to damage by changes in color. Zonification could affect the taste, astringency and hardness of each zone, considering the elaboration of minimally processed stalks. Celery plants should be harvested before week 3 (94 days post-transplant) to maintain the nutritional value but considering the potential increase in browning.

**Additional keywords:** quality, ascorbic acid, ripeness, polyphenols.

## 1. Introducción

Las frutas y hortalizas representan la principal fuente de compuestos antioxidantes, como polifenoles, carotenos y vitaminas. Entre ellos, el apio (*Apium graveolens* L.) es un vegetal altamente apreciado, por su reducido aporte calórico a la dieta y su valor nutricional relativamente alto, debido al contenido de antioxidantes y vitaminas (Rizzo & Muratone, 2009; Viña

& Chávez, 2006) y altos contenidos de flavonoides (Hertog *et al.*, 1992; Wada & Ou, 2002) de alta capacidad antioxidante (Rice-Evans *et al.*, 1996). Estos compuestos bioactivos son considerados promotores de salud; reducen la incidencia de muchos tipos de cáncer y juegan importantes roles en la nutrición humana por su capacidad antioxidante (Vallejo *et al.*, 2003).

Actualmente, la “madurez comercial” en las plan-

tas de apio se determina en función del tamaño y longitud de las hojas, siendo estos parámetros, junto con la demanda del mercado, los responsables de determinar el momento de la cosecha. Los estándares de calidad del apio se basan generalmente sólo en criterios externos, tales como la forma del pecíolo, ausencia de defectos y enfermedades (Raffo *et al.*, 2006). Por otro lado, el sabor y la textura también son determinantes de calidad, contribuyendo a la aceptación del consumidor. Sumado a lo anterior y considerando el interés de los consumidores en el aporte nutricional del apio a la dieta, la presencia de sustancias bioactivas es de creciente interés (Raffo *et al.*, 2006) incorporando el factor nutricional a los estándares de calidad antes mencionados.

El consumo de productos mínimamente procesados se ha incrementado considerablemente en los últimos años, siendo apreciados por los consumidores por su practicidad. Sin embargo, estos productos tienen mayor costo por lo que se debe asegurar su óptima calidad (Martínez *et al.*, 2008). El apio mínimamente procesado suele consumirse como pecíolos cortados listos para ser consumidos como snacks (Gómez & Artés, 2005) o en la preparación de ensaladas y sopas (Gómez & Artés, 2004). Al ser cortados, los pecíolos de apio son susceptibles al deterioro postcosecha (Gómez & Artés, 2005) por pérdida de color, desarrollo de *pithiness*, desecación, desarrollo de olores y sabores desagradables, lignificación y presencia de pardeamiento. Muchos de estos factores de deterioro postcosecha tienen relación directa con condiciones pre-cosecha (Dixon & Paiva, 1995; Bourn & Prescott, 2002; Haker, 2004). En apio es de relevancia el pardeamiento en la zona de corte como factor de deterioro (Gómez & Artés, 2004). El pardeamiento es un proceso enzimático que requiere la presencia de sustratos fenólicos (Gómez & Artés, 2004). En los vegetales, la respuesta a estímulos ambientales suele desencadenar la síntesis de compuestos fenólicos. Algunas consecuencias de estos mecanismos son el pardeamiento enzimático y la lignificación de los tejidos, que son indeseables (Viña & Chávez, 2006).

Cosechar productos hortícolas con madurez óptima permite prolongar la vida postcosecha manteniendo los atributos de calidad que caracterizan el producto (Kader, 1992; Lo Scalzo *et al.*, 2007). Entender los procesos que ocasionan la disminución de la calidad en los vegetales es fundamental para el desarrollo de tecnologías tendientes a extender la vida útil y el mantenimiento de la calidad organoléptica y nutricional a lo largo de la cadena de comercialización (Corbo *et al.*, 2006; Hodges & Toivonen, 2008). Son escasos los estudios en donde se evalúa el efecto del estadio de

desarrollo a cosecha sobre los parámetros de calidad; y mucho menos, si se evalúa la calidad desde el punto de vista nutricional. Yao *et al.* (2010) estudiaron la composición fenólica y la capacidad antioxidante en 11 cultivares de apio producidos bajo distintas condiciones y encontraron que los resultados pueden variar con el genotipo y el ambiente incluyendo localidad, radiaciones UV-B, sanidad de las plantas, exposición a pesticidas, así como respecto a las partes de la planta evaluada y la duración del análisis.

