

SIMIENTE

VOLUMEN 85 (3-4) JULIO - DICIEMBRE 2015



SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE

SIMIENTE

Fundada el 1 de Octubre de 1942

Órgano Oficial de Difusión de la Sociedad Agronómica de Chile

SIMIENTE se publica trimestralmente por la Sociedad Agronómica de Chile (SACH).

Los trabajos a presentar deben enviarse a:

Editor:

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

La preparación de los artículos debe ceñirse a las "Normas de publicación" que aparecen en las páginas II y III.

Referencia bibliográfica SIMIENTE

Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos publicados en SIMIENTE, siempre que se cite debidamente la fuente y los autores correspondientes.

La SACH no se responsabiliza por las declaraciones y opiniones publicadas en SIMIENTE; ellas representan los puntos de vista de los autores de los artículos y no necesariamente los de la Sociedad Agronómica de Chile. La mención de productos o marcas comerciales no implica su recomendación por la SACH.

Sociedad Agronómica de Chile

Fundada el 28 de agosto de 1910

Mac Iver 124, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

Diseño y Diagramación:

Denisse Espinoza Aravena.

Consejo Directivo 2015

Presidente: Horst Berger S. Ing. Agrónomo

Vicepresidenta: Rina Acuña R. Ing. Agrónomo

Tesorero: Ximena López. Ing. Agrónomo

Secretaria: Carmen Gloria de Val. Ing. Agrónomo, M. Sc.

Consejeros:

Horst Berger S., Ing. Agr.

Rina Acuña, Ing. Agr.

Ximena López C, Ing. Agr.

Cármén Gloria de Val, Ing. Agr., M. Sc.

Patricio Almarza, Ing. Agr.

Peter Seemann, Ing. Agr., Dr.

Christel Oberpaur, Ing. Agr. M. Sc.

María Luisa Tapia F. Ing. Agr. M. Sc

Pedro Calandra, Bibliotecario.

ISSN: 0037-5403

SIMIENTE

Representante Legal

Horst Berger S.

Ingeniero Agrónomo

Presidente SACH

Directora

María Luisa Tapia F.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Editora

María Luisa Tapia F.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Editores asociados

Postcosecha y Agroindustria

Ljubica Galletti G., Ing. Agr.

Horst Berger S., Ing. Agr.

María Luisa Tapia F., Ing. Agr. M Sc.

Ana Cecilia Silveira, Ing. Agr. Dr.

Victor Hugo Escalona, Ing. Agr. Dr.

Andrés Bustamante, Med. Vet. Dr.

Fernanda Zaccari, Ing. Agr. Dr.

Giovanni Gallietta, Ing. Agr. Dr.

Ximena López, Ing. Agr.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

SIMIENTE es el órgano oficial de difusión científica de la Sociedad Agronómica de Chile en el que se da a conocer los resultados de investigaciones científicas en el ámbito agropecuario, con el objeto de proporcionar información sobre el desarrollo científico-tecnológico del sector.

Los artículos para publicar en **SIMIENTE** deben ser originales, es decir no pueden haber sido publicados previa o simultáneamente en otra revista científica o técnica.

Los trabajos propuestos para publicación deben enviarse en forma electrónica vía correo electrónico o en CD y con cuatro copias, escritas a espacio y medio, letra Arial 12, en papel tamaño carta al Editor de la revista **SIMIENTE**, Mac-Iver 120, oficina 36. Santiago. Chile.

Una vez aceptado el trabajo, el (los) autor (es) deberán incorporar las sugerencias de los revisores y remitir CD o correo electrónico, escrito con los procesadores de texto Word, a 1½; espacio, sin sangría. Las tablas y gráficos deben enviarse en archivos separados, señalándose en el texto su ubicación. Las fotos en blanco y negro, deben enviarse por separado, adecuadamente identificadas, en papel brillante y en aplicación de 12 x 18 cm.

Se recibirán trabajos para publicar en las siguientes secciones:

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, los cuales deben incluir los siguientes capítulos:

- I. **Resumen**, que debe contener una condensación de los objetivos, métodos, resultados y conclusiones principales.
- II. **Abstract**, traducción del Resumen al idioma inglés.
- III. **Palabras clave**, cinco como máximo, no usadas en el Título, que sirven como índices identificatorios. Puede incluirse nombres comunes y científicos de especies, sustancias, tecnologías, etc.
- IV. **Introducción**, revisión bibliográfica concisa, donde se indicará el objetivo e hipótesis de la investigación y su relación con otros trabajos relevantes (propios o de otros autores)
- V. **Materiales y Métodos**, descripción concisa de los materiales y Métodos usados en la investigación; si las técnicas o procedimientos han sido publicados anteriormente, mencionar sólo sus fuentes bibliográficas e incluir detalles que representan modificaciones sustanciales del procedimiento original.
- VI. **Resultados**. Se presentarán, en lo posible, en Tablas y/o Figuras, que deberán ser reemplazadas, cuando corresponda, por análisis estadístico, evitando la repetición y seleccionando la forma que en cada caso resulte adecuada para la mejor interpretación de los resultados.
- VII. **Discusión**. Debe ser breve y restringirse a los aspectos significativos del trabajo. En caso que, a juicio de los autores, la naturaleza del trabajo lo permita, los Resultados y la Discusión pueden presentarse en conjunto, bajo el título general de Resultados y Discusión.
- VIII. **Literatura citada**. Listado alfabético de las referencias bibliográficas utilizadas, (ver ejemplos en Normas de Estilo).

NOTAS TÉCNICAS. La estructura no está sujeta a lo establecido para los trabajos de investigación, por tratarse de notas cortas sobre avances de investigaciones, determinación de especies, descripción de métodos de investigación, etc. Sin embargo, debe incluir un Resumen, un Abstract y la Literatura Citada.

REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS. Trabajos de investigación Bibliográfica en la especialidad del autor y estructura libre. Debe incluir Resumen y Literatura Citada.

PUNTOS DE VISTA. Comprende artículos cortos de material de actualidad, revisiones de libros de reciente publicación, asistencia a Congresos, reuniones científicas e índices de Revistas. Deben incluir Literatura Citada.

Además, **SIMIENTE** publicará los trabajos que se presenten en los Simposios o como trabajos libres de los Congresos de la SACH, u otras agrupaciones asociadas a la misma. Los Simposios y los trabajos de estructura libre, deben contener Resumen, Abstract y Literatura Citada, y los Resúmenes deben contener una condensación informativa de los métodos, resultados y conclusiones principales, señalando cuando corresponda, la fuente de financiamiento.

NORMAS DE ESTILO

Título (español e inglés). Descripción concisa y única del contenido del artículo. El Título contendrá el superíndice (1) de llamada de pie de página para indicar agradecimiento y /o fuente de financiamiento.

Autor (es). Se indicará nombre y apellido paterno completos e inicial del apellido materno. Con pie de página se debe indicar la o las instituciones a las cuales pertenecen, incluyendo las direcciones postal y electrónica completas.

Encabezamientos de las secciones. Los encabezamientos de primera, segundo, tercer o cuarto orden deben ser fácilmente distinguibles y no numerados.

Tablas. Deben escribirse a un espacio. El título de cada Cuadro y Figura, en español e inglés, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Los encabezamientos de filas y columnas, como el pie de página, deben ser auto explicativos. Use superíndices numéricos para identificar los pies de página de las tablas. Use letras minúsculas para indicar diferencias significativas o separaciones de medias. Indique asimismo el nivel de probabilidad.

Figuras. Indique correlativamente todas las figuras (gráficos, figuras y fotografías). Las leyendas deben ser claras y concisas. El título de cada figura, en español e inglés, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Por razones de espacio, el Comité Editor se reserva el derecho de incluir o no las fotografías. Los dibujos gráficos deben ser originales, hechos sobre papel blanco. Además de las figuras en papel se solicita enviar figuras en versión electrónica, formato TIFF o JPG de las siguientes resoluciones: figuras en blanco y negro mínimo 600 dpi, las líneas no deben ser más finas que 0.25 pts, los rellenos deben tener una densidad de por lo menos 10 % y las fotografías electrónicas deben tener resoluciones mínimas de 300 dpi. Resoluciones menores afectan la calidad de la impresión. Las fotografías no electrónicas deben ser claras, brillantes y montadas sobre una cartulina.

Figuras o fotografías en colores se podrán publicar con cargo al autor. En blanco y negro se publicarán sin costo.

Evite duplicidad de información en el texto, tablas y figuras.

Nombres científicos y palabras latinas. Deben escribirse utilizando el estilo cursivo de la fuente empleada.

Nombres comerciales y marcas. Estos nombres, de corta permanencia, deben ser evitados en el texto o referidos entre paréntesis o como llamada de pie de página. Use siempre el nombre técnico del ingrediente activo, fórmula química, pureza y / solvente. Los nombres registrados deben ser seguidos por R la primera vez que se cita en el Resumen y texto.

Abreviaturas y Sistema Métrico. Se debe usar el Sistema Internacional de Medidas y sus abreviaturas aceptadas. En caso de utilizarse siglas poco comunes, deberán indicarse completas la primera vez que se citan, seguidas de la sigla entre paréntesis. Todas las abreviaturas y siglas se usan sin punto.

Apéndices. Material informativo suplementario debe ser agregado como Apéndice y colocado antes de la Literatura Citada.

Literatura Citada.

Las referencias a libros, artículos, informes técnicos o trabajos de congresos o talleres deben ser listados en orden alfabético, al final del trabajo. Artículos no publicados, opiniones expertas no se incluyen en listado alfabético pero se pueden mencionar en el texto como comunicaciones personales indicando el nombre de autor. Es responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para citar trabajos no publicados

Ejemplos de citas:

Referencias. En el texto, las referencias deberán citarse entre paréntesis (Triviño y Riveros, 1985) o Astorga (1977), según sea el caso. Si son más de dos autores, citar el primer autor y et al., seguido del año, por ejemplo (Carrillo et al., 1994) Las referencias no publicadas o comunicaciones personales deben insertarse en el texto, indicando dicha condición en llamada de pie de página.

Las referencias deben colocarse en orden alfabético en la sección Literatura Citada, de acuerdo a los siguientes ejemplos:

Artículo en Revista: WITHERS. L.A. 1993. *In vitro* storage and plant genetic conservation (Germplasm). Span. Pío-; 26(2): 72-74.

Libro: ALLARD, R.W. 1975. Principios de la mejora genética de plantas. 2ª Ed. Omega. Barcelona, España. 325 p.

Capítulo de Libro: WARSON, L.A. 1970. The utilization of wild species in the breeding of cultivated crops resistant to plant pathogens. Págs., 441-457. In Frankel, O.H (ed.). Genetic resource in plants. Blackwell Scientific Publications. California. 360 p.

Tesis: Martínez M.F. 1978. Adaptación, rendimiento y estudio de caracteres en dos géneros de maíz, Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Fac.de Cs. Agrarias y Forestales. 100 p.

Boletines: LÓPEZ, G. 1976. El garbanzo, un cultivo importante en México. Folleto de Divulgación INIA 56.

Abstract: SALINAS, J. 1995. Biología de *Heliothis zea*. Simiente 66(4): 3(Abstr.).

Pruebas

Al autor principal se le enviarán las pruebas de imprenta por correo electrónico. Se espera respuesta con o sin correcciones dentro de las siguientes 96 horas. Sólo se podrán hacer correcciones menores y enviarlas en un correo electrónico adjunto. No modificar archivo enviado. Si fuera necesario correcciones más extensas enviarlas claramente identificadas en el archivo.

TABLA DE CONTENIDOS

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Tratamientos previos al almacenamiento de la materia prima destinada a la elaboración de productos de IV y V Gama	1
--	----------

Ana Cecilia Silveira y Fernanda Zaccari

Aplicación del análisis sensorial en la evaluación de la calidad de productos frescos cortados	21
---	-----------

Silvia del Carmen Rodríguez; Silvina M. Generoso; Diego R. Gutiérrez y Ana G. Questa

Calidad e inocuidad de productos de IV Gama	39
--	-----------

Melvin R. Tapia-Rodríguez; Brenda Silva-Espinoza; Francisco Javier Vazquez-Armenta; Gustavo González-Aguilar y Jesús Fernando Ayala-Zavala

Subproductos de la industria de IV y V Gama de hortalizas	47
--	-----------

Begoña de Ancos; Concepción Sánchez-Moreno; Clara Colina-Coca; Diana González-Peña; Lucía Jiménez y Rosario Gómez

Sistemas de enfriamiento y almacenamiento de frutas y hortalizas enteros y procesados	77
--	-----------

Víctor H. Escalona

TRATAMIENTOS PREVIOS AL ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA DESTINADA A LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE IV Y V GAMA

Treatments applied to IV and V gamma product raw material before storage

Ana Cecília Silveira y Fernanda Zaccari*

Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. Avda. Garzón 780, CP 12300. Montevideo, Uruguay.

*Correo electrónico: acsilver@fagro.edu.uy

RESUMEN

La materia prima empleada para elaborar productos de IV gama puede ser sometida a una serie de tratamientos previos a la conservación con el objetivo de preservar su calidad y de esta forma asegurar la calidad del producto final. Estos tratamientos varían según el producto vegetal en cuestión e incluyen el curado previo al almacenamiento en el caso de bulbos y tubérculos, los tratamientos con agua, vapor y aire caliente, los tratamientos con radiación UV-C y radiación gamma entre otros. Además de éstos, también se pueden realizar aplicaciones de calcio con el objetivo de reducir la incidencia de desórdenes fisiológicos y el avance de los procesos de maduración y senescencia, en especial del ablandamiento. Vinculado al control de la maduración y para regular el stock de materia prima este proceso puede ser retardado o acelerado. El control de la maduración y senescencia está vinculado al manejo del etileno que es el responsable de desencadenar la mayoría de los procesos asociados a la maduración y senescencia. En este trabajo se hace una revisión de los principales tratamientos que se pueden aplicar previo al almacenamiento de la materia prima que se destina a la elaboración de productos de IV gama.

Palabras clave: curado, tratamientos térmicos, radiación UV-C, radiación gamma, etileno

ABSTRACT

The raw material used to the IV gamme elaboration process sometimes can be subjected to a series of pre-storage treatments in order to preserve its quality and thus ensure the quality of the final product. These treatments vary according to the commodity in question and include the cured in bulbs and tubers, water steam and hot air treatments, UV-C radiation and gamma irradiation treatments among others. Besides these, it is also possible to make applications of calcium in order to reduce the physiological disorders occurrence and the progress of ripening and senescence processes, especially softening. Related to control and regulation of the maturation of raw material, in order to middling the stock, this process can be retarded or accelerated. Control ripening and senescence is related to the ethylene management since ethylene is responsible for triggering most processes associated with maturation and senescence. This paper reviews the main treatments that can be applied prior to storage of the raw material intended to the IV gamme elaboration process.

Keywords: cured, heat treatments, UV-C radiation, gamma irradiation, ethylene

INTRODUCCIÓN

Debido a que la producción de materia prima fresca durante todo el año es, en la mayoría de los casos inviable, principalmente por la estacionalidad en la producción, el almacenamiento por periodos de tiempo más o menos prolongado resulta esencial para asegurar el suministro de materia prima de calidad a las plantas elaboradoras de productos de IV gama. Para garantizar el mantenimiento de la calidad y la reducción de pérdidas se hace necesario muchas veces realizar una serie de tratamientos previos al almacenamiento. Estos tratamientos, junto con las adecuadas condiciones de conservación, vinculadas al manejo de la temperatura y la composición de la atmósfera, aseguran la preservación de la calidad organoléptica y nutricional de la materia prima destinada a la elaboración de productos de IV gama.

A continuación se describen alguno de los tratamientos que se realizan a diferentes tipos de productos previo al almacenamiento.

CURADO Y ALMACENAMIENTO DE BULBOS Y TUBÉRCULOS

Las hortalizas de bulbo y tubérculo antes de ser almacenadas deben someterse al proceso de curado que es una operación fundamental para preservar su calidad durante el almacenamiento posterior. El proceso de curado implica modificaciones a nivel de las estructuras que protegen a los productos vegetales que sufren un proceso de secado (bulbos) o de suberización (tubérculos) que les permitirá, durante la conservación, reducir las pérdidas de agua y su susceptibilidad al ataque de patógenos (Maude, 1983; Tucker y Drew, 1982).

En el caso de los bulbos (ajo, cebolla) los procesos que tienen lugar son el secado de las

catáfilas externas y raíces y el cerrado del cuello. Esto permite reducir las pérdidas de agua del bulbo durante el almacenamiento siendo además una barrera física para daños mecánicos y patológicos (Gubb y MacTavish, 2002).

El curado depende de las variables termodinámicas del aire. Para bulbos las condiciones ideales temperaturas son de 36-38°C; humedad relativa de 50-60% y velocidad de circulación del aire de 7-20 m³/ min/ m³ de producto. En estas condiciones el proceso se realiza entre 2 y 4 días. Sin embargo, lo más común es que se inicie en condiciones no controladas, a campo, ya sea sobre los canteros o en envases (bins, cajones) que se cubren para evitar la entrada de agua, completándose en 25-45 días (Figura 1). Los bulbos se consideran curados cuando el cuello está cerrado, las capas externas se encuentran secas y crujientes y las raíces se desprenden fácilmente (Komochi, 1990).

En el caso de los tubérculos con el curado se busca la formación de un periderma de cicatrización. En primera instancia se produce la suberización de las células adyacentes a las heridas seguido por la formación de un periderma cicatrizante o capa de corcho que reduce la pérdida de agua y constituye una barrera a la entrada de patógenos. El curado en los tubérculos tiene lugar a temperaturas de 12-18°C con valores de humedad relativa de 85-90% de HR y en presencia de O₂ por un periodo de 7-15 días (Booth y Shaw, 1985).

Luego del curado los bulbos pueden ser almacenados en condiciones controlada por periodos de hasta 8 meses lo que dependerá del potencial de almacenamiento de la variedad y del cultivar. En el caso particular de las cebollas se considera que las de día corto tienen un potencial de conservación de entre 3-4 meses mientras que las de día largo tienen un potencial de conservación de entre 6-8 meses. Las condiciones óptimas para el almacenamiento de los bulbos es de 0-5°C y HR 75-80% o de lo contrario se pueden

almacenar en condiciones no controladas a temperaturas de 28-30°C (Komochi, 1990).

Los tubérculos también pueden almacenarse en condiciones controladas por periodos de 3-10 meses.

Las condiciones ideales de almacenamiento dependen mucho de la variedad, pero en general se requiere una temperatura de 8-12°C y 95-98% de HR. En el almacenamiento debe asegurarse una buena circulación del aire para evitar condiciones de anaerobiosis y acumulación de CO₂.

Tanto bulbos como tubérculos, a pesar de tener una baja actividad metabólica, dependiendo de las condiciones de conservación y una vez transcurrido el periodo de dormancia, puedan emitir brotes determinando pérdidas de calidad. El proceso de dormancia está regulado por las concentraciones relativas de promotores e inhibidores del crecimiento (Chope et al., 2006; Coleman et al., 1987). De este proceso participan las giberelinas (GA) y citoquininas que son los promotores mientras que el ácido abscísico (ABA) y etileno (C₂H₄) serían los responsables de inhibir el crecimiento de los brotes. En la cosecha, el contenido de ABA en tubérculos suele ser alto y disminuye durante el almacenamiento postcosecha, lo que coincide con la ruptura de la dormancia. Además de los reguladores de crecimiento, la dormancia está también regulada por factores genéticos y ambientales. Por lo tanto, el control del periodo de dormancia tiene una importancia económica fundamental. Dentro de los factores ambientales durante el almacenamiento aparecen la temperatura y la humedad relativa (Figura 2). Con el objetivo de prolongar el periodo de dormancia tanto los bulbos como los tubérculos se almacenan a baja temperatura y/o se tratan con inhibidores de la brotación. Sin embargo, en el caso de la papas, si las temperaturas son demasiado bajas, en el

entorno de los 4-5°C, se producen alteraciones de la calidad por el proceso conocido como endulzamiento, que implica la degradación del almidón a azúcares reductores afectando la calidad organoléptica y nutricional del producto procesado, en especial en las papas fritas (Figura 3).

Como alternativas químicas, se utilizan productos capaces de inhibir la brotación entre los que se encuentran la hidracida maléica y el 3-clorofenil-carbamato de isopropilo. Ambos son análogos de los reguladores de crecimiento vegetales responsables de la inhibición de la división y elongación celular. Estos productos si bien resultan efectivos en el control de la brotación, por su impacto sobre el medio ambiente su uso se encuentra cuestionado y ha sido restringido.

El C₂H₄ también se usa como inhibidor del crecimiento de los brotes durante el almacenamiento a concentraciones en torno a las 10 ppm. Tanto las aplicaciones de C₂H₄ durante el almacenamiento como las aplicaciones de ácido 2-cloroetilfosfónico en pre-cosecha han mostrado un aumento del periodo de almacenamiento de los bulbos (Adamicki, 2005; Bufler, 2009). El ácido 2-cloroetilfosfónico, comercializado como Etefón, es un producto químico que produce C₂H₄ cuando se hidroliza y que se aplica a concentraciones de 1,8 L ha⁻¹ directamente al follaje unas 2 semanas antes de la cosecha permitiendo mantener la dormancia (Adamicki, 2005). Sin embargo, la aplicación pre-cosecha de Etefón puede reducir significativamente el rendimiento al afectar el diámetro del bulbo y el peso (Thomas y Rankin, 1982). Es por eso que se ha optado por el suministro continuo de C₂H₄ en los almacenamiento tanto de bulbos como de tubérculos (Chope y Terry, 2008).

La inhibición de la brotación también puede lograrse a través de la utilización de la irradiación o radiación gamma a dosis de 0,15 kGy (Arvanitoyannis et al., 2009).

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos de alta temperatura permiten no solamente el control del crecimiento de los patógenos sino también de los procesos de maduración y senescencia en especial por su efecto sobre la síntesis de C_2H_4 responsable directo del proceso de maduración. La aplicación de temperaturas cercanas a los 35°C afecta tanto la síntesis como la actividad de las enzimas vinculadas al C_2H_4 . Como ejemplo de esto, manzanas tratadas con aire caliente (38°C), presentaron una actividad de la enzima aminociclopropano carboxilasa oxidasa (ACC oxidasa), 90% menor de la observada en los frutos no tratados que se correlacionó muy bien con la inhibición en la producción de C_2H_4 (Roh et al., 1995).

Otro proceso, vinculado a la maduración y senescencia también afectado por los tratamientos térmicos es el ablandamiento resultante de la pérdida de firmeza que no solamente reduce la vida poscosecha sino que además facilita el ataque por parte de los patógenos. En este sentido se ha observado que los tratamientos térmicos permiten prolongar la vida poscosecha al retardar el ablandamiento en papas (Bartolome y Hoff, 1972), peras (Maxie et al., 1974), cerezas (Van-Buren, 1974), melones (Barkain-Golan et al., 1991) y tomates (Biggs et al., 1988; Floros et al., 1992) entre otros. También en frutilla se observó un retardo del ablandamiento luego de que fueran tratadas con agua caliente a 45°C por 15 min (García et al., 1995) o con aire caliente a 45-48 °C por 3 horas (Civello et al., 1997; Vicente et al., 2002).

También en este caso el efecto sería a través de su acción sobre las enzimas responsables del ablandamiento como la poligalacturonasa (PG), glucanasa, pectin metil esterasa (PME) y β -galactosidasa entre otras que, dada la naturaleza protéica ven su estructura y funcionalidad afectadas al ser expuestas a las

altas temperaturas (Kagan-Zur et al., 1995; Sozzi et al., 1996).

Los tratamientos térmicos de alta temperatura también se utilizan para reducir o evitar los daños por frío, denominándose en este caso como acondicionamiento térmico o curado ya que se combinan con una elevada humedad relativa. La reducción de la sensibilidad al frío se asocia a diferentes factores entre los que se encuentran el aumento de la síntesis de las proteínas de shock térmico (HSPs) que interactúan con otras proteínas y elementos estructurales para prevenir y reparar los daños generados por el estrés. Algunos ejemplos de esto son los resultados citados por Lurie y Klein (1991) donde observaron que cuando tomates verde-maduros se colocaban por 3 días a 36, 38 ó 40 °C, antes de ser almacenados a 2°C por 3 semanas, no desarrollaban los síntomas característicos de los daños por frío correlacionándose con la presencia de proteínas HSPs que aumentaron durante el tratamiento y permanecieron durante la conservación. De esta forma, las HSPs podrían asociarse con proteínas de membranas y estabilizar su estructura y función durante y después del estrés térmico. Además, los tratamientos térmicos actuarían sobre los lípidos de la membrana celular determinando una mayor fluidez, estabilidad y una menor fuga de electrolitos en los productos acondicionados. Sumado a esto, un importante número de trabajos demuestran que los tratamientos térmicos determinan un aumento en los niveles de poliaminas, que también participan en la estabilización de las membranas (Gonzalez-Aguilar et al., 1998).

Los tratamientos térmicos también determinan la reducción del desarrollo de los microorganismos causantes de deterioro, en especial hongos, a través de la inhibición directa de su desarrollo, incluyendo la inhibición de la germinación de las esporas y el crecimiento del micelio y a través de su efecto a nivel de la cutícula de los frutos. Durante el crecimiento de los frutos y en la etapa

de poscosecha pueden surgir heridas de diferentes tamaños o incluso micro fracturas a nivel epicuticular que son vías de entrada de numerosos patógenos que colonizan a través de heridas (Roy et al., 1994). Diferentes trabajos evidencian que la aplicación de tratamientos térmicos puede eliminar estas heridas probablemente porque el calor cambiaría el estado físico de la cera haciéndola más plástica y de este modo al extenderse permitiría la oclusión de las lesiones.

Existen tres maneras de aplicar los tratamientos de altas temperaturas a los productos vegetales, estos son la utilización de agua caliente, vapor y aire forzado.

- **Baños y aspersión con agua caliente**

Resultan efectivos para el control de patógenos fúngicos debido a que las esporas y las infecciones latentes se encuentran tanto en la superficie como en las primeras células por debajo de la piel de frutas y hortalizas. Por lo general se aplican durante pocos minutos, ya que el agua es un medio de transferencia de calor más eficiente que el aire (Figura 4 y Figura 6 A). Una variante de los tratamientos con agua caliente es la utilización de duchas. Para ello se utilizan máquinas que pueden asperjar agua caliente sobre los productos y que pueden adicionarse a las líneas tradicionales de clasificación y acondicionamiento (Figura 6 B). En ellas los productos son transportados por una serie de rodillos rotatorios y mediante picos aspersores son sometidos a una ducha con agua caliente.

- **Vapor**

La utilización de vapor caliente es un método que transfiere calor a los frutos mediante la utilización de aire saturado con vapor de agua a una temperatura de 40-50°C (Figura 5). Este procedimiento se utilizó primeramente para el tratamiento cuarentenario frente a la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*) y actualmente se emplea durante los tratamientos

cuarentenarios que se realizan antes o durante el transporte marítimo con el objetivo de eliminar insectos (Animal and Plant Health Inspection Service, 1985). La transferencia de calor se realiza a través de la condensación del vapor de agua sobre la superficie de los frutos fríos.

- **Tratamiento con aire forzado**

Pueden ser aplicados colocando a los productos vegetales en una cámara caliente provista de un ventilador, o a través de la aplicación de aire caliente forzado donde se controla de manera estricta, la velocidad de circulación del aire. También se lo utiliza como alternativa al vapor para los tratamientos cuarentenarios en los casos en que el producto resulta dañado por el efecto de la alta humedad relativa (Armstrong et al., 1995; Dentener et al., 1996).

RADIACIÓN UV-C

La luz ultravioleta o radiación UV es la comprendida entre los 200 y 400 nm e incluye la luz ultravioleta C con λ de 200 a 280 nm, la luz ultravioleta B con λ de 280 a 320 nm y la luz ultravioleta A con λ de 320 a 400 nm (Diffey, 2002).

La radiación UV-C es una forma de radiación no ionizada con poca capacidad de penetración por lo que su efecto es a nivel de la superficie siendo muy efectiva para el control del crecimiento microbiano al actuar directamente sobre las esporas de hongos y bacterias afectando los entrecruzamientos del ADN o por la inducción de la producción de metabolitos secundarios de la planta que bloquean o enlentecen la germinación de las esporas (Bintsis et al., 2000; Sastry et al., 2000). Su efecto positivo sobre el control de los microorganismos se ha comprobado en cebollas (Lu, et al., 1987), zanahorias (Mercier y Arul, 1993), tomates (Liu et al., 1993, Maharaj, 1995), frutillas (Marquenie et al., 2002) y zapallo italiano (Erkan, et al., 2001) entre otros.

Además de su empleo para detener el deterioro ocasionado por el crecimiento de patógeno, la radiación UV-C ha sido evaluada como tratamiento para retardar el avance de los procesos de maduración y senescencia afectando a las enzimas que participan de este proceso (Figura 6). Como ejemplo de ello, tenemos el caso de frutillas donde la aplicación de dosis de $0,25 \text{ kJ m}^{-2}$ permitió reducir su tasa respiratoria en un 70% y el ablandamiento durante los 2 días de conservación refrigerada subsiguientes en relación a los frutos no tratados (Baka et al., 1999).

Por lo general, la dosis efectiva dependerá del producto y del tipo de patógeno a controlar. En este sentido, en tomate, citrus, duraznos y boniatos dosis de entre $1\text{-}4 \text{ kJ m}^{-2}$ disminuyeron la incidencia de *Monilinia fructicola*, *Rhizopus stolonifer* y *Penicillium digitatum* entre un 20-50% (Stevens et al., 1997). En el caso de frutillas, se logró un incremento de la vida de mostrador (4-5 días) luego del tratamiento con una dosis de $0,25 \text{ kJ m}^{-2}$ (Baka et al., 1999) puesto que dosis mayores, entre 1 y 4 kJ m^{-2} , causaron importantes pérdidas de calidad como oscurecimiento del cáliz, manchas blandas y pérdida de cianidinas y compuestos fenólicos (Pan et al., 2004).

Los cambios en el metabolismo de los productos se asocian con la hormesis que es un fenómeno de iniciación de una reacción positiva bajo una dosis baja de irradiación que se manifiesta como una respuesta al estrés que resulta beneficiosa (Shama y Alderson, 2005). Dosis horméticas de radiación son usadas como tratamientos físicos para extender la vida poscosecha de diversos productos ya que se ha demostrado que inducen la producción de sustancias antifúngicas (El Ghaouth et al., 2003), determinan un retraso de la maduración (Baka et al., 1999; Stevens et al., 2004; Pan et al., 2004) y reducción de los daños por frío (Vicente et al., 2005a; González-Aguilar et al., 2004).

Adicionalmente, algunos estudios sugieren que la radiación UV-C puede alterar la composición nutricional de algunas frutas y hortalizas, revelando su uso potencial en “alimentos funcionales”, que son alimentos que aportan beneficios para la salud más allá de la nutrición básica. Como ejemplos de esto figuran el aumento de la concentración de antocianidinas (Cantos et al., 2001) y resveratrol, compuesto presente en uvas que se asocia con propiedades anticancerígenas y otros compuestos relacionados (González-Barrio et al., 2006). También los niveles de antioxidantes como α -tocoferol, β -caroteno y ácido ascórbico, aumentaron luego del tratamiento UV-C a diversos vegetales verdes (Higashio et al., 1999).

Por tratarse de un tratamiento efectivo y amigable con el ambiente, ya que no deja residuos su implementación a nivel de plantas y líneas de proceso cobra cada vez mayor importancia. En la Figura 7 se muestra su aplicación en una planta de packing de manzana.

APLICACIÓN DE CALCIO

El calcio es un nutriente esencial involucrado en la división y elongación celular y además tiene un efecto positivo en los parámetros de calidad como la habilidad para madurar, contenido de vitamina C y firmeza. Por otra parte, las deficiencias en la nutrición cálcica determina la ocurrencia de desordenes fisiológicos como el picado amargo o “bitter pit” en manzanas, la podredumbre apical o “blossom-end rot” en tomates, la necrosis o “tip burn” en lechugas y frutillas y la vitrescencia en melón. También participa en el retraso de los procesos de maduración y senescencia a través de su efecto sobre la respiración (Bangerth, 1973 y 1979; Bramlage, 1995), proteínas, contenido clorofílico (Poovaiah y Leopold, 1973) y fluidez de la membrana (Paliyath et al., 1984). Está involucrado además en el mantenimiento de la textura de los productos vegetales ya que sus iones forman entrecruzamientos o puentes entre

los grupos carboxilo libres de las cadenas de pectinas dando como resultado un incremento de la resistencia de la pared celular (García *et al.*, 1996). En este sentido la firmeza y la resistencia al ablandamiento pueden aumentarse por el agregado de este elemento, contribuyendo a la estabilización de las membranas y a la formación de pectatos que aumentan la rigidez de la laminilla media y de las paredes celulares y retardan la acción de las enzimas responsables de la degradación como la PG (Poovaiah, 1986).