Se requiere más información sobre el impacto del tiempo de cosecha sobre la calidad nutricional del apio, especialmente desde el punto de vista de su contenido en compuestos bioactivos. El rol que los polifenoles cumplen como potenciales antioxidantes es bien conocido (Sánchez-Moreno, 2002) y son varios los fitoquímicos que exhiben mayor actividad antioxidante *in vitro* que compuestos típicos, como la vitamina C (Rice-Evans *et al.*, 1997). Estudios previos con apio encontraron niveles relativamente altos de compuestos con propiedades antioxidantes (Hertog *et al.*, 1992). Sin embargo, la información reportada sobre el contenido en antioxidantes presentes en apio es escasa y confusa (Raffo *et al.*, 2006). Viña y Chávez (2008) informaron un potencial de pardeamiento de  $0,08 \text{ UA} \cdot \text{g}^{-1}$  para apio de la variedad Golden Boy, mientras que Loaiza-Velarde *et al.* (2003) informaron valores 2,5 veces superiores ( $0,2 \text{ UA} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Viñas y Chávez (2008) informaron también un contenido en ácido ascórbico de  $3,3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de apio fresco (pecíolo).

Por lo anteriormente mencionado sería importante determinar en qué momento cosechar el apio para maximizar la calidad nutricional y tecnológica. El objetivo en el presente trabajo fue caracterizar el contenido en compuestos antioxidantes (ácido ascórbico y polifenoles) presentes en pecíolos de apio en tres zonas de la planta (externa, media e interna) en distintos estadios de desarrollo, para recomendar el momento de cosecha que maximice la calidad nutricional.

## 2. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo con plantas de apio (*Apium graveolens* L.) de auto blanqueo variedad Golden Boy producidas comercialmente en Sierra de los Padres, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina ( $37^{\circ} 57' \text{ S}$ ;  $57^{\circ} 42' \text{ O}$ ). Se utilizaron plantas producidas bajo cubierta con cobertura plástica del suelo (*mulching*). Las plantas fueron trasplantadas en otoño (12 de mayo) y cosechadas al final del invierno (30 de julio al 3 de septiembre). Seis fechas de cosecha fueron defini-

das para evaluar los diferentes estadios de madurez, coincidentes con 80, 87, 94, 101, 108 y 115 días post-trasplante (DPT).

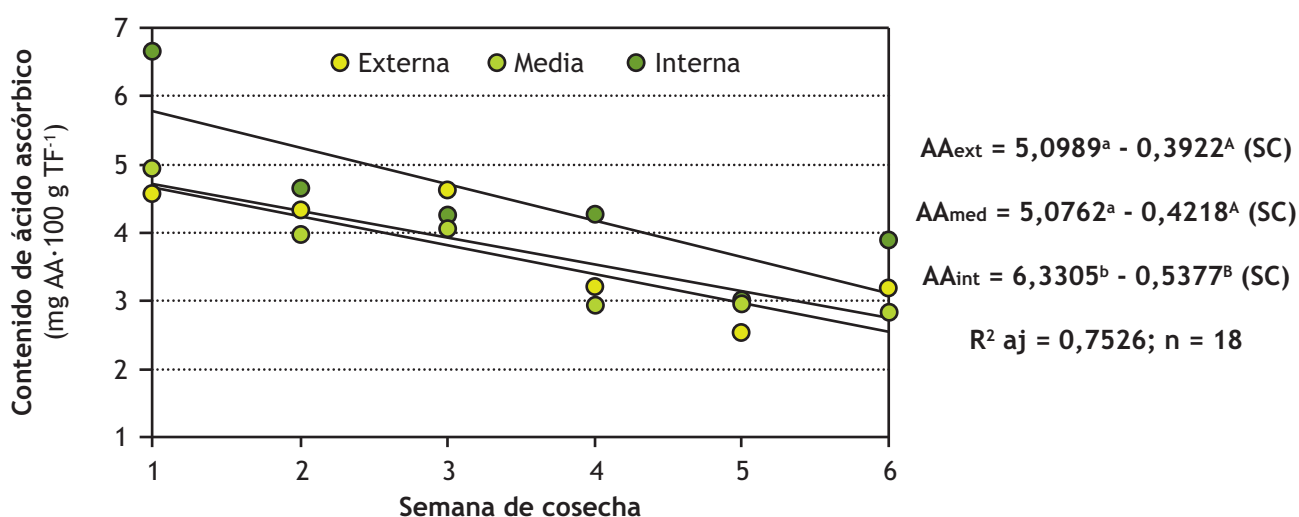
En cada estadio de madurez (expresado como semana de cosecha 1, 2, 3, 4, 5 y 6), las plantas fueron cosechadas manualmente y transportadas al laboratorio en un período de tiempo menor a 2 horas.

Para la evaluación de calidad, las plantas fueron deshojadas comenzando desde la zona externa (ZE) hacia la interna (ZI). Cada zona se definió visualmente, las primeras 4 a 6 hojas se consideraron externas; estas son más largas y pinatisectas. Las internas poseen poco desarrollo y aparecen muy unidas unas a otras rodeando al meristema caulinar de crecimiento, la zona media (ZM) es la transición. Posteriormente, de cada hoja se cortó una sección del peciolo de 15 cm (medidos desde el nodo hacia la parte inferior). Cinco plantas se utilizaron para la evaluación de cada compuesto. Este análisis zonificado permite evaluar la aptitud de los peciolos para la elaboración de productos mínimamente procesados, donde la calidad esperada es superior y los consumidores exigen uniformidad del producto.

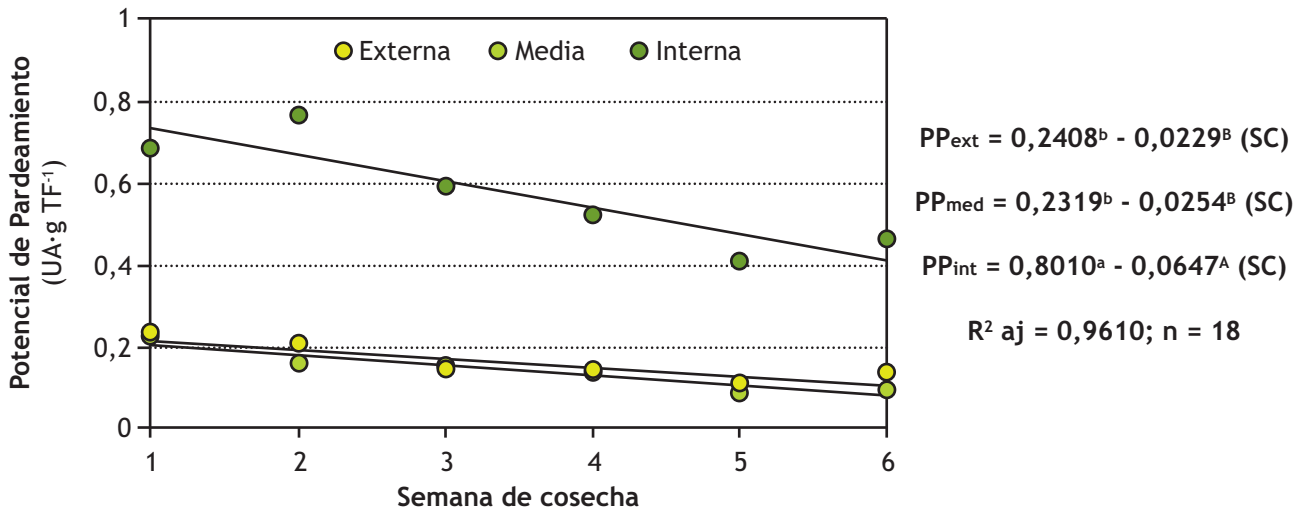
Para analizar el contenido en ácido ascórbico (AA) se utilizó la metodología descrita por Roura *et al.* (2003) donde una muestra de peciolo fue homogeneizado con una solución de ácido metafosfórico al 6 %. El homogenato fue filtrado al vacío y alícuotas del sobrenadante se titularon con una solución de colorante 2,6-dicloroindofenol. El contenido de AA se expresó como mg AA · 100 g de tejido fresco<sup>-1</sup>.