Diferentes trabajos demuestran los efectos positivos del calcio en el mantenimiento de la firmeza. García *et al.* (1996) lograron mantener la firmeza de frutillas tratadas con una solución de cloruro de calcio (CaCl_2) al 1%. Por su parte, Manganaris *et al.* (2007) mostraron que la inmersión de duraznos en una solución de CaCl_2 (62,5 mM) incrementó la firmeza de la pulpa y redujo la susceptibilidad a los desórdenes fisiológicos. En la mayoría de los casos, la aplicación de las sales de calcio se combina con los tratamientos térmicos para activar la PME que desesterifica la pectina quedando más puntos libres donde los iones calcio pueden enlazarse.

En el período poscosecha, el calcio puede ser aplicado a través de baños de inmersión, por duchas o directamente por infiltración al vacío. Es común que los tratamientos de inmersión se combinen con tratamientos térmicos.

Las aplicaciones por inmersión consisten en remojar el producto, con o sin agitación mecánica, seguido de la eliminación del exceso de solución de lavado. El tratamiento de inmersión favorece la dispersión de la solución en la superficie del producto. Factores como el pH, tiempo de inmersión, temperatura y concentración de la sal de calcio utilizada pueden afectar la integridad del producto. La mayoría de los trabajos de investigación citan tiempos de inmersión de entre 1 y 5 minutos.

Puede aplicarse también a través de la infiltración al vacío que implica la modificación de la composición del producto a través de la remoción parcial de agua y la impregnación con solutos sin afectar a la integridad del mismo. Como ventaja frente a otros métodos, permite una mayor penetración del calcio puesto que la cutícula de los frutos es una barrera importante. La fuerza motriz del proceso de infiltración puede ser el gradiente osmótico entre el producto y la solución, la aplicación de vacío seguida por la restauración de las condiciones atmosféricas o ambas (Zhao y Xie, 2004). Bajo vacío, el aire se extrae de los poros del producto y cuando se restablecen las condiciones atmosféricas, la solución penetra en los espacios intercelulares por capilaridad y gradiente de presión.

IRRADIACIÓN

La irradiación también llamada pasteurización fría, consiste en la aplicación de radiaciones ionizantes, generalmente electrones de alta energía u ondas electromagnéticas (radiación X o gamma). El proceso involucra la exposición de los productos a cantidades controladas de esta radiación para lograr ciertos objetivos, como preservar la calidad y extender la vida útil de los mismos.

En esta técnica, se define como dosis a la cantidad de energía por unidad de masa de producto y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Joule de energía por kilo de masa irradiada. Se utilizan actualmente 4 fuentes de energía ionizante, los rayos gamma provenientes de cobalto radioactivo 60 (Co); los rayos gamma provenientes de cesio radioactivo 137 (Cs); los rayos X, de energía no mayor de 5 MeV y los electrones acelerados, de energía no mayor de 10 MeV. Los dos últimos son producidos por medio de aceleradores de electrones, alimentadas por corriente eléctrica.

A pesar de que la irradiación aparece también como una tecnología emergente, desde el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y el descubrimiento posterior de las sustancias radiactivas por Becquerel, sus efectos biológicos han despertado interés por parte de los investigadores de diferentes áreas.

Dentro de sus aplicaciones se encuentran la inhibición de la brotación de bulbos (cebolla y ajo), tubérculos (papas), así como, el bloqueo del crecimiento de los tallos de espárrago y algunas setas (Thomas, 1984). Este tratamiento se utiliza como sustituto de los tratamientos químicos como por ejemplo la hidrazida maléica. Actúa a nivel del metabolismo celular retardando los procesos de maduración y senescencia en muchos productos vegetales induciendo una disminución de la tasa respiratoria, la síntesis de C_2H_4 y la pérdida de agua (Baccaunaud, 1988; Baccaunaud y Chapon, 1985).

Además permite la eliminación de los microorganismos contaminantes y sobre todo, la eliminación de insectos siendo ésta su principal utilización a nivel comercial. Muchos países han autorizado el tratamiento de productos vegetales con radiaciones ionizantes con el objetivo de desinfección y/o como tratamientos cuarentenarios (Hallman, 1999). A pesar de que las dosis empleadas para el control de los microorganismos dependen del tipo de producto y la carga microbiana inicial, es común la utilización de dosis de entre 3 y 4 kGy. Aunque en algunos casos, para el control de *Clostridium*, *Alternaria* y *Botrytis*, se usan dosis mayores, de 7 y 8 kGy (Josephson y Peterson, 1983; Kader, 1986).

CONTROL DE LA MADURACIÓN

El proceso de maduración y senescencia en los productos vegetales está vinculado al C_2H_4 , responsable de procesos como los cambios de

color, vinculados principalmente a la degradación de la clorofila; el ablandamiento así como la degradación del almidón y ácidos orgánicos, consecuencia de un aumento de la respiración. Algunos de estos cambios pueden ser deseables mientras que otros pueden resultar en daños o deterioro con la consiguiente reducción de la vida útil.

La manipulación del C_2H_4 puede promover o inhibir los procesos de maduración y senescencia y puede emplearse con el objetivo de regular el stock de materia prima en las plantas de elaboración de productos de IV gama. Se puede conseguir controlando los niveles en los tejidos a través de la adición o remoción; inhibiendo o estimulando la biosíntesis; modificando la acción, afectando los receptores y a través de la modificación de la expresión génica (Yang, 1980).

La reducción de los niveles de C_2H_4 en los tejidos se puede alcanzar a través de la modificación de su síntesis empleando inhibidores entre los que se encuentran la aminoetoxivinilglicina, (AVG) y el ácido aminooxiacético (AOA). En el caso de la AVG, su posible modo de acción sería afectando a las proteínas funcionales que se sintetizan durante la maduración de los productos vegetales (Grierson, 1984). Al verse afectada la síntesis de buena parte de estas proteínas se afectaría el proceso de maduración y senescencia de manera significativa (Salveit, 2005).

Por otra parte, la regulación de la acción del C_2H_4 puede conseguirse a través de la exposición al 1-metilciclopropeno (1-MCP) que se asocia a los receptores haciéndoles inaccesibles al gas impidiendo así la respuesta al mismo (Sisler y Lallu, 1994; Serek et al., 1995; Sisler y Serek, 1997). Este producto se aplica como gas en un recinto cerrado durante 1 a 24 h y a concentraciones que varían entre 10 a 1000 nLL⁻¹ o incluso mayores, causando un retraso del proceso de maduración. Sin embargo, también existen formulaciones que permiten su aplicación como soluciones acuosas lo que facilita su aplicación en particular en el

período pre-cosecha (Elfving et al., 2007; Choi y Huber, 2008).

En el caso de los frutos climatéricos, el 1-MCP retrasa la respiración, la producción de C_2H_4 y el ablandamiento. A pesar de las similitudes entre la bioquímica de la maduración de los productos vegetales, la sensibilidad al 1-MCP en virtud del momento de aplicación (período pre-climatérico o climatérico) muestra claras diferencias entre productos por lo que, el estado de madurez es un factor determinante de la respuesta que debe ser ajustado (Zhang et al., 2009).

Algunos ejemplos de la utilización de este producto indican que la aplicación de 1-MCP permitió reducir la incidencia del pardeamiento de las nervaduras (russet spotting) en lechuga iceberg aumentando la vida útil de ésta luego del procesamiento mínimo (Fan y Mattheis., 2000; Wills et al., 2002). Por otra parte, la exposición al 1-MCP retrasó el desarrollo de color, ablandamiento, y el climaterio en tomate cosechado en el estado verde-maduro y pintón (Sisler y Blankenship, 1993; Sisler y Lallu, 1994; Hoeberichts et al., 2002). Con el objetivo de retardar el proceso de maduración y la incidencia de daño por frío en tomate se realizó la aplicación de 1-MCP ($1,0\mu L L^{-1}$) previo a la conservación a 5, 10 y $20^{\circ}C$. Luego de 14 días de conservación se observó un retardo en la maduración en los frutos almacenados a 10 y $20^{\circ}C$ en comparación con el testigo sin aplicación de 1-MCP (Brackmann et al., 2009).

También se ha demostrado que el uso de 1-MCP permitió mantener la calidad de brócoli especialmente al reducir la degradación de la clorofila (Cefola et al., 2010).

Entre los efectos del C_2H_4 , se ha demostrado que acelera la degradación de clorofila e induce la síntesis de carotenoides (Salveit, 1999), efecto que se utiliza para favorecer el proceso de

maduración en el caso de productos climatéricos y provocar cambios en la coloración en los productos no climatéricos. La aplicación de C_2H_4 exógeno se conoce como desverdizado y se realiza en cámaras especiales donde deben tenerse en cuenta la temperatura, humedad relativa, renovación del aire y concentración de C_2H_4 utilizada y estado de madurez del producto vegetal (Molinari et al., 1999). En relación al estado de madurez, los frutos cosechados sin que se haya iniciado el proceso de degradación de la clorofila, no responden a la aplicación de C_2H_4 (Fox et al., 2005).

En otro trabajo se aplicó C_2H_4 ($120 \mu L L^{-1}$) cada 6 horas por un periodo de 88 horas a $22^{\circ}C$ y 80% de HR a pimiento de los cultivares Rubia R (frutos rojos) y Prador R (frutos amarillos) cosechados con un 15% de color superficial consiguiéndose un adelanto de la maduración (Cerqueira-Pereira et al. 2007).

En otro trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de 1-MCP ($250 nL L^{-1}$) durante 8 h a $15^{\circ}C$, a tomates cosechados en estado verde-maduro conservados luego por 5 días a $15^{\circ}C$ y durante 5-8 días a $22^{\circ}C$. Encontrándose que, en vida de mostrador los frutos tratados presentaban menos color rojo en piel y pulpa y mayor harinosidad (Cliff et al., 2009).

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Red Temática Cyted-Hortyfresco y a la Dra. Rosa María Valdebenito, Dr. Gabriel Vicente Bentancourt, Dra. Encarna Aguayo quienes aportaron parte de las fotografías presentadas en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- ADAMICKI, F. 2005. Effects of pre-harvest treatments and storage conditions on quality and shelf-life of onions. *Acta Horticulturae*, 688:26-33.
- ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE. 1985. Plant protection and quarantine manual. Section III, 9 and section VI-T106. US Dept. Agric., Wash. DC.
- ARMSTRONG, J.; HU, B.; BROWN, S. 1995. Single-temperature torced hot air quarantine treatment to control fruit flies (Diptera: *Tephritidae*) in papaya. *Journal of Economic Entomology*, 88: 678-682.
- ARVANITOYANNIS, I. S.; STRATAKOS, A. C.; TSAROUHAS, P. 2009. Irradiation Applications in Vegetables and Fruits: A Reviews. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 49(5): 427-462.
- BACCAUNAUD, M. 1988. Effect l'ionisation sur les fruits et légumes destinés à la consommation en frais. En : Vasseur, J.P. (ed), *L'Ionisation des Produits Alimentaires*, Paris, France. Lavoisier, 330-349.
- BACCAUNAUD, M.; CHAPON, J.F. 1985. L'ionisation. Application aux fruits et legumes. *Infos-Ctifl*.9. Mars, 43-56.
- BAKA, M.; MERCIER, J.; CORCUFF, R.; CASTAIGNE, F.; ARUL, J. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 64:1068-1072.
- BANGERTH, F. 1973. Investigations upon Ca-related physiological disorders. *Phytopathology*, 77: 20-37.
- BANGERTH, F. 1979. Calcium-related physiological disorders in plants. *Annual Review of Phytopathology*, 17: 97-122.
- BARKAI-GOLAN, R.; PHILLIPS, D.J. 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. *Plant Diseases*, 75: 1085-1089.
- BARTOLOME, L.G., HOFF, J.E. 1972. Firming of potatoes: biochemical effect of preheating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20:266-270.
- BIGGS, M.S.; WOODSON, W.R.; HANDA, A.K. 1988. Biochemical basis of high-temperature inhibition of ethylene biosynthesis in ripening tomato fruits. *Physiology Plantarum*, 72:572-578.
- BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R.K. 2000. Existing and potencial applications of ultraviolet light in the food industry, a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80:637-645.
- BOOTH, R.; SHAW, R. 1985. Principios de almacenamiento de papa. Centro internacional de la Papa. Lima-Peru. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur SRL, Motevideo-Uruguay. 105 p.
- BRACKMANN, A.; HETTWER, R.; EISERMANN, A.C.; WEBER, A.; HELDWING, A. 2009. Inibição da ação do etileno e temperatura de armazenamento no padrão de amadurecimento de tomate. *Ciência Rural*, 39 (6): 1688-1694.
- BRAMLAGE, W. 1995. Calcio y desórdenes fisiológicos Simposio Internacional Calcio en Fruticultura, Talca, Chile. Universidad de Talca, Escuela de Agronomía, 73-81.
- BUFLER, G. 2009. Exogenous ethylene inhibits sprout growth in onion bulbs. *Annals of Botany*, 103: 23-28.

- CANTOS, E.; ESPÍN, J.C.; TOMÁS-BERBERÁN, F. 2001. Postharvest induction modeling method using UV irradiation pulses for obtaining resveratrol-enriched table grapes. A new functional fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 5052-5058.
- CEFOLA, M.; AMODIO, M.L.; RINALDI, R.; VANADIA, L.; COLELLI, G. 2010. Exposure to 1-methylcyclopropene (1-MCP) delay the effect of ethylene on fresh-cut broccoli raab (*Brassica rappa* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 58:29-35.
- CERQUEIRA-PEREIRA, E. C.; PEREIRA, M. A.; MELLO, S. C.; JACOMINO, A. P.; TREVISAN, M. J.; DIAS, C. T. 2007. Efeito da aplicação de etileno na qualidade pós-colheita de frutos de pimentão vermelhos e amarelos. *Horticultura Brasileira* 25: 590-583.
- CHOI, S.T.; HUBER, D.J., 2008. Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49:147-154.
- CHOPE, G.A.; TERRY, L.A.; WHITE, P.J. 2006. Effect of controlled atmosphere storage on abscisic acid concentration and other biochemical attributes of onion bulbs. *Postharvest Biology and Technology*, 39:233-242.
- CHOPE, G.A.; TERRY, L.A. 2008. The role of abscisic acid and ethylene in onion bulb dormancy and sprout suppression. *Stewart Postharvest Review*, 4:1-7.
- CIVELLO, P.M.; MARTÍNEZ, G.A.; CHAVES, A.R.; AÑÓN, M.C. 1997. Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45:4589-4594.
- CLIFF, M.; LOK, S.; LU, C.; TOIVONEN, P.M.A. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on sensory, visual and analytical quality of greenhouse tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 53:11-15.
- COLEMAN, W.K. 1987. Dormancy release in potato tubers: a review. *Potato Research* 14:96-101.
- DENTENER, P.R.; ALEXANDER, S.M.; LESTER, P.J.; PETRY, R.J.; MAINDONALD, J.H.; MCDONALD, R.M. 1996. Hot air treatment for disinfestation of light-brown apple moth and long-tailed mealy bug on persimmons. *Postharvest Biology and Technology*, 8:143-152.
- DIFFEY, B.L. 2002. Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28: 4-13.
- EL GHAOUTH, A.; WILSON, C.L.; CALLAHAN, A.M. 2003. Induction of chitinase, β -1,3-glucanase and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. *Phytopathology*, 93:349-355.
- ELFVING, D.C.; DRAKE, S.R.; REED, A.N.; VISSER, D.B. 2007. Preharvest applications of sprayable 1-methylcyclopropene in the orchard for management of apple harvest and postharvest condition. *HortScience*, 42:1192-1199.
- ERKAN, M.; WANG, C. Y.; KRIZEK, D.T. 2001. UV-C radiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 45:1-9.
- FAN, X.; MATTHEIS, J.P. 2000. Reduction of ethylene-induced physiological disorders of carrots and iceberg lettuce by 1-methylcyclopropene. *HortScience* 35:1312-1314.
- FLOROS, J.D.; EKANAYAKE, A.; ABIDE, G.P.; NELSON, P.E. 1992. Optimization of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4:30-33.