El potencial de pardeamiento (PP) es una estimación objetiva del contenido de polifenoles que poseen los peciolos de apio y el contenido en quinonas totales (QT) es resultado de la oxidación de dichos compuestos ya que son los productos finales del pardeamiento (Cheftel & Cheftel, 1976). La concentración de compuestos fenólicos se determinó a través del método descrito por Campos-Vargas *et al.* (2005). Partiendo de los peciolos de cada zona, una muestra de 10 g de tejido fresco fue homogeneizada con 20 mL de metanol (grado HPLC). El homogenato fue filtrado a través de una fibra de vidrio y se centrifugó durante 20 minutos a 15.000 G. La absorbancia de una alícuota del sobrenadante fue determinada en un espectrofotómetro (UV-VIS SPECTRONIC 601, MILTON ROY, Pennsylvania, Estados Unidos) a 320 nm a fin de determinar el potencial de pardeamiento (PP), y a 437 nm para determinar el contenido de quinonas totales (QT). Los análisis se realizaron por duplicado y los resultados se expresaron como unidades de absorbancia por gramo de tejido fresco (UA · g<sup>-1</sup>).

Se trabajó con un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con arreglo factorial, donde SEMANA DE COSECHA (1 a 6) y ZONA (externa, media e interna) fueron los factores con sus correspondientes niveles. La evolución de los índices de calidad nutricional se analizó mediante regresiones lineales múltiples (Montgomery *et al.*, 2002). Se analizó el paralelismo y la coincidencia de las funciones lineales resultantes, utilizando la función regresión lineal de InfoStat (2004).



**Figura 1.** Contenido de ácido ascórbico (AA) en peciolos de apio según la semana de cosecha (SC) y la ubicación de la hoja en la planta (zona externa, media e interna). Los valores presentados corresponden a *lsmeans* (estimación de la media por el método de mínimos cuadrados) y al ajuste lineal obtenido para cada zona. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el valor correspondiente a la ordenada al origen y letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas en las estimaciones de las pendientes ( $\alpha = 0,05$ ) según la regresión lineal múltiple.



**Figura 2.** Evolución del potencial de pardeamiento (PP) en peciolos de apio según la semana de cosecha (SC) y la ubicación de la hoja en la planta (zona externa, media e interna). Los valores presentados corresponden a *lsmeans* (estimación de la media por el método de mínimos cuadrados) y al ajuste lineal obtenido para cada zona. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el valor correspondiente a la ordenada al origen y letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas en las estimaciones de las pendientes ( $\alpha = 0,05$ ) según la regresión lineal múltiple.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Contenido en ácido ascórbico (AA)

El contenido de AA en las plantas de apio cosechadas a diferentes tiempos disminuyó al avanzar la madurez, ajustándose los datos a una función lineal de pendiente negativa (Figura 1). Se observó efecto de la zona y del estadio de desarrollo, con una interacción significativa para los factores SEMANA DE COSECHA y ZONA ( $P = 0,0084$ ). Durante la maduración se observó una disminución significativa del contenido de AA en las tres zonas de la planta, siendo mayor la correspondiente a la zona interna (32 %). Guerra *et al.* (2010) trabajando con la variedad Golden Clause encontraron diferencias en AA entre zonas de la planta, pero no entre cosechas. Por su parte, Toledo *et al.* (2003); Hodges y Forney (2003) reportaron que el ácido dehidroascórbico (forma oxidada de la Vitamina C) es preponderante en hojas de mayor edad fisiológica, lo que puede reflejar una menor capacidad de reducción del ácido dehidroascórbico a ascórbico en estas hojas conforme el tejido madura. Este último tiene una mayor capacidad de reducción y potencial antioxidante que el ácido dehidroascórbico.

Las zonas externa y media presentaron similar comportamiento entre sí, pero diferente a la zona interna. Varios factores pueden ser responsables de estas diferencias: mayor exposición de las hojas a factores ambientales como luz, radiación UV, temperatura, daño mecánico, etc. Estos factores, solos o en combinación, aceleran la degradación del AA durante el desarrollo de las plantas. Goñi *et al.* (2010) informaron pa-

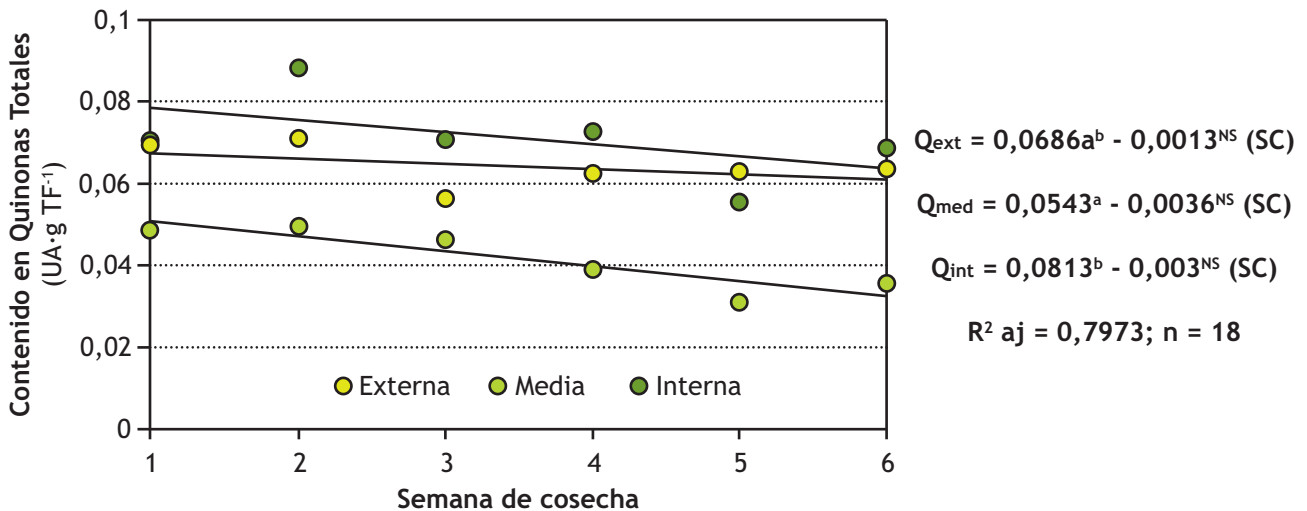
ra lechuga mantecosa que las hojas externas presentaron menor contenido de AA que las medias e internas, atribuyendo estos resultados a una mayor exposición a las condiciones ambientales.

La disminución estimada del AA entre la primera semana de cosecha (80 DPT) y la última (115 DPT) fue de 3,22 mg·100 g TF<sup>-1</sup> para la zona interna, y de 2,44 mg·100 g TF<sup>-1</sup> para las zonas externa y media (Figura 1). Según las tasas de disminución estimadas (pendientes de la función lineal estimada) el 25 % del AA se pierde para la semana 3 (94 DPT). Como consecuencia, las plantas de apio deberían ser cosechadas antes de los 94 DPT para mantener el 75 % del AA.

#### 3.2 Potencial de Pardeamiento (PP) y Contenido en Quinonas Totales (QT)

PP y QT, en conjunto, permitirían evaluar el estado nutricional del apio y la aptitud tecnológica como materia prima para elaborar productos mínimamente procesados. El pardeamiento enzimático afecta las propiedades sensoriales de los productos debido a los cambios asociados en el color, sabor y textura blanda (Martinez & Wtaker, 1995). En presencia de oxígeno, la enzima polifenoloxidas (PPO, EC 1.14.18.1 o EC 1.10.3.2) cataliza la conversión de los compuestos fenólicos a pigmentos marrones. Los productos iniciales de la oxidación son quinonas, que rápidamente se condensan para producir polímeros marrones relativamente insolubles: las melaninas (Cheftel & Cheftel, 1976). Una amplia gama de o-dehidroxifenoles son sustratos de la PPO en las plantas superiores, por lo tanto hay un gran potencial de pardeamiento debido a





**Figura 3.** Contenido de quinonas totales (QT) en peciolo de apio según la semana de cosecha (SC) y la ubicación de la hoja en la planta (zona externa, media e interna). Los valores presentados corresponden a *lsmeans* (estimación de la media por el método de mínimos cuadrados) y al ajuste lineal obtenido para cada zona. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el valor correspondiente a la ordenada al origen y letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas en las estimaciones de las pendientes ( $\alpha = 0,05$ ) según la regresión lineal múltiple.

la presencia de grupos OH oxidables (Martinez & Wtaker, 1995). La enzima fenilalanina amonio liasa (PAL, EC 4.3.1.5) está implicada en la ruta biosintética de los compuestos fenólicos. La intensidad del pardeamiento se correlaciona con el aumento de la actividad enzimática y con la calidad visual (Couture *et al.*, 1993). Esto sugiere que el control de la actividad PAL, y con ello la biosíntesis de compuestos fenólicos, en estadios tempranos (precosecha) sería relevante en el control de pardeamiento enzimático durante postcosecha (Martinez & Wtaker, 1995).