- FOX A. J.; POZO-INSFRAN D. D.; LEE J. H.; STEVEN A. S.; TALCOTT T. S. 2005. Ripening induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. *Hortscience*, 40: 732-736.
- GARCÍA, J.M.; AGUILERA, C.; ALBI, M.A. 1995. Postharvest heat treatment on Spanish strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Tudla). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43:1489-1492.
- GARCÍA, J.M.; HERRERA, S.; MORILLA, A. 1996. Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44:30-33.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A.; ZACARÍAS, L.; LAFUENTE, M.T. 1998. Ripening affects high temperature induced polyamines and their changes during cold storage of hybrid 'Fortune' mandarins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46:3503-3508.
- GONZALEZ-AGUILAR, G.; WANG, C.Y.; BUTA, G.J., 2004. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 84:415-422.
- GONZÁLEZ-BARRIO, R.; BELTRÁN, D.; CANTOS, E.; GIL, M.I.; ESPÍN, J.C.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. 2006. Comparison of Ozone and UV-C Treatments on the Postharvest Stilbenoid Monomers, Dimers and Trimers Induction in Var. 'Superior' White Table Grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 4222-4228
- GRIERSON, D.1984. Nucleic acid and protein synthesis during fruit ripening and senescence. In: Society for Experimental Biology Seminar Series. Cambridge University Press, Cambridge.
- GUBB, I.R.; MACTAVISH, H.S. 2002. Onion pre- and postharvest considerations. In: Rabinowitch, H.D. Currah, L., (eds). *Allium crop science: recent advances*. Wallingford: CABI Publishing, 233-265.
- HALLMAN, G.J. 1999. Ionizing radiation quarantine treatments against tephritid fruit flies. *Postharvest Biology and Technology*, 16:93-106.
- HIGASHIO, H.; IPPOUSHI, H.; ITO, H.; AZUMA, K. 1999. Induction of an oxidative defense system against UV-stress and application to improve quality of green vegetables. In: Proceedings of the International Symp on Quality of Fresh and Fermented Vegetables. J.M. Lee, K.S. Gross, A.E. Watada & S.K. Lee(eds). *Acta Horticulture*, 483: 299-302.
- HOEBERICHTS, F.A.; VAN DER PLAS, L.H.W.; WOLTERING, E.J. 2002. Ethylene perception is required for the expression of tomato ripening-related genes and associated physiological changes even at advanced stages of ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 26:125-133.
- JOSEPHSON, E.S.; PETERSON, M.S. 1983. *Preservation of food by ionizing radiation*, 3, 10. CRC Press Inc., Florida. USA.
- KADER, A.A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technology*, 40:117-121.
- KAGAN-ZUR, V.; TIEMAN, D.M.; MARLOW, J.S.; HANDA, A.K. 1995. Differential regulation of polygalacturonase and pectin methylesterase gene expression during and after heat stress in ripening tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) fruits. *Plant Molecular Biology*, 29:1101-1110
- KOMOCHI, S., 1990. Bulb dormancy and storage physiology. In: Rabinowitch, H.D., Brewster, J.L. (eds.). *Onions and Allied Crops, Botany, Physiology and Genetics*. CRC Press, BOca Raton, FL, pp. 1-26.

- LIU, J.; STEVENS, C.; KHAN, V.A.; LU, J.Y.; WILSON, C.L.; ADEYEYE, O.; KABWE, M.K.; PUSEY, P.L.; CHALUTZ, E.; SULTANA, T.; DROBY, S. 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection* 56: 868-872.
- LU, J.Y.; STEVENS, C.; YAKABU, P.; LORETAN, P.A.; EAKIN, D. 1987. Gamma, electron beam and ultraviolet radiation on control of storage rots and quality of Walla Walla onions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 12: 53-62.
- LURIE, S.; KLEIN, J.D. 1991. Acquisition of low temperature tolerance in tomatoes by exposure to high temperature stress. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 116:1007-1012.
- MAHARAJ, R. 1995. The effect of ultraviolet radiation (UV-C) on the postharvest storage behaviour of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Capello). PhD thesis. Laval University, Quebec, Canada.
- MANGANARIS, G.A.; VASILAKAKIS, M.; DIAMANTIDIS, G.; MIGNANI, I. 2007. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100:1385-1392.
- MARQUENIE, D.; MICHIELS, C. W.; GEERAERD, A. H.; SCHENK, A.; SOONTJENS, C.; VAN IMPE, J. F.; NICOLÄI, B. M. 2002. Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *International Journal of Food Microbiology*, 73:187-196.
- MAUDE, R.B. 1983. Onions. In: *Post-Harvest Pathology of Fruits and Vegetables*, pp. 73-101. C. Dennis (ed), Academic Press, New York, NY.
- MAXIE, E.; MITCHELL, G.; SOMMER, N.; SNYDER, G.; RAE, H. 1974. Effect of elevated temperature on ripening of Bartlett pear. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 99:344-349.
- MERCIER, J.; ARUL, J. 1993. Induction of systemic disease resistance in carrot roots by pre-inoculation with storage pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 15:281-283.
- MOLINARI, A. F.; CASTRO, L. R.; ANTONIALI, S.; PORNCHALOEMPONG, P.; FOX, A. J.; SARGENT, S. A. 1999. The potential for bell pepper harvest prior to full color development. *Horticultural Society* 112: 143-146.
- PALIYATH G.; POOVAIAH, B.W.; MUNSKE, G.R.; MAGNUSON J.A. 1984. Membrane fluidity in senescing apples: Effects of temperature and calcium. *Plant Cell Physiology*, 25:1083-1087.
- PAN, J.; VICENTE, A.R.; MARTINEZ, G.A.; CHAVES, A.R.; CIVELLO, P.M. 2004. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84:1831-1838.
- POOVAIAH, I.B. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology*, 40:86-89.
- POOVAIAH, B. W.; LEOPOLD, A.C. 1973. Inhibition of abscission by calcium. *Plant Physiology*, 51:848-851.
- ROH, K.A.; LEE, B.M.; LEE, D.C.; PARK, M.E. 1995. Effects of temperature on ethylene biosynthesis of apples. *Journal of Agricultural Science Farm Management*, 37: 696-700.

- ROY, S.; CONWAY, W.S.; WATADA, A.E.; SAMS, C.I.; ERBE, E.F.; WERGIN, W.P. 1994. Heat treatment affects epicuticular wax structure and postharvest calcium uptake in 'Golden delicious' apples. *HortScience*, 29:1056-1058.
- SALTVEIT, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15:279-292.
- SALVEIT, M.E. 2005. Influence of heat shocks on the kinetics of chilling induced ion leakage from tomato pericarp discs. *Postharvest Biology and Technology*, 36:87-92.
- SASTRY, S.K., DATTA, A.K., WOROBO, R.W. 2000. Ultraviolet light. *Journal of Food Science* 50:90-92.
- SEREK, M.; SISLER, E.C.; REID, M.S. 1995. 1-Methylcyclopropane, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruits, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae*, 394:337-345.
- SISLER, E.C.; BLANKENSHIP, S.M. 1993. Effect of diazocyclopentadiene on tomato ripening. *Plant Growth Regulation*, 12:155-160.
- SISLER, E.C.; LALLU, N. 1994. Effect of diazocyclopentadiene (DACP) on tomato fruits harvested at different ripening stages. *Postharvest Biology and Technology*, 4:245-254.
- SISLER, E.C.; SEREK, M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiology Plantarum*, 100:577-582.
- SHAMA, G.; ALDERSON, P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends in Food Science and Technology*, 16:128-13
- SOZZI, G.O.; CASCONI, O.; FRASCHINA, A.A. 1996. Effect of a high temperature stress on endo- β -mannanase and α and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 9:49-63.
- STEVENS, C.; KHAN, V.A.; LU, J.Y.; WILSON, C.L.; PUSEY, P.L.; IGWEGBE, E.C.K. 1997. Integration of ultraviolet (UV-C) light with yeast treatment for control of postharvest storage rots of fruits and vegetables. *Biological Control*, 10:98-103.
- THOMAS, P. 1984. Radiation preservation of food of plant origin. II-Onions and other bulb crops. CRC. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 21:95-136.
- THOMAS, T.H.; RANKIN, W.E.F. 1982. Effect of ethephon on bulbing, bull necking, yield and sprouting during storage of two onion cultivars (*Allium cepa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 57: 465-467.
- TUCKER, W.G.; DREW, R.L.K. 1982. Post-harvest studies on autumn-drilled bulb onions. The effect of harvest date, conditioning treatments and field drying on skin quality and on storage performance. *Journal of Horticultural Science* 57:339-348.
- VAN-BUREN, J.P. 1974. Heat treatments and the texture and pectins of restart cherries. *Journal of Food Science*, 39:1203-1205.
- VICENTE, A.R.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M.; CHAVES, A.R. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruits during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25:59-71.
- VICENTE, A.R.; PINEDA, C.; LEMOINE, L.; CIVELLO, P.M.; MARTÍNEZ, G.A.; CHAVES, A.R., 2005. UV-C treatment reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology*, 35:69-78.

WILLS, R.B.H.; KU, V.V.V. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26:85-90.

YANG, S.F. 1980. Regulation of ethylene biosynthesis. *Horticultural Science*, 15(3):238-243.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; HURR, B.M.; RAO, J. 2009. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. *Postharvest Biology and Technology*, 54:1-8.

ZHAO, Y.; XIE, J. 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15:434-451.



Figura 1. Estructuras para el curado de cebolla en el sur de Uruguay. (Fuente: MSc. Fernanda Zaccari, Uruguay).

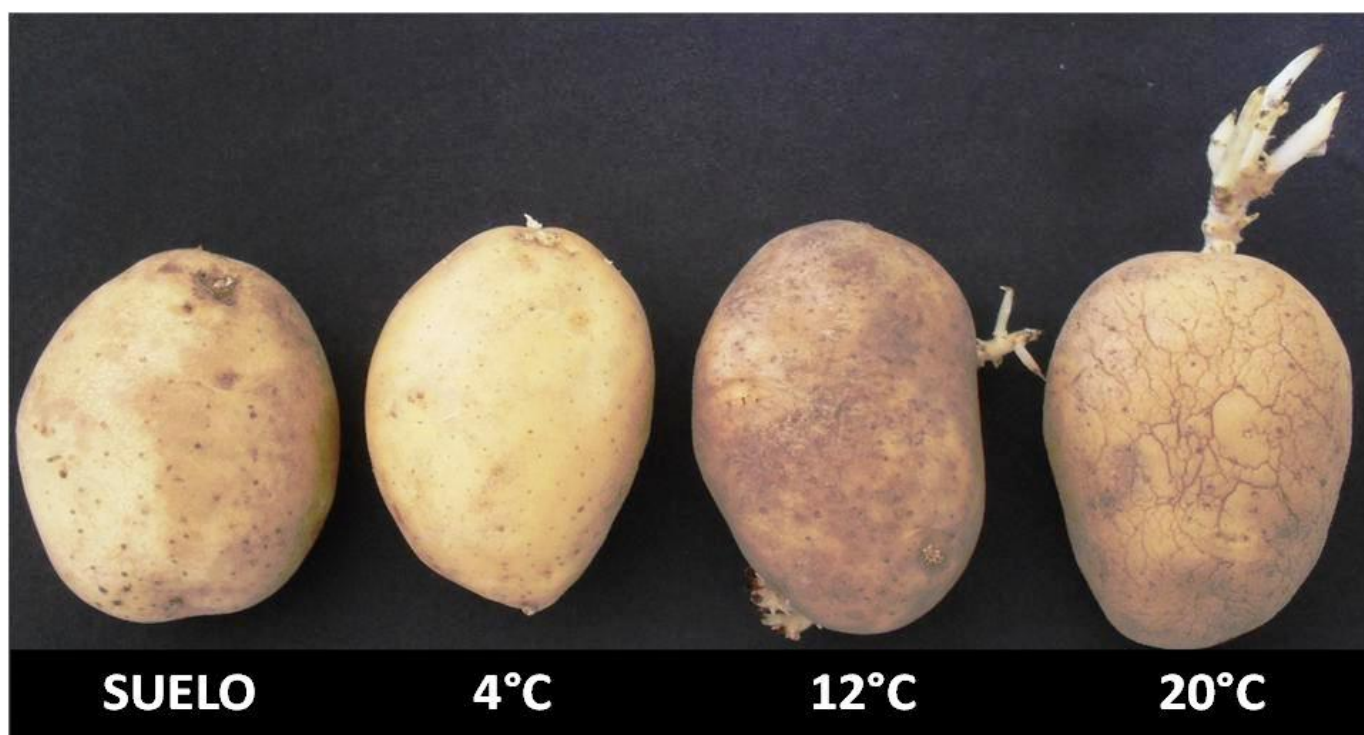


Figura 2. Efecto de la temperatura de conservación sobre el mantenimiento de la dormancia de papa (Fuente: Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Facultad de Agronomía, Uruguay).



Figura 3. Efecto de la temperatura de conservación sobre el mantenimiento de la dormancia de papa (Fuente: Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Facultad de Agronomía, Uruguay).



Figura 4. Tratamiento térmico por inmersión en papaya (Fuente: gentileza Dr. Gabriel Bitencourt, Brasil).



Figura 5. Tratamiento térmico mediante vapor (Fuente: Dra. Ana Silveira).



Figura 6. Tratamiento térmico (A) inmersión en agua caliente a nivel experimental (Fuente: Dra. Encarna Aguayo, UPCT-GPR, España) y (B) mediante ducha en planta de packing de manzana (Fuente: Dra. Rosa María Valdebenito, Brasil)



Figura 7. Tratamiento con radiación UV-C en combinación con hipoclorito de sodio (NaClO) en planta de packing de manzana (Fuente: Dra. Rosa María Valdebenito, Brasil)

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS SENSORIAL EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PRODUCTOS FRESCOS CORTADOS

Application of sensory analysis in the evaluation of quality fresh-cut vegetables

Silvia Del Carmen Rodríguez ^{1,2}, Silvina M. Generoso¹, Diego R. Gutierrez ² y Ana G. Questa ¹

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912. (4200) - Santiago del Estero-Argentina.

E-mail: silviadepece@hotmail.com

² CITSE-CONICET-UNSE. RN 9, Km 1125. Villa El Zanjón. (CP 4206) - Santiago del Estero. Argentina

RESUMEN

Las frutas y hortalizas frescas cortadas ofrecidas en el mercado deben ser de buena calidad, esto significa que deben ser sensorialmente aceptables e inocuas. Una vez que la seguridad e higiene están garantizadas, sus propiedades organolépticas pasan a ser el criterio más importante que determina la elección y, más aún la fidelidad y repetición de compra por parte del consumidor. En este trabajo se realiza una revisión de las metodologías más utilizadas en la evaluación sensorial para valorar la calidad de vegetales frescos cortados y su evolución luego de la aplicación de diferentes tecnologías postcosecha. Se presenta el uso de distintos tipos de pruebas: a-pruebas de preferencia y b-análisis descriptivo cualitativo en granos de maíz dulce (*Zea mays*) fresco cortado y c-escalas estructuradas para la valoración de vegetales de hoja: espinacas (*Spinacia oleracea*), repollo (*Brassica oleracea*) y rúcula (*Eruca sativa*). La prueba a- se llevó a cabo con evaluadores no entrenados y las b- y c- con jueces entrenados. Se aplicaron distintos tratamientos tales como atmósferas modificadas pasivas en rúcula cortada, tratamientos térmicos con agua caliente en granos de maíz y espinacas, luz UV-C en rúcula cortada. En todos los casos, estas pruebas permitieron determinar el punto de corte en lo que a período de comercialización se refiere de las hortalizas estudiadas, destacando de esta

forma los beneficios potenciales que resultan del buen uso de esta metodología.

Palabras clave: vegetales frescos cortados, calidad sensorial, pruebas de preferencia, análisis descriptivos.

SUMMARY

The fresh-cut fruit and vegetables offered at the market must be of good quality, this means they must be sensory acceptable and harmless. Once health and safety are guaranteed, their organoleptic properties become the most important criterion determining the choice and even more loyalty and repeat purchase by the consumer. In this paper, a review of the methodologies most used in the sensory evaluation to assess the quality of fresh cut vegetables and its evolution after applying different post-harvest technologies was performed. The use of different types of tests were studied: a-preference tests and b-descriptive analysis in sweet corn (*Zea mays*) minimally processed and c-structured hedonic scales for the assessment of leafy vegetables: spinach (*Spinacia oleracea*), cabbage (*Brassica oleracea*) and rocket (*Eruca sativa*). The test a-was conducted with untrained assessors and the b-

and c-with trained judges. Different treatments were applied such as passive modified atmosphere in chopped rocket, heat treatments in corn and spinach, UV-C light in rocket. These tests allowed to determine the cut-off point as far as marketing is concerned period of the studied vegetables, thus highlighting the potential benefits resulting from the proper use of this methodology.

Keywords: fresh-cut vegetables, sensory quality, preference tests, descriptive analysis.