El análisis estadístico del PP mostró una interacción significativa semana de cosecha y zona ( $P = 0,0033$ ) y el ajuste de la evolución fue lineal, con pendiente negativa lo que indica la disminución del PP en los estadios de madurez posteriores (Figura 2). El PP de las tres zonas fue similar al encontrado por Loaiza-Velarde *et al.* (2003) pero mayor al informado por Viña y Chávez (2006) para la misma cultivar. El mayor PP fue observado en peciolo de la zona interna, y se correspondió con los mayores valores de compuestos fenólicos polimerizados, medidos como QT.

El análisis estadístico del QT evidenció efecto de zona significativo ( $P = 0,0001$ ), no así el efecto de semana de cosecha, como tampoco interacción entre estos dos factores (Figura 3). El QT fue significativamente mayor en la zona interna ( $0,076 \text{ UA} \cdot \text{g TF}^{-1}$ ), seguida por la zona externa ( $0,063 \text{ UA} \cdot \text{g TF}^{-1}$ ) y zona media ( $0,043 \text{ UA} \cdot \text{g TF}^{-1}$ ), en todas las semanas de cosecha. Al analizar de la evolución del QT mediante la regresión lineal múltiple mostró resultados similares a los otros índices con ajustes lineales de funciones

con pendientes negativas. El ajuste de las rectas fue significativo donde, si bien las pendientes fueron significativas (indicando en este análisis un efecto de la semana de cosecha en QT), su valor fue mucho menor (entre 15 y 50 veces) al correspondiente a la ordenada al origen. Esta reducida tasa de cambio no sería detectada por el análisis tradicional de la varianza (ANOVA).

Apio y lechuga son considerados vegetales con niveles iniciales bajos de compuestos fenólicos, y el pardeamiento posterior ocurre por la síntesis y acumulación de estos compuestos luego del procesamiento (Loaiza-Velarde *et al.*, 2003). En hojas internas de apio (más jóvenes) un mayor contenido de polifenoles sería necesario para cubrir demandas de crecimiento, reproducción y protección. La oxidación de fenoles hacia quinonas, impacta en el color del producto, siendo las zonas internas y externa las más afectadas.

#### 4. Conclusiones

Desde un criterio nutricional, las plantas de apio deberían ser cosechadas antes de la semana 3 (94 DPT), donde el 75 % del máximo AA aún se conserva. Estos estadios de desarrollo son también los que presentaron mayor contenido en polifenoles pero teniendo en cuenta la presencia de mayor contenido de quinonas, lo que podría significar un mayor deterioro postcosecha debido al incremento del pardeamiento.

La zonificación encontrada podría además afectar el destino potencial de los peciolo, pensando en pro-

ductos mínimamente procesados. Teniendo en cuenta la susceptibilidad al pardeamiento de los pecíolos de la zona interna, las zonas externa y media serían las más adecuadas para la elaboración de productos mínimamente procesados. Las ventajas nutritivas del mayor contenido de polifenoles en la zona interna y para las primeras semanas de cosecha (1, 2 y 3), puede a su vez representar una desventaja tecnológica, ya que son esas mismas condiciones las que presentaron mayor pardeamiento.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica/FONCyT, la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP) y el Proyecto Nacional INTA PNHFA-062332.

## 6. Bibliografía

- Bourn, D. & Prescott, J. 2002. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 42: 1-34.
- Campos-Vargas, R.; Nonogakia, H.; Suslow, T. & Saltveit, M.E. 2005. Heat shock treatments delay the increase in wound-induced phenylalanine ammonia-lyase activity by altering its expression, not its induction in Romaine lettuce (*Lactuca sativa*) tissue. *Physiologia Plantarum*. 123: 82-91.
- Cheftel, J.C. & Cheftel, H. 1976. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen I. España: Editorial Acribia. p 309-318.
- Corbo, M.R.; Del Nobile, M.A. & Sinigaglia, M. 2006. A novel approach for calculating shelf life of minimally processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*. 106: 69-73.
- Couture, R.; Cantwell, M.I.; Ke, D. & Saltveit, M.E.J. 1993. Physiological attributes related to quality attributes and storage life of minimally processed lettuce *HortScience*. 28:723-725.
- Dixon, R.A. & Paiva, N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*. 7: 1085-1097.
- Guerra, M.N.; Carrozzi, L.; Goñi, M.G.; Roura, S.I. & Yommi, A. 2010. Quality characterization of celery (*Apium graveolens* L.) by zones of plant and two harvest dates. *Journal of Food Science*. 75: S327-S332.
- Gómez, P. & Artés, F. 2004. Controlled atmospheres enhance postharvest green celery quality. *Postharvest Biology and Technology*. 34: 203-209.
- Gómez, P. & Artés, F. 2005. Improved keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging. *LWT*. 38: 323-329.
- Goñi, M.G.; Agüero, M.V.; Moreira, M.R.; Ponce, A.G. & Roura, S.I. 2010. Ring characterization of quality indices in butterhead lettuce cultivated under mulch and bare soil. *Journal of Food Quality*. 33: 439-460.
- Haker, F.P. 2004. Organic food claims cannot be substantiated through testing of smokes in the marketplace: a horticulturalists opinion. *Food Quality Preference*. 15: 91-95.
- Hertog, M.G.L.; Hollman, P.C.H. & Venema, D.P. 1992. Optimization of a Quantitative HPLC Determination of Potentially Anticarcinogenic Flavonoids in Vegetables and Fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1882: 1591-1598.
- Hodges, D.M. & Forney, C.F. 2003. Postharvest ascorbate metabolism in two cultivars of spinach differing in their senescence rates. *Journal of the American Soc. Hortic. Sci*. 128:930-935.
- Hodges, D.M. & Toivonen, P.M.A. 2008. Quality of fresh-cut fruits and vegetables affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*. 48:155-162.
- Kader, A.A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. Division of Agriculture and Natural Resource. University of California, Davis, C.A. 297 p.
- Loiza-Velarde, J.G.; Mangrich, M.E.; Campos-Vega, R. & Saltveit, M.E. 2003. Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles. *Postharvest Biology and Technology*. 27: 305-311.
- Lo Scalzo, R.; Bianchi, G.; Genna, A. & Summa, C. 2007. Antioxidant properties and lipidic profile as quality indexes of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) in relation to harvest time. *Food Chemistry*. 100: 1019-1025.
- Martínez, I.; Ares, G. & Lema, P. 2008. Influence of cut and packaging film on sensory quality of fresh-cut butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L., cv. Wang). *Journal of Food Quality*. 31:48-66.
- Martínez, M.V. & Whitaker, J.R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology*. 6: 195-200.
- Montgomery, D.C.; Peck, E.A. & Vining, G.G. 2002. Variables indicadoras. Callejas, J.E. ed. En: Introducción al análisis de regresión lineal. Continental. México, D.F. 588 p.

- Raffo, A.; Sinesio, F.; Moneta, E.; Nardo, N.; Peparaio, M. & Paoletti, F. 2006. Internal quality of fresh and cold stored celery petioles described by sensory profile, chemical and instrumental measurements. *European Food Research and Technology*. 222: 590-599.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, N.J. & Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 20: 933-956.
- Rice-Evans, C. A.; Sampson, J.; Bramles, P.M. & Holloway, D.E. 1997. Why do we expect carotenoids to be antioxidants *in vivo*? *Free Radical Research*. 26: 381-398.
- Rizzo, V. & Muratore, G. 2009. Effects of packaging on shelf life of fresh celery. *Journal of Food Engineering*. 90: 124-128.
- Roura, S.I.; Moreira, M.R.; Ponce, A. & Del Valle, C. 2003. Dip treatments for fresh Romaine lettuce. *Italian Journal Food Science*. 3: 405-415.
- Sánchez-Moreno, C. 2002. Review: methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science and Technology International*. 8: 121-137.
- Toledo, M.E.A.; Ueda, Y.; Imahori, Y. & Ayaki, M. 2003. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in Light and dark. *Postharvest Biology and Technology*. 28:47-57.
- Vallejo, F.; Tomás-Barberán, F. & García-Viguera, C. 2003. Health-Promoting compounds in Broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 3029-3034.
- Viña, S.Z. & Chávez, A.R. 2006. Antioxidant responses in minimally processed during refrigerated storage. *Food Chemistry*. 94: 68-74.
- Viña, S.Z. & Chávez, A.R. 2008. Effect of heat treatment and refrigerated storage on antioxidant properties of pre-cut celery (*Apium graveolens* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 44-51.
- Wada, L. & Ou, B. 2002. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oregon Caneberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 3495-3500.
- Yao, Y.; Sang, W.; Zhou, M. & Ren, G. 2010. Phenolic Composition and Antioxidant Activities of 11 Celery Cultivars. *Journal of Food Science*. 75, C9 - C13.