INTRODUCCIÓN

En el mundo occidental existe la tendencia hacia una mayor demanda y consumo de frutas y hortalizas, motivado fundamentalmente por una creciente preocupación por una dieta más equilibrada, rica en fibra dietaria, vitaminas y minerales (Fiszman, 2005). Los vegetales contienen sustancias antioxidantes y otros compuestos fitoquímicos, los que juegan un rol importante en la nutrición humana debido a su capacidad de secuestrar radicales libres y a la inducción de genes que codifican la formación de enzimas anticarcinogénicas (Kaur y Kapoor, 2001).

Los hábitos de alimentación del consumidor actual han cambiado durante la última década: el ritmo de vida, en el que hay poco tiempo para la preparación de una comida adecuada, ha hecho surgir un nuevo tipo de demanda de productos frescos, saludables y listos para consumir (Tomás-Callejas *et al.*, 2010). De esta forma, los vegetales mínimamente procesados (VMP) o de la IV gama representan una importante alternativa.

Se define a los VMP, también llamados vegetales frescos cortados, a las frutas y hortalizas que poseen tejidos vivos y que han sido modificados físicamente de su estado natural para obtener un producto 100% consumible, el cual se envasa y

mantiene refrigerado (Beaulieu, 2011). Para su elaboración se usan métodos físicos simples de preparación y se envasan bajo atmósferas modificadas, utilizando películas plásticas con adecuada permeabilidad a los gases, y se mantienen refrigerados hasta el consumo (Artes, 2000), lo que ayuda a mantener la calidad y a extender la vida comercial de estos alimentos.

El proceso al que se somete un vegetal, depende del producto, y puede incluir operaciones combinadas como: selección, refrigeración, deshojado, pelado, remoción de partes no comestibles, cortado, mezclado, lavado, desinfección, escurrido y envasado, entre las principales.

Los VMP en su preparación industrial sufren cambios poco notables respecto al vegetal original, tanto en las propiedades deseables para el alimento y en particular de las nutritivas, organolépticas y las relacionadas con su facilidad de utilización y conveniencia (Artés *et al.*, 2009; Tomás-Callejas *et al.*, 2010).

La calidad de las hortalizas y frutas frescas cortadas resulta de una combinación de parámetros que incluye apariencia, textura, sabor y valor nutricional, los que determinan su valor para el consumidor (Kader, 2002). La importancia relativa de cada parámetro de calidad depende del producto, forma de consumo (fresco o cocido) y de los intereses individuales del consumidor. Si bien los consumidores juzgan la calidad de los VMP en base a la apariencia y frescura al momento de la primera compra, las adquisiciones posteriores dependen de la satisfacción alcanzada en términos de textura y sabor, sin dejar de interesarse por su calidad nutricional y seguridad (Rico, 2007; Mondito, 2006).

La vida de anaquel de los VMP está limitada por su carácter perecedero. Las operaciones a las que son sometidos para su preparación influyen significativamente en los distintos mecanismos de alteración al provocar cambios físicos y

fisiológicos. Los principales signos de deterioro incluyen cambios en la textura (debido a la pérdida de agua), en el color (debido al pardeamiento enzimático en la superficie de corte), pérdida de nutrientes y rápido desarrollo microbiano (Salinas-Hernández et al., 2007; Toivonen y Brummell, 2008).

Dado que se intenta satisfacer las necesidades del consumidor, los aspectos cualitativos de la calidad de estos productos han cobrado mayor importancia que los cuantitativos. Si bien se utilizan instrumentos analíticos para evaluar la calidad, por métodos objetivos, no es posible inferir si las diferencias detectadas por éstos también podrán ser percibidas por los consumidores. Resulta oportuno destacar que en el desarrollo de VMP se realiza una valoración de caracteres organolépticos. Sin embargo, aún no se utiliza la evaluación sensorial (ES) aprovechando todos los beneficios potenciales resultantes del buen uso de esta metodología (Questa et al., 2007).

EL ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial es una herramienta imprescindible para obtener información sobre algunos aspectos de la calidad de los alimentos, a los que no se puede tener acceso con otras técnicas analíticas. Como se conoce, uno de los objetivos de esta disciplina es interpretar las respuestas de los consumidores apreciadas principalmente por los sentidos, cuando valoran la calidad o la aceptabilidad de los productos. Los resultados permiten determinar cómo el procesamiento y la formulación de un producto afectan la aceptabilidad de un alimento. Por tanto, el uso de esta herramienta es valioso, ya que no debe minimizarse la calidad desde el punto de vista del consumidor, es decir, aquella que éste quiere y necesita (Rodríguez y Generoso, 2012).

Al respecto Questa et al. (2007) proponen un resumen sobre los tipos de pruebas que se emplean habitualmente para la evaluación sensorial de alimentos. Estos autores especifican que las pruebas hedónicas tienen como objetivo determinar la aceptación o rechazo de una muestra y se realizan con al menos 30 jueces. Los jueces no necesitan estar entrenados y las condiciones en que se realiza la evaluación son las reales de consumo. Por otra parte, las pruebas discriminativas permiten detectar la presencia o ausencia de diferencias de atributos sensoriales entre dos o más productos. Estas pruebas se realizan con al menos 10 a 20 jueces entrenados o semientrenados en condiciones especiales de laboratorio. Por último están las pruebas descriptivas las que pueden ser cualitativas y cuantitativas y se usan para caracterizar alimentos cuali y cuantitativamente. En estas pruebas se trabaja con 8 a 10 jueces entrenados y se llevan a cabo en condiciones de laboratorio.

Muchas investigaciones relacionadas con el desarrollo de VMP, circunscriben la calidad del producto a atributos objetivos que solo en algunos casos, correlacionan con juicios sensoriales, pero aun así difícilmente puedan sustituir al ser humano. En última instancia, son las personas las que deben valorar la calidad de un alimento, expresar la compleja apreciación sensorial y valorar su grado de satisfacción al ser degustado (Questa et al., 2007).

En numerosos trabajos de investigación del área de postcosecha de frutas y hortalizas se utiliza el análisis sensorial como una herramienta para evaluar el producto. Sin embargo, algunas veces no se respetan las normas establecidas para cada una de las pruebas antes mencionadas. En general se emplean dos tipos de métodos:

a- Pruebas afectivas, donde la respuesta es subjetiva con el objetivo de conocer la reacción de los consumidores frente a un vegetal en

particular. El número de jueces que se emplea es reducido, lo que no es estrictamente correcto.

b- Pruebas descriptivas con respuestas objetivas para caracterizar y evaluar un producto cuali o cuantitativamente, principalmente luego de haber sido sometido a diferentes condiciones de proceso o almacenamiento. Estas pruebas, se realizan con jueces que en algunos casos pueden no estar adecuadamente entrenados para cada producto en particular.

Existe un gran número de pruebas sensoriales, sin embargo cuando se trata de calidad de VPM, es oportuno desarrollar una metodología de generación de los atributos críticos de calidad (textura, color, aroma, sabor). Para esto, en primer lugar se debe estudiar cada fruta u hortaliza en forma individual determinando los atributos sensoriales que definen su calidad de “fresco”, para luego poder evaluar la calidad global o realizar el seguimiento y/o control.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS. ATRIBUTOS SENSORIALES

Una de las características más importantes de las frutas y hortalizas frescas es que son tejidos vivos en el momento de su consumo, por lo tanto respiran. La principal consecuencia de este hecho es que se afecta su estabilidad, calidad y vida útil durante el almacenamiento. Para predecir la evolución de las características sensoriales de estos productos, es necesario conocer y entender su fisiología y naturaleza.

Sonti (2003) y Salinas-Hernández (2007) resumieron los principales problemas de los frutos y vegetales frescos cortados.

a-Con el incremento en la actividad metabólica los atributos afectados son el sabor, color, vitaminas;

b-El incremento en la actividad de agua, afecta el sabor y textura;

c- El incremento en la actividad enzimática afecta el color y sabor;

d- En el ablandamiento de los productos el atributo afectado es la textura;

e- El marchitamiento afecta la apariencia;

f- La susceptibilidad al ataque microbiano afecta los atributos sanidad y apariencia;

g- La susceptibilidad a lesiones mecánicas se ve reflejado en la apariencia y textura.

Un factor importante a tener en cuenta es que cada pieza de fruta u hortaliza es distinta de las demás. Su comportamiento está determinado principalmente por factores genéticos, por su estado fisiológico, el que además está influenciado por el estado de maduración y/o crecimiento, posición en la planta y su historia pre y postcosecha.

Es importante tener en cuenta que muchos vegetales, en especial las frutas, cambian de color en función de su estado de madurez modificándose la presencia de pigmentos naturales. En el caso de las verduras de hoja, uno de los principales factores que limita su vida en estantería es el amarillamiento y marchitamiento, acompañado por la pérdida de brillo y aparición de tonos pardos que se asocian a falta de frescura.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que los sabores y aromas de las frutas y hortalizas son típicos y únicos. En una fruta madura se asocian los sabores de dulce con cierto nivel de sólidos solubles. Es conocido que el contenido de azúcares libres aumenta durante la maduración de las frutas y disminuye el contenido de ácidos. Cierta sabor ácido es crítico para el equilibrio del aroma y el sabor de frutas como las uvas, las ciruelas y los cítricos (Fiszman, 2005; Kader y Cantwell, 2007). En cuanto al aroma, si bien este atributo tiene mucha importancia en la evaluación de productos vegetales, difícilmente pueda percibirse antes de la compra de los VMP, ya que como éstos se expenden refrigerados y recubiertos con películas plásticas, y las bajas

temperaturas disminuyen la percepción por parte del consumidor.

Durante el almacenamiento los VPM modifican sus características de textura original tales como firmeza, turgencia y ocurre además un ablandamiento asociado con la pérdida de jugos celulares, principalmente. Es importante resaltar que la textura a pesar de apreciarse con el sentido del tacto y/o receptores bucales, puede evaluarse indirectamente aun dentro del envase a través de sensaciones captadas por la vista cuyo conjunto se denomina apariencia textural y depende del tamaño, forma y orientación de las estructuras celulares que conforman el tejido vegetal. Así mismo, el aspecto incluye una serie de descriptores como color, forma, tamaño, textura (rugosidad y fibrosidad).

De acuerdo con Fiszman (2005) los componentes más importantes para la aceptación de un alimento por el consumidor son los atributos que contribuyen a la primera impresión. Esto está de acuerdo con algunos autores que afirman que el 40% de los consumidores decide la compra en el lugar de comercialización, es decir en la góndola de supermercados.

Respecto a los VPM, el “aspecto de fresco”, es indudablemente una de las mayores exigencias del consumidor. Esta es una propiedad sensorial difícil de definir, pero la memoria sensorial del consumidor hace que conozcan y aprecien las características de una fruta u hortaliza en su grado óptimo de maduración y/o recién cosechada, o sea tejidos con aspecto turgente y con cierto brillo, de colores vivos y uniformes (Fiszman, 2005).

EVALUACIÓN SENSORIAL DE VEGETALES

IV GAMA. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS ESPECÍFICAS

Numerosos trabajos de investigación realizados con vegetales frescos cortados incluyen la ES como herramienta complementaria en la

valoración de la eficacia de diferentes tratamientos o para establecer la vida útil de productos. Generalmente, estos métodos los aplica el tecnólogo de alimentos con objetivos comparables a los de otros métodos analíticos de laboratorio para medir características organolépticas en el marco del estudio de los productos.

Para realizar análisis sensoriales de los VMP es necesario tener en cuenta algunas consideraciones especiales. Cuando se evalúan vegetales, se debe tener presente que existen grandes variaciones entre muestras denominadas idénticas (provenientes del mismo lugar y periodo de cosecha, del mismo cultivar, aun las provenientes de un mismo vegetal pero de distintas ubicación espacial). Este inconveniente puede minimizarse evaluando mayor número de muestras a modo de determinar la variabilidad, por ejemplo mediante el uso de la desviación estándar (Rodríguez y Generoso, 2012).

Otra limitante para la ES de VMP está representada por el tamaño y uniformidad del alimento a evaluar. Por ejemplo, cuando se evalúa melón o sandía pre-cortados es posible obtener un gran número de trozos a partir de un mismo ejemplar, a diferencia de lo que ocurre al evaluar frutas de pequeño calibre tales como frambuesas o cerezas, lo que obliga al uso de referencias asimiladas como idénticas cuando no lo son.

Por lo expuesto, en las pruebas discriminatorias es aconsejable usar un panel amplio en lugar de ensayos repetidos, ya que seguramente no se podrá disponer de la misma muestra en cada una de las repeticiones.

En general, cuando se desea evaluar sensorialmente un nuevo alimento no se conoce de antemano la referencia a la que se aspira. Sin embargo, cuando se producen VMP se conoce la referencia con la cual se puede comparar. Ese

modelo es el vegetal de procedencia recién cortado, es decir se cuenta con la ventaja de disponer de un estándar de calibración real (Rodríguez y Generoso, 2012).

APLICACIONES EXPERIMENTALES DE ENSAYOS SENSORIALES EN VMP

Los autores llevaron a cabo diferentes aplicaciones de esta herramienta para el desarrollo de VMP en el marco de diferentes proyectos de investigación, algunos de los cuales son los que se comentan a continuación.

Caracterización de producto mediante análisis descriptivo

Esta metodología se aplicó con el objetivo de describir las características sensoriales de rúcula cortada mínimamente procesada (MP), en función de los atributos que se desean del mismo para ser utilizados en ensaladas frías (Torales et al., 2010). Para ello se realizó reclutamiento, selección de jueces y búsqueda de descriptores para redactar un glosario de términos apropiados y específicos para el producto.

Para el reclutamiento se tuvo en cuenta que fueran consumidores habituales de este vegetal y que tengan un nivel de educación homogéneo. El seguimiento y entrenamiento de evaluadores se realizó según la Norma ISO 8586 (2012). Se seleccionaron 15 jueces solventes entre las personas reclutadas. Para el desarrollo de

descriptores se realizaron varios encuentros y se trabajó con la ayuda de un líder de panel. Los jueces verbalizaron impresiones respecto de las diferentes muestras: hojas de rúcula entera fresca, cortadas, sometidas a distintos tratamientos de lavados y almacenada por 4, 8 y 14 días a 8 °C.

Para la reducción de los descriptores se tuvo en cuenta el objetivo del estudio y se eliminaron aquellos de significado similar y los que fueron usados con una frecuencia inferior al 40% según lo recomendado por Costell (1999).

Se obtuvo una lista de 30 descriptores para los distintos atributos evaluados, de los que se seleccionaron doce según el criterio descripto anteriormente y se resumen en el Cuadro 1.

De la observación del número de descriptores por atributo podemos inferir la importancia que los jueces le otorgan al atributo apariencia externa dado que lo caracterizan con el 70% del total de descriptores.

En forma similar (Rodríguez y Questa, 2008) realizaron ensayos para obtener los atributos y descriptores para granos de maíz dulce. Inicialmente, se obtuvo una lista de 43 descriptores como resultado de las expresiones de los jueces para los distintos atributos analizados. De estos se seleccionaron 12 según el criterio antes mencionado (Costell, 1999) que se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Atributos y descriptores de rúcula cortada.

Table 1. Attributes and descriptors of chopped rocket.

Propiedad	Atributo	Descriptores
Apariencia externa	Color	Intensidad de color verde
		Uniformidad
		Grado de amarillamiento
	Apariencia general	Presencia de podredumbres
		Presencia de enfermedades fisiológicas
		Grado de marchitamiento
	Textura visual	Fresco
		Deshidratado
Aroma	Olor	Típico
		Desarrollo de olores no característicos
Gusto	Sabor	Típico
		Dejo picante al masticar

Cuadro 2. Atributos y descriptores de granos de maíz.

Table 2. Attributes and descriptors of sweet corn.

Propiedad	Atributo	Descriptores
Apariencia externa	Color	Intensidad de color
		Uniformidad de color
		Brillo
	Textura visual	Fresco
		Humedad superficial
		Deshidratado
Aroma	Olor	Típico
		Indeseable
Gusto	Sabor	Típico
		Dulce
	Textura bucal	Firme
		Crujiente

Del análisis de la aplicación de esta metodología para rúcula y maíz, surge el sabor y olor típico como descriptores los cuales serían difíciles de cuantificar con otra metodología, revalorizando la importancia de la evaluación sensorial.

Pruebas de preferencia en granos de maíz dulce

Los autores llevaron a cabo algunas experiencias con granos de maíz dulce, con el objetivo de ofrecer un nuevo producto al mercado de frutas y hortalizas frescas garantizando, al mismo tiempo, una vida útil lo más prolongada posible. Para ello se estudió la aplicación de tratamientos térmicos cortos (con agua a 60° y 90°C, y también adicionada de cloruro de sodio o sorbato de

potasio) y el lavado con distintas soluciones (hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, sorbato de potasio y mezclas de ácidos cítrico y ascórbico) cuyas concentraciones resultaron efectiva para prolongar la vida útil del producto (Questa et al., 2007).

Para seleccionar los mejores tratamientos, desde el punto de vista sensorial, se realizaron pruebas de aceptabilidad global en las que se descartaron los granos prelavados con solución de peróxido de hidrógeno y mezclas de ácido. Posteriormente, a fin de establecer el grado de preferencia, se pidió a 26 jueces que calificaran las muestras tratadas térmicamente utilizando una escala del 1 a 10, según el grado de satisfacción que les proporcionó, siendo el puntaje 10: “me gusta extremadamente” y 1: “me desagrada mucho”.

Al evaluar los resultados, se observó que los granos de maíz sometidos al tratamiento con agua a 90°C durante 2 min, con y sin el agregado de cloruro de sodio, fueron los preferidos por el panel alcanzando el valor máximo de 7,7. En el extremo inferior de la escala de preferencia se ubicaron los granos sin tratar (controles) y los tratados a 60°C.

Validación de tratamientos postcosecha aplicados.

Los atributos sensoriales están dados por el aroma, sabor, color y textura. Por lo que éstos deben examinarse cuidadosamente cuando se determina la vida de anaquel de los productos frescos cortados (Salinas-Hernández, 2007).

El color y su uniformidad son características principales que determinan la calidad de una fruta u hortaliza y se utilizan frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutritivo del vegetal. Éstos se relacionan con la intensidad del sabor y el gusto dulce, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto (Mercado-Silva y Aquino-Bolaños, 2005; Salinas-Hernández, 2007).

La ES sirve para evaluar o comparar diferentes tratamientos tecnológicos a los que los vegetales se someten. Es una excelente herramienta para seleccionar condiciones de proceso de distintos productos. Sin embargo, cuando se desea medir el efecto de una variable es necesario seleccionar el/los atributo/s que sufra/n el mayor deterioro y enfocar la ES hacia ellos (por ej. color y sabor).

Así, los autores realizaron ensayos preliminares a fin de seleccionar las películas plásticas más adecuados para la conservación de repollo cortado, durante el almacenamiento refrigerado, analizando la evolución de la calidad a través de parámetros sensoriales (Ruiz López *et al.*, 2010). En este ensayo se compararon 4 películas plásticas versus el control: 1-Cloruro de polivinilo (PVC), 2-Polietileno de baja densidad de 30 µm (PBD 30), 3-PBD de 60 µm (PBD 60), 4-Polipropileno (PP), 5-Polietileno de alta densidad (PAD) y 6-Control (con PBD 30 perforado).

Se trabajó con un panel de 10 jueces entrenados para evaluar la efectividad de los tratamientos en la conservación de la calidad. Al tiempo inicial (día 1), a los 10 y 21 días se extrajeron muestras de la cámara de refrigeración y se evaluó sensorialmente la intensidad de los siguientes atributos: apariencia general, pardeamiento, deshidratación y olor, acordados en sesiones con un líder de panel siguiendo la metodología para generación de descriptores (Costell, 1999). Se trabajó con una escala de 9 puntos cuyos extremos fueron: apariencia general (excelente a muy malo); pardeamiento y deshidratación (nada a excesivo); olor (típico a mal olor u off-odors). Se determinó que los principales atributos en limitar la vida comercial del producto fueron la apariencia general, el pardeamiento y la deshidratación, evidenciada por el marchitamiento de las hojas cortadas (Figuras 1, 2 y 3).

Del análisis de los resultados se infiere que la película que permitió conservar mejor las

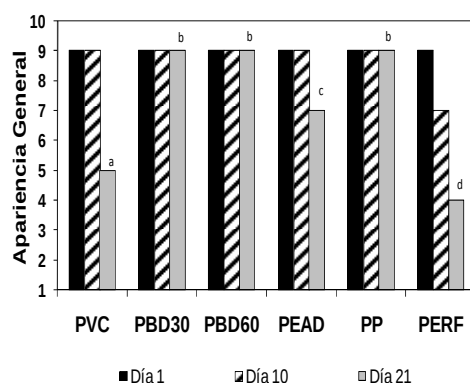


Figura 1. Apariencia general para repollo cortado almacenado a 3°C. $LSD_{(0,05)} = 0,5$

Figure 1. General appearance of cut cabbage stored at 3 ° c . $Lsd_{(0,05)} = 0,5$

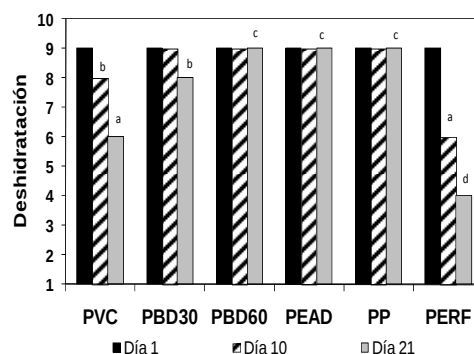


Figura 2. Deshidratación en repollo cortado almacenado a 3°C. $LSD_{(0,05)} = 0,7$ (Letras similares: no hay diferencias significativas).

Figure 2. Dehydration in cut cabbage stored at 3°C. $LSD_{(0,05)} = 0.7$ (similar letters: no significant difference).

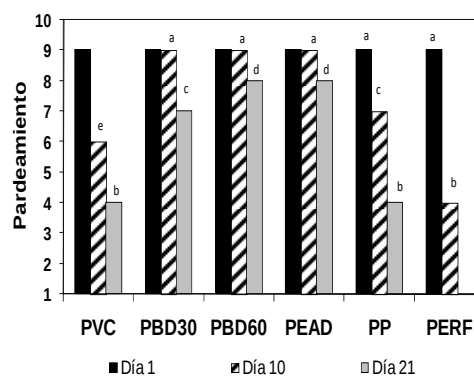


Figura 3. Pardeamiento en repollo almacenado a 3°C. $LSD_{(0,05)} = 0,6$.

Figure 3. Browning in cabbage stored at 3°C. $LSD_{(0,05)} = 0.6$.

En otros ensayos, los autores emplearon el análisis descriptivo cuantitativo para evaluar el efecto de distintas dosis de luz UV-C y diferentes concentraciones de ozono en la conservación refrigerada de rúcula. Estas pruebas se realizaron con un panel entrenado de 12 jueces, evaluándose las muestras mediante el empleo de una escala estructurada de 9 puntos. Se evaluaron los siguientes descriptores: apariencia, podredumbres por enfermedades fisiológicas y/o por desarrollo microbiano y color. Se establecieron como límite de aceptabilidad para su comercialización para los descriptores apariencia general y desarrollo microbiano, el valor de 6 puntos (Rodríguez y Questa, 2009). Para color se empleó una escala de evaluación de 5 puntos, el límite fue el valor de 3 puntos.

En estudios realizados por Torales et al. (2010), se determinó que los principales atributos que

determinaron la conservación y limitaron la calidad de rúcula cortada fueron la apariencia general, el desarrollo microbiano y la pérdida de color verde característico.

En las Figuras 4 y 5 se presenta la evolución del color y de la apariencia general, respectivamente de rúcula cortada sometidas a diferentes dosis de luz UV-C y almacenadas a 5°C.

Como puede observarse las dosis aplicadas de luz UV-C no ejercieron un efecto negativo en el atributo apariencia, ya que en general todas las muestras presentaron valores similares y próximos a 7, aún a los 12 días de conservación. Sin embargo, el control y la dosis de 1,5 J/cm² fueron significativamente diferentes del resto y mantuvieron la apariencia general del producto en valores más altos.

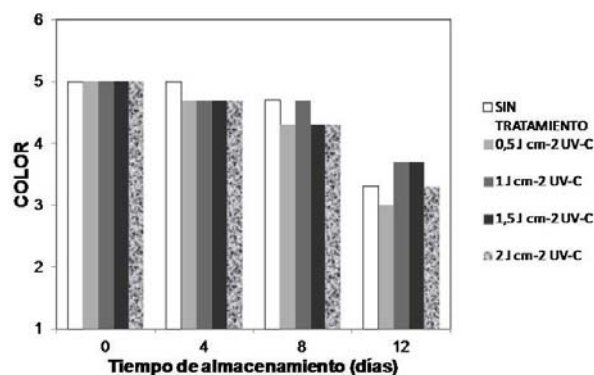


Figura 4. Evolución de color de rúcula cortada tratada con diferentes dosis de luz UV-C y almacenada a 5°C. $LSD_{(0,05)} = 0,5$.

Escala 5. verde intenso, 4: verde, 3: verde amarillento (no más del 50%), 2: verde amarillento (>50%), 1: > del 75 % amarillo.

Figure 4. Evolution of chopped rocket color treated with different doses of UV-C light and stored at 5°C. $LSD_{(0,05)} = 0.5$.

Scale 5. intense green, 4: green 3: yellowish green (not more than 50%), 2: yellowish green (> 50 %), 1: > 75% yellow.

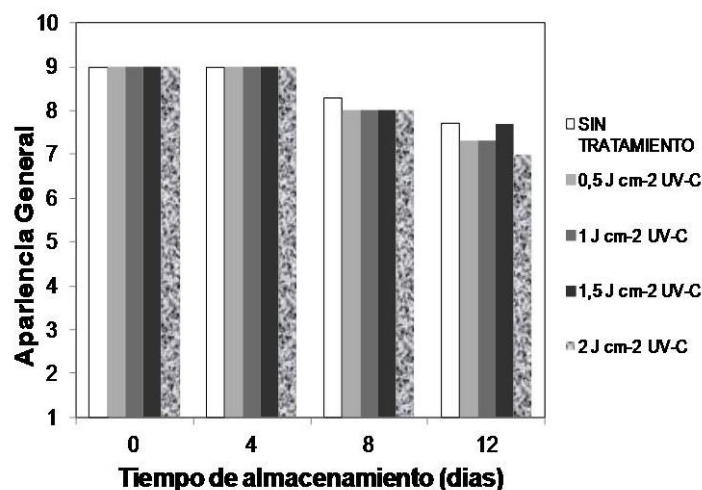


Figura 5. Evolución de apariencia general de rúcula cortada tratada con diferentes dosis de luz UV-C y almacenada a 5°C. $LSD_{(0,05)} = 0,4$

Escala: 9: excelente, 7: bueno, 6: límite de comerciabilidad, 5: regular, 3: malo, 1: muy malo.

Figure 5. Evolution of overall appearance of chopped rocket treated with different doses of UV-C light and stored at 5°C. $LSD_{(0,05)} = 0.4$

Scale: 9: excellent, 7: good, 6: limit of merchantability, 5: Regular, 3: bad, 1: very bad.

Toivonen y Brummell (2008), expresaron que la apariencia de un vegetal pre-cortado es el atributo más rápidamente observado por el consumidor y por lo tanto, uno de los atributos a medir en este tipo de producto.

En general se puede afirmar que las características sensoriales determinan la decisión de compra de los VMP por parte del consumidor.

En los frutos, los cambios sensoriales son de gran importancia debido a que la aceptación está dada sólo por las características propias del producto, a diferencia de las hortalizas a las que se les adicionan condimentos o se elaboran mezclas de productos que mejoran las características sensoriales (Gorny, 2001; Salinas-Hernandez, 2007).

Por su parte Mercado-Silva y Aquino-Bolaños (2005) afirman que los cambios en el aroma y sabor de las frutas constituyen el tercer motivo

en importancia en la aceptación de compra del consumidor luego del color y la textura.

Vida útil

Para evaluar la vida útil a partir de cambios sensoriales, es necesario determinar aquellos que son críticos. En este sentido, el análisis sensorial descriptivo cuantitativo es uno de los métodos más útiles, ya que permite determinar la magnitud y el sentido de los cambios sensoriales en función del tiempo de conservación refrigerada (Salinas-Hernández, 2007).

Es importante remarcar que la calidad de VMP almacenados a temperaturas fluctuantes se afecta severamente. Esto se visualiza a través de la extensión de pardeamiento, pérdida de firmeza y podredumbres debido al daño fisiológico y excesiva condensación dentro del envase, comparado con productos almacenados a temperatura constante. Por lo tanto con la ES, también es posible valorar en forma complementaria el manejo del producto.

Algunos autores (Artes et al., 2006; Rico, 2008; Aguayo et al., 2010; Ruiz López et al., 2010; Tomás-Callejas et al., 2010; Torales et al., 2010; Rodríguez y Casóliba, 2012; Tudela et al., 2013) estudiaron diferentes tratamientos aplicados a VMP con el fin de prolongar su vida útil. En general estos estudios van acompañados de ES, pues resulta inútil que el producto desde el punto de vista nutritivo y microbiológico se encuentre en buenas condiciones si las características sensoriales no son aceptables por el consumidor.

Así por ejemplo, Banegas y Rodríguez, (2010) estudiaron el efecto de la utilización de ozono y ozono combinado con una solución de hipoclorito de sodio en la etapa de lavado sobre la conservación de anco (*Cucurbita moschata*) rallado. Los ancós fueron lavados con agua potable, escurridos, pelados, cortados y divididos en dos lotes. El lote 1 fue lavado con agua ozonificada (O_3) de 0,02 ppm por 5 min. El lote 2 fue lavado con $HClO$ (L), 150 ppm por 5 min. Posteriormente, los trozos de ambos lotes fueron rallados por separado y tratados con agua ozonizada con las siguientes concentraciones: a- 0,02 ppm; b- 0,06 ppm; c- 0,1 ppm, durante 5 min. Estos fueron almacenados en bandejas de 50 g y recubiertos con PVC. Como control, se preparó anco rallado lavado solo con L. Todas las bandejas se almacenaron a 2°C durante 10 días.

A los 0, 7 y 10 días se evaluaron los siguientes parámetros: características sensoriales (aspecto general, color, olor y sabor), color (parámetros L^* , a^* y b^*), y se realizaron recuentos de

microorganismos aerobios mesófilos (RT), psicrófilos totales (PT) y hongos y levaduras (HyL).

El tratamiento b fue el que logró la mayor reducción en los recuentos de PT. Las características sensoriales evaluadas no presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, manteniendo puntajes altos en todos los casos. No así el control, que al cabo de 5 días presentó valores próximos al límite establecido para su comerciabilidad, de acuerdo a lo establecido por Torricella Morales (2007). Los análisis microbiológicos entonces, cuantificaron la presencia de micro-organismos psicrófilos y la evaluación sensorial fue la que contribuyó a determinar que éstos fueron los responsables del deterioro sensorial que limitó la comercialización del producto. El lavado con L-c fue el único tratamiento que a los diez días mantuvo RT inferiores a 10^6 UFC/g.

Rodríguez y Casóliba (2012) estudiaron la aplicación de distintos pre-tratamientos térmicos en espinacas mínimamente procesadas y su efecto en la conservación refrigerada. En la Figura 6 se presenta la evolución de la apariencia general de las espinacas tratadas térmicamente con aire y agua caliente envasadas en polipropileno (PP) durante un almacenamiento a 8°C. El objetivo de este ensayo fue seleccionar el mejor tratamiento desde el punto de vista del aspecto general, para profundizar posteriormente el estudio de su influencia en parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y microbiológicos.

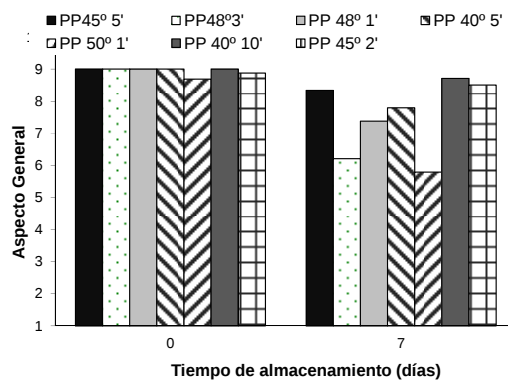


Figura 6. Aspecto general de espinacas tratadas térmicamente con agua a diferentes temperaturas y envasadas en polipropileno. $LSD_{(0,05)} = 0,36$.

Figure 6. Appearance of spinach thermally treated with water at different temperatures and packed in polypropylene. $LSD_{(0,05)} = 0.36$.

Tal como se puede observar, las espinacas tratadas térmicamente con agua a 40°C durante 10 min y las tratadas a 45°C por 2 o 5 min fueron las que presentaron el mejor aspecto general. Dado que desde el punto de vista tecnológico a igual resultado se prefiere aquel tratamiento que insuma menos energía o requiera el menor tiempo posible, se decidió profundizar los estudios con las espinacas tratadas con agua a 45°C durante 2 min.

Estas pruebas permitieron determinar el punto de corte durante el período de comercialización de las hortalizas estudiadas, destacando de esta forma los beneficios potenciales que resultan del buen uso de la metodología de la evaluación sensorial.

Investigación de sabores u olores contaminantes

En nuestra experiencia esta metodología ayudó a detectar la presencia de sabores u olores indeseables aun cuando la prueba sensorial fue diseñada con otro objetivo. Cuando se estudió la aplicación de distintos tratamientos para prolongar la vida comercial del maíz en granos, se compararon diferentes soluciones de lavado, previo al almacenamiento refrigerado. Se evaluaron mezclas de ácido cítrico y ascórbico al

0,25-1% y soluciones de sorbato de potasio en concentraciones de 200-600 ppm.

Las pruebas sensoriales se realizaron a fin de determinar el/los mejores tratamientos que permitieran mantener la vida útil del producto. Al evaluar sensorialmente las muestras extraídas en diferentes tiempos de conservación se determinó que si bien algunos tratamientos eran efectivos en mantener la apariencia general, le conferían un sabor residual no característico al alimento. La presencia de este sabor residual fue determinante para eliminar el tratamiento, ya que provocaría rechazo del consumidor a la hora de repetir la compra.

Una consideración a tener en cuenta es que cuando los VMP se almacenan en atmósferas modificadas, en algunas ocasiones pueden aparecer olores indeseables. Así, olores a alcohol o acetaldehído se desarrollan en condiciones de anaerobiosis siendo asociados con procesos fermentativos y de descomposición cuando el consumidor logra percibirlos.

Estudios con consumidores: nivel de agrado y expectativa del consumidor

Otra aplicación de la ES se fundamenta en el uso de los sentidos que ejercita el consumidor el cuál a través de su memoria sensorial conoce el

producto y muchas veces determina su opción de consumo.

Actualmente, basados en la escasa información detectada sobre la relación entre la percepción del consumidor y los motivos de compra de VMP están en curso estudios a través de encuestas a consumidores. Estos estudios investigan cómo los atributos apariencia, presentación y transparencia del envase influyen a la hora de decidir la compra y; cómo el gusto, olor, textura y satisfacción, intervienen o son determinantes del consumo (datos no mostrados).

TENDENCIAS FUTURAS

El deterioro de los VMP involucra diferentes tipos de cambios fisiológicos, fisicoquímicos, microbiológicos, nutricionales y sensoriales. Sin embargo, a pesar de que la pérdida de la calidad en los vegetales frescos cortados involucra todos estos aspectos, los estudios de vida útil se han enfocado mayoritariamente a los cambios fisiológicos y fisicoquímicos y se ha dejado de lado el deterioro nutricional y sensorial (Salinas-Hernández, 2007). Esto se atribuye a la dificultad que se presenta al determinar la magnitud y dirección de los cambios cualitativos sobre productos con gran variabilidad en la materia prima (Questa et al., 2007). Es por ello que algunos autores han tomado como desafío desarrollar métodos matemáticos que constituyan herramientas útiles para la predicción del deterioro como base en los diferentes aspectos de la calidad de estos productos (Piagentini et al., 2005; Salinas-Hernández, 2007). Por lo tanto, se debería considerar el desarrollar metodologías que permitan obtener intervalos confiables de calidad óptima a partir de esos modelos y considerar en ellos los diferentes criterios de deterioro. De esta forma contar con modelos de predicción del deterioro y vida útil de los VMP permitirá establecer las bases para un adecuado

control de los vegetales en las diferentes etapas de la cadena de distribución, al mismo tiempo de poder cuantificar el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre distintos aspectos que contribuyen a la calidad (Salinas-Hernández et al., 2007).

En muchos casos, a la hora de realizar un análisis sensorial de vegetales, se está intentando dejar de lado al evaluador entrenado dando un protagonismo especial al consumidor final, con un paladar no entrenado y que responde de forma espontánea si un producto le gusta o no.

En un futuro próximo en materia tecnológica se buscará desarrollar alimentos cada vez más saludables, funcionales y fundamentalmente destinados a necesidades especiales. Sin embargo, la selección de VMP sigue estando muy influenciada por las características sensoriales.

Una de las metodologías de la ES a aplicar en un futuro próximo en VMP es realizar el modelado de las respuestas mediante redes neuronales. Sin embargo, los paneles de cata electrónicos, las redes neuronales o los usuarios artificiales están concebidos como un apoyo al evaluador, y no como un sustituto de los sentidos humanos.

CONCLUSIONES

Todos los métodos de evaluación de alimentos (análisis instrumentales, sensoriales y con consumidores) presentan algunas limitaciones, por lo que se deben aprovechar las ventajas de cada uno de éstos combinándolos en función del objetivo previsto en el estudio.

Uno de los mayores problemas asociados a la ES es conseguir que la respuesta humana sea precisa y reproducible dado que hay variaciones en la sensibilidad de persona a persona. Aún cuando esto esté garantizado, un panel altamente entrenado y seleccionado de acuerdo a su sensibilidad para caracterizar objetivamente

un producto, no asegura los mismos resultados cuando son extrapolados a los consumidores. Por lo que resulta imperioso conocer las características sensoriales que privilegia el consumidor. La mayoría de las investigaciones en esta área no revelan los factores conscientes o inconscientes que determinan que el consumidor compre o no un producto.

Es importante tener en cuenta que la evaluación sensorial de vegetales pre-cortados presenta una problemática adicional a la del resto de productos como resultado de su heterogeneidad. En este caso, la utilización de un diseño experimental apropiado adquiere una especial importancia permitiendo reducir el error experimental de forma importante y obtener, en consecuencia, una información válida y reproducible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: CICyT-UNSE, PICTO-2012-0007, Programa de Investigación del Mercosur (PPCP 030-2011): Fortalecimiento de Grupos de Investigación en el Área de Ciencia y Tecnología de Alimentos que estudian la Conservación Postcosecha de Frutas y Hortalizas, y a CONICET, quien financia las becas de formación doctoral del Ing. Gutierrez (Tipo 1 y 2).

LITERATURA CITADA

AGUAYO, E.; REQUEJO-JACKMAN, C.; STANLEY, R.; WOOLF, A. 2010. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology* 57 (1): 52-60.

ARTES, F. 2000. Productos vegetales procesados en fresco. Cap. 5: 127-141. In: Lumúa, M. (ed). *Aplicación del frío a los alimentos*. A. Madrid Ediciones.

ARTES, F.; GÓMEZ, P.; AGUAYO, E.; ESCALONA, V.; ARTES-HERNÁNDEZ, F. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology* 51 (3): 287-296.

ARTES, F.; GOMEZ, P.; ARTES-HERNANDEZ, F. 2006. Effect of the cyclic exposure to ozone gas on phytochemical, sensorial and microbial quality in whole and sliced tomatoes. *Postharvest Review* 5-2, 1.

BANEGAS, M. R.; RODRÍGUEZ, S. DEL C. 2010. Combinación de sanitizantes para retrasar el desarrollo microbiológico de anco mínimamente procesado. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, pp. 530-534.

BEAULIEU, J.C. 2011. Factors affecting sensory quality of fresh-cut products. 4: 115-145. In: Martin-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. (eds). *Advances in fresh-cut fruits and vegetables Processing*. CRC Press Taylor & Francis Group.

COSTELL, E. 1999. Metodología utilizada para general los conceptos. Manual de conceptos para análisis sensorial de los alimentos. 137-140. In: Damasio M. E. (ed). *Temas en tecnología de alimentos*. CYTED 3: Hermosillo, Mexico.

- FISZMAN, S. 2005. Sensory analysis applied to evaluation of fresh cut fruits and vegetables. Cap 24, pp. 523-538. In: González Aguilar, G. A., A. Gardea, F. Cuamea Navarro (eds). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. CYTED, Mexico.
- GORNY, J. R. 2001. Food safety guidelines for fresh-cut produc industry. In: International Fresh-cut Produce Association. 4th ed. Arlington, 216pp. EUA.
- ISO 8586:2012. Sensory analysis. General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. Disponible en: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csn=45352. (12/10/2014).
- KADER, A. A. 2002. Postharvest Biology and technology: an overview. In: Kader, A.A (ed). Postharvest technology of horticultural crops. 3th ed. University of California. Publication 3311. California, EUA.
- KADER, A. A.; CANTWELL. M. 2007. Produce Quality Rating Scale and Color Charts. Postharvest Horticulture Series N° 23. University of California. Davis. CA.
- KAUR, C.; KAPOOR, H. C. 2001. Antioxidants and fruits and vegetables- the millennium's health. In: International Journal of Food Science and Technology 36: 703-725.
- Mercado-Silva, E. y Aquino-Bolaños, E. N. 2005. Enzimas involucradas en el deterioro. p. 177-214. In: González-Aguilar, G.A.; Gardea, A. A.; Cuamea-Navarro, F. (Editores). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. CIAD . Hermosillo, Sonora, México.
- MONDITO, M. C.; FERRATTO, J. 2006. Publicación cuatrimestral de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR, 184. Córdoba, Argentina.
- PIAGENTINI; A. M.; MENDEZ, J. C.; GUEMES, D. R.; PIROVANI, M. E. 2005. Modling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. Postharvest Biology and Technology 38 (3): 202-212.
- QUESTA, A. G.; RODRÍGUEZ, S.; CASOLIBA, R.; GENEROSO, S. 2007. Sensorial analysis. Tool to evaluate the quality of vegetables minimally process. In: Gonzales-Aguilar, G., Ayala-Zavala, J. (eds). Technologic Advance in the minimally process of horticultural crops. Nutritional and sensory topics. Ed. Trillas. México.
- Silvia del C. Rodriguez y Ana G. Questa. 2008. Aplicación del análisis sensorial para evaluar calidad en frutas y hortalizas. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. 2008. Sección VII: 29-34.
- RODRÍGUEZ S. DEL C; GENEROSO, S. M. 2012. Evaluating sensorial quality of minimally processed fruits and vegetables. Cap. 5, pp. 67-84. In: Calviño, A.M. (ed). Recent Contributions to sensory analysis of foods. Ed. Research Signpost. Kerala.
- RODRÍGUEZ, SILVIA DEL C.; CASÓLIBA, RAMIRO M. 2012. Procesamiento de espinacas de IV Gama aplicando tecnologías combinadas. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, 2: 1-7.
- RICO, D., MARTIN-DIANA, A. B. BARAT, J. M.; BARRY-RYAN, C. 2007. Trends in Food Scince and Technology, 18-7, 373-386.

RICO, D.; MARTIN-DIANA, A. B.; BARRY-RYAN, C J.; FRIAS, M.; HENEHAN, G.; BARAT, J. M. 2008. Optimisation of steamer jet-injection to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 48: 431-442.

RUIZ-LÓPEZ, G.; QUESTA, A.G.; RODRÍGUEZ, S. 2010. Efecto de luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado. *Revista Iberoamericana en Tecnología Postcosecha*. 11: 101-108.

SALINAS-HERNANDEZ, R. M.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; PIROVANI, M. E.; ULIN-MONTEJO, F. 2007. Modelación de deterioro de productos vegetales frescos cortados. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia 23 (2):183-196.

SONTI S. 2003. Consumer perception and application of edible coatings on fresh-cut fruits and vegetables. Thesis for MSc. Degree. Department of Food Science, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Louisiana. 234 pp.

TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48: 1-14.

TOMÁS-CALLEJAS, A., MARTINEZ-HERNANDEZ, G. B.; SPOOREN, R.; ARTES, F.; ARTÉS-HERNANDEZ, F. 2010. La desinfección con agua electrolizada preserva la calidad microbiológica, nutritiva y sensorial de brotes de mizuna mínimamente procesada en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 11, num. 2. 204-213.

TORALES, A. C., CHAVES, A.; RODRÍGUEZ, S. 2010. Cambios en la calidad de rúcula mínimamente procesada. Efecto de distintos envases. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11 (2), 196-203.

TORRICELLA MORALES, R. G.; ZAMORA UTSET, E.; PULIDO ALVAREZ, H. 2007. Sensorial evaluation Applied to the Investigation, development and control of the quality in the food industry. Ed. Universitaria, La Habana, Cuba.

TUDELA, J. A.; MARÍN, A., GARRIDO, Y.; CANTWELL, M.; MEDINA-MARTINEZ, M. S.; GIL, MARÍA, I. 2013. Off-odour development in modified atmosphere packaged baby spinach is an unresolved problem. *Postharvest Biology and Technology* 76: 75-85.

CALIDAD E INOCUIDAD DE PRODUCTOS DE IV GAMA

Quality and safety of fresh cut products

Melvin R. Tapia-Rodríguez, Brenda Silva-Espinoza, Francisco Javier Vazquez-Armenta, Gustavo González-Aguilar y Jesús Fernando Ayala-Zavala*

*Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Carretera a la Victoria Km 0.6, Hermosillo, Sonora, 83000, México.
Correo electrónico: jayala@ciad.mx (Ayala-Zavala)

RESUMEN

La demanda de productos de IV gama se ha visto incrementada debido a las necesidades nutricionales y de conveniencia de los consumidores, sin dejar de lado los atributos sensoriales y sanitarios. La calidad e inocuidad de estos productos puede mantenerse mediante técnicas de conservación que retarden el deterioro fisiológico ocasionado por la actividad metabólica del tejido vivo de las plantas, y/o al crecimiento microbiano. Algunos de estos microorganismos pueden sólo alterar organolépticamente los productos ocasionando pérdidas en su comercialización; o bien algunas bacterias como *Salmonella* spp., y *Escherichia coli* O157:H7 comprometen la inocuidad de éstos. Dichas bacterias patógenas pueden ser transmitidas a los alimentos principalmente por desechos fecales de animales, a través de suelos y agua contaminada, o en su manipulación. Dentro de las principales estrategias para resolver esta problemática se encuentran las buenas prácticas agrícolas y de manufactura, así como otros planes de aseguramiento de calidad e inocuidad. Adicionalmente, existen aditivos para prolongar el mantenimiento de la firmeza, reducción de oscurecimiento y crecimiento de microorganismos, principalmente con aditivos naturales, irradiación, envases activos e inteligentes, recubrimientos comestibles, atmósferas modificadas y aplicación de extractos de plantas. Por lo tanto, el presente escrito describe las problemáticas para el

mantenimiento de calidad y aseguramiento de la inocuidad en productos de IV gama, así como el uso de las tecnologías individuales o combinadas para extender la vida de anaquel de éstos.

Palabras clave: bacterias patógenas, microorganismos deteriorativos, tecnologías emergentes, aceptabilidad sensorial.

ABSTRACT

The IV gamme products demand has increased due to the nutritional and convenience consumers needs, without neglecting the sensory and health attributes. The quality and safety of these products may be maintained by the application of conservation techniques that contributes to retard the physiological deterioration caused by the metabolic activity of living tissue of plants, and/or the microbial growth. Some of these microorganisms can only alter the organoleptical characteristics of the product, causing losses in product marketing; or in some cases, bacterias such as *Salmonella* and *Escherichia coli* O157: H7 can compromise food safety. Such pathogenic bacteria may be transmitted primarily by fecal waste of animal, through contaminated soils and water, or during handling. One of the main strategies for solving this problem is the good agricultural and

manufacturing practices and other quality assurance plans and safety. Additionally, there are additives to prolong the maintenance of firmness, reduced tissues browning and microorganism growth, mainly with natural additives, irradiation, active and intelligent packaging, edible coatings, modified atmospheres and plant extract application. Therefore, this paper describes the issues for the maintenance of quality and safety assurance of IV gamme products, as well as the use of individual technologies or combined to extend the shelf life of these products.

Keywords: pathogenic bacteria, deteriorative microorganisms, emerging technologies, sensory acceptability.

DETERIORO EN LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS

Los vegetales de IV gama se pueden definir como cualquier vegetal que ha sido físicamente modificado de su forma original (mediante el pelado, lavado y/o cortado) para mantener un producto estético 100% comestible, que después de ser envasado es almacenado a temperaturas de refrigeración (Nascimento et al. 2014). Éstos productos ofrecen grandes ventajas como practicidad y facilidad de adquisición para su consumo (Brody et al. 2010). La calidad sensorial inicial de este tipo de productos puede mantenerse mediante buenas prácticas y técnicas de conservación que ayudan a retardar el deterioro como: técnicas de envasado, temperaturas de almacenamiento e inhibidores del oscurecimiento enzimático (Rojas-Graü y Martín-Belloso 2009). Como alimentos altamente perecederos, se caracterizan generalmente por una pronta e irreversible pérdida de la calidad, por ello la importancia de preservar su calidad e inocuidad (Rocculi et al. 2007).

Durante el deterioro de los productos de IV gama se pueden identificar dos patrones

principales, los cuales son diferentes pero se relacionan entre sí: uno es el deterioro del producto debido a su carga microbiana y el otro la actividad enzimática del tejido vivo de las plantas al ser manipulado (Regaert et al. 2009). Durante las operaciones de pelado y cortado en el procesamiento de vegetales, muchas células se lisan y se libera el contenido citoplasmático, el cual contiene ácidos orgánicos y carbohidratos que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras (Erturk y Picha 2006). Además de enzimas como la fenilalanina ammonia-liasa (PAL) y polifenoloxidasas (PPO) y compuestos fenólicos que cuando entran en contacto dan lugar a reacciones de oxidación y formación de pigmentos indeseables (Watada y Qi 1999). Lo descrito anteriormente repercute en los atributos sensoriales de algunos vegetales de interés comercial (cebolla, papa, champiñón, lechuga, alcachofa, etc.) causando inconvenientes para su distribución (Berger y Galletti 2006), por lo que es importante preservar los parámetros de calidad en productos de IV gama reduciendo el deterioro para evitar pérdidas económicas durante su comercialización.

Por otra parte, son susceptibles al deterioro microbiano debido a la disponibilidad de nutrientes para su proliferación y condiciones idóneas (pH, humedad y temperatura) para dicho desarrollo (Tapia *et al.*, 2015). Éstos al crecer, sintetizan metabolitos que alteran la calidad sensorial de los productos (Escribano y Merodio 2003). Además de microorganismos deteriorativos de su microflora como mohos y levaduras, se puede presentar una fuente de contaminación con bacterias (Tabla 1), principalmente por contaminación cruzada con heces humanas o animales y medio ambiente (Doyle y Erickson 2008). Algunas bacterias patógenas como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* O157:H7, se presentan por fallas en las buenas prácticas de manufactura durante la manipulación de estos productos (León et al. 2009; CDC 2002). Por otra parte, algunos géneros

como *Pseudomonas* spp y *Erwinia* spp, son considerados no peligrosos para el consumidor, sin embargo, causan podredumbre blanda bacteriana en el tejido vegetal, presentándose principalmente en productos como ensaladas de vegetales de hoja verde (León et al. 2009).

ESTRATEGIAS PARA ASEGURAR INOCUIDAD Y CONSERVAR LA CALIDAD DURANTE EL PROCESAMIENTO DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS

Actualmente las industrias productoras de alimentos requieren aumentar la estabilidad en sus áreas de mercado de importación, tanto nacional como internacional, con la aplicación de buenas prácticas en cuanto a la inocuidad y calidad del procesamiento de alimentos (Espinosa Torres 2014). En el caso particular de los productos de IV gama, desde antes de iniciar su procesamiento se debe considerar adquirir material vegetal que se haya apegado a buenas prácticas agrícolas, ya que éstas abarcan desde los lineamientos de cultivo como lo son plaguicidas y agroquímicos aplicados, así como los parámetros que se tienen durante la selección de materia prima (Uribe et al. 2012). Posterior a ello, se encuentran las buenas prácticas de manufactura, las cuales son aplicadas con la finalidad de tener un producto inocuo y de alta calidad, reduciendo pérdidas y preservando los parámetros de frescura. Esto se lleva a cabo mediante el seguimiento de protocolos que comprenden los requerimientos prescritos para el personal de producción, la infraestructura del área de procesado, los utensilios y herramientas utilizadas para su procesamiento IV gama y registros de producción, todo esto con la finalidad de producir un producto de calidad (Dolado 2001).

Los planes de aseguramiento de la inocuidad alimentaria más aplicados en la mayoría de los alimentos son los Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en

inglés). El programa HACCP está presente en todos los sectores de la industria alimentaria, ya que evalúa todos los puntos críticos del sistema de la producción donde pudiesen encontrarse riesgos de carácter físico, químico o biológico dependiendo del alimento a producir (Nascimento et al. 2014). En el caso particular de los productos de IV gama, la mayoría de éstos requieren de la implementación de un plan HACCP, debido a que son materias primas susceptibles a contaminación por contacto con suelo y agua de riego (Figura 1) (Martin-Belloso y Fortuny 2011). Por ello, las industrias procesadoras deben asegurarse de garantizar que sus productos son seguros para ser consumidos y no requieren otro tratamiento después de empacados, ya que solo reciben un procesamiento mínimo y no son cocinados, es decir, están listos para consumirse.

Los vegetales pueden ser contaminados dependiendo del procesamiento al que estén expuestos y del tipo de producto vegetal que se trate (Mu y Zun-guo 2012). La Figura 2 muestra los procedimientos primarios que se llevan a cabo en las plantas procesadoras de productos de IV gama. En dichas operaciones se consideran los factores que entran y salen al diagrama del procedimiento de producción como saneamiento del agua de lavado, concentraciones de desinfectantes, cuchillas de corte, superficies de contacto, envases y la higiene de los procesadores (Kuisma et al. 2014). Finalmente se elabora un registro y una serie de acciones correctivas a realizar en caso de presentarse un problema, por lo que son de gran utilidad ya que evidencian y documentan las áreas vulnerables del proceso (Kuisma et al. 2014).

TENDENCIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS

Desde los inicios de la producción de productos de IV gama ha surgido la pregunta de cómo prolongar su vida de anaquel y sus parámetros

organolépticos, tomando en cuenta que éstos son realizados bajo un proceso adecuado y se consideren todos los cuidados para evitar los riesgos mencionados anteriormente. Los aditivos alimentarios que se han utilizado convencionalmente abarcan desde ácidos orgánicos (cítrico y ascórbico) y sales (calcio y sulfitos), como agentes de anti-oscorecimiento y antimicrobianos, además de mantener cualidades como la firmeza y frescura de los alimentos (Sgroppo et al. 2010). Sin embargo, actualmente el consumidor demanda a la industria alimentaria productos más saludables y libres de químicos sintéticos, evitando aquellos a los cuales se les han agregado aditivos que generan características sensoriales distintas en el producto y que representen un riesgo para la salud (Lee et al. 2002). En este contexto, surge la necesidad de buscar innovaciones para la conservación de productos de IV gama, tales como las tecnologías emergentes; ya que estas aplican distintas técnicas alternativas no térmicas que en conjunto con las estrategias de calidad e inocuidad alimentaria se producirán alimentos con vida de anaquel y aspectos organolépticos aceptables (Artés-Calero et al. 2009).

Las tecnologías emergentes comprenden alternativas como: 1) Irradiación con rayos gamma, rayos x o luz ultravioleta, utilizados principalmente en productos como papa y cebolla con la finalidad de retardar reacciones de oscorecimiento y como antimicrobiano por el efecto bactericida que presentan (Martínez et al. 2013). 2) Envases activos o inteligentes, estos envases aparte de contener al alimento aportan un beneficio adicional, como interferir con sustancias o gases que modifican las características del producto y retener humedad con agentes absorbentes (ej: carbonatos ferrosos, bicarbonatos y ácido ascórbico) con el propósito de evitar el crecimiento microbiano en productos como ensaladas de IV gama (Catalá et al. 2009). 3) Recubrimientos comestibles, estas técnicas se basan en la aplicación de ceras, proteínas, lípidos

y polisacáridos con la finalidad de proteger el alimento y darle un valor agregado modificando la permeabilidad del producto, retardando la oxidación y proliferación microbiana (Martín-Belloso et al. 2005). 4) Atmosferas modificadas, en esta tecnología de envasado se reemplaza el aire atmosférico del producto con una mezcla de gases (principalmente N₂, CO₂ y O₂) para retardar la oxidación del producto y la pérdida de humedad; estas tecnologías de barrera son aplicadas principalmente en productos con una alta tasa de respiración como fresas, brócoli, champiñones, espárragos, etc. (Catalá et al. 2009).

Dentro de las tecnologías emergentes se encuentra la aplicación de extractos de origen vegetal (especies, hierbas de olor, plantas medicinales, frutas y hongos) por su potencial para ser usados como aditivos naturales, ya que se ha demostrado que poseen propiedades tanto antimicrobianas como antioxidantes, además de potencializar las características organolépticas del producto (Benkeblia 2004; Ikeda et al. 2002). Algunos de ellos ya son reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) (Gutiérrez et al. 2009), satisfaciendo los conceptos de “natural” y “saludable” que los consumidores prefieren y que la industria de los alimentos, por consiguiente, necesita proporcionar (Ayala-Zavala y González-Aguilar 2009). El uso de extractos vegetales como aditivos alimentarios puede tener como beneficios mantener la calidad sanitaria, extender la vida de anaquel y eventualmente elevar la calidad nutricional (León et al. 2009); debido a que estos extractos contienen compuestos bio-activos (fenólicos, terpenicos y azufrados) que le confieren propiedades antimicrobianas, antioxidantes y sensoriales (Kyung y Lee 2001).

CONCLUSIÓN

Por esta razón, la aplicación buenas prácticas y planes de aseguramiento de la calidad en productos de IV gama, aunado a utilizar tecnologías emergentes como complemento, se asegurara la calidad de estos alimentos, considerando principalmente el impacto sobre sus características organolépticas y reforzando las tendencias en la conservación de alimentos, todo esto para satisfacer la demanda de los consumidores de productos más frescos y reducir el uso de aditivos sintéticos.

LITERATURA CITADA

- Abadias M, Usall J, Anguera M, Solsona C, Viñas I (2008) Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *International Journal of Food Microbiology* 123 (1):121-129.
- Artés-Calero F, Aguayo E, Gómez P, Artes-Hernández F (2009) Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Horticultura internacional* 69:52-59.
- Ayala-Zavala JF, González-Aguilar GA (2009) Use of additives to preserve the quality of fresh-cut fruits. In: Martín-Belloso O, Fortuny RS (eds) *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. (Eds). Editorial CRC PRESS, p 24.
- Benkeblia N (2004) Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *LWT - Food Science and Technology* 37 (2):263-268. doi:10.1016/j.lwt.2003.09.001
- Berger H, Galletti L (2006) Procedimientos utilizados en investigación para lograr inocuidad en vegetales frescos cortados. I Simposium Iberoamericano de Vegetales Frescos Cortados Sao Pablo, Brazil Memorias:83-88.
- Brody AL, Zhuang H, Han JH (2010) *Modified Atmosphere Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. John Wiley & Sons. 14:1933-1949.
- Catalá R, HERNÁNDEZ M, LÓPEZ G, GAVARA R (2009) Materiales para el envasado de frutas y hortalizas con tratamientos mínimos. *Horticultura internacional* 69:60-65
- CDC (2002) Centers for Disease Control Prevention Multistate outbreaks of Salmonella serotype Poona infections associated with eating cantaloupe from Mexico--United States and Canada, 2000-2002. *MMWR Morbidity and mortality weekly report* 51 (46):1044
- CDC (2013) CDC: Foodborne Outbreaks Online Database (FOOD) <http://wwwn.cdc.gov/foodborneoutbreaks/> Accessed 20 February 2013.
- Center For Science in the Public Interest (2010) Sangar Fresh Cut Fresh Produce. http://www.cspinet.org/foodsafety/outbreak_report.html Accessed 25/02 2015
- Dolado MPC (2001) Nuevas estrategias en lavado y cortado. *Horticultura internacional* (1):50-67.
- Doyle MP, Erickson MC (2008) Summer meeting 2007 – the problems with fresh produce: an overview. *Journal of Applied Microbiology* 105 (2):317-330. doi:10.1111/j.1365-2672.2008.03746.
- Erturk E, Picha DH (2006) Microbiological quality of fresh-cut sweet potatoes. *International Journal of Food Science & Technology* 41 (4):366-374. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.01075.
- Escribano MI, Merodio C (2003) *Maduración y post-recolección de frutos y hortalizas*, vol 12. Editorial CSIC-CSIC Press. 1: 19-23.

Espinosa Torres CM (2014) Análisis del impacto de la implementación de certificados BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) en empresas exportadoras de alimentos del Ecuador.

Fang T, Liu Y, Huang L (2013) Growth kinetics of *Listeria monocytogenes* and spoilage microorganisms in fresh-cut cantaloupe. *Food Microbiology* 34 (1):174-181.

Gutiérrez J, Bourke P, Lonchamp J, Barry-Ryan C (2009) Impact of plant essential oils on microbiological, organoleptic and quality markers of minimally processed vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10 (2):195-202. doi:10.1016/j.ifset.2008.10.005

Ikeda H, Hosoda H, Iwahashi Y (2002) Inhibitory mechanism of onion juice on browning of shredded lettuce. *Food Preservation Science* 28 (1):3-8.

Kuisma R, Pienmunne E, Lehto M, Kymäläinen H-R Surface hygiene in vegetable processing plants: results of a repeated hygiene survey. In: 7th Central European Congress on Food, May 21-24, Ohrid, Macedonia. Book of Abstracts/ed. Kakurinov, V, 2014. Consulting and Training Center KEY, 53-60.

Kyung K, Lee Y (2001) Antimicrobial activities of sulfur compounds derived from S-alk (en) yl-L-cysteine sulfoxides in *Allium* and *Brassica*. *Food Reviews International* 17 (2):183-198.

Lanciotti R, Corbo MR, Gardini F, Sinigaglia M, Guerzoni ME (1999) Effect of hexanal on the shelf life of fresh apple slices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47 (11):4769-4776.

Lee MK, Kim YM, Kim NY, Kim GN, Kim SH, Bang KS, Park I (2002) Prevention of browning in potato with a heat-treated onion extract. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 66 (4):856-858.

León JS, Jaykus LA, Moe LC (2009) Food safety issues and the microbiology of fruits and vegetables. In: Heredia NL, Garcia JS, Wesley IV (eds) *Microbiologically Safe Foods*. John Wiley & Sons, pp 367-376.

Martin-Belloso O, Soliva-Fortuny R, (2011) Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing. *CRC Press*, 9: 231-240.

Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, Baldwin A (2005) Conservación mediante recubrimientos comestibles. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados González-Aguilar, 558-565.

Martínez EM, Cañetas XG, Martínez DS, Vanegas E (2013) Irradiación de alimentos. *Toxicología de los alimentos*:317-325.

Mu P, Zun-guo L (2012) Application of HACCP in the Production of Fresh-cut Potato. *Food Research and Development* 5:062.

Nascimento KdOd, Augusta IM, Rodrigues NdR, Pires T, Batista E, Barbosa Júnior JL, Barbosa MIMJ (2014) ALIMENTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS: UMA TENDÊNCIA DE MERCADO. *Acta Tecnológica* 9 (1):48-61.

Palekar MP, Taylor TM, Maxim JE, Castillo A (2015) Reduction of *Salmonella enterica* serotype Poona and Background Microbiota on Fresh-Cut Cantaloupe by Electron Beam Irradiation. *International Journal of Food Microbiology*.

P, Jaxsens L, Vandekinderen I, Baert L, Devlieghere F (2009) Microbiological and Safety Aspects of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: Martín-Belloso O, Fortuny RS (eds) *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Taylor and Francis Group, pp 53-86.

Rocculi P, Galindo FG, Mendoza F, Wadsö L, Romani S, Rosa MD, Sjöholm I (2007) Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology* 43 (1):151-157. doi:10.1016/j.postharvbio.2006.08.002

Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O (2009) The Fresh-Cut Fruit and Vegetables Industry: *Current Situation and Market Trends*. In: Martín-Belloso O, Fortuny RS (eds) *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. (Eds.) Editorial CRC PRESS pp 1-12.

Sgroppo S, Vergara L, Tenev M (2010) Effects of sodium metabisulphite and citric acid on the shelf life of fresh cut sweet potatoes. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8 (3):686-693.

Uribe MV, Castro RA, Paéz I, Carvajal N, Barbosa E, León LM, Díaz SM (2012) Impacto en la salud y el medio ambiente por exposición a plaguicidas e implementación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de tomate, Colombia, 2011. *Revista Chilena de Salud Pública* 16 (2):p. 96-106.

Watada AE, Qi L (1999) Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15 (3):201-205.

Tabla 1. Ejemplos de contaminación cruzada con bacterias en productos de IV gama

Microorganismos	Producto	Referencia
<i>Staphylococcus</i> spp. <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Manzana Granny Smith en rebanadas	(Lanciotti et al. 1999)
<i>Erwinia</i> spp.	Pimiento fresco cortado	(Rodoni 2014)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Apio	(Center For Science in the Public Interest 2010)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Cubos de melon Cantaolupe	(Fang et al. 2013)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Zanahoria y espinaca	(Abadias et al. 2008)
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Ensaladas preparadas	(CDC 2013)
<i>Salmonella</i> enterica serotipo Poona	Cubos de melón Cantaolupe	(Palekar et al. 2015)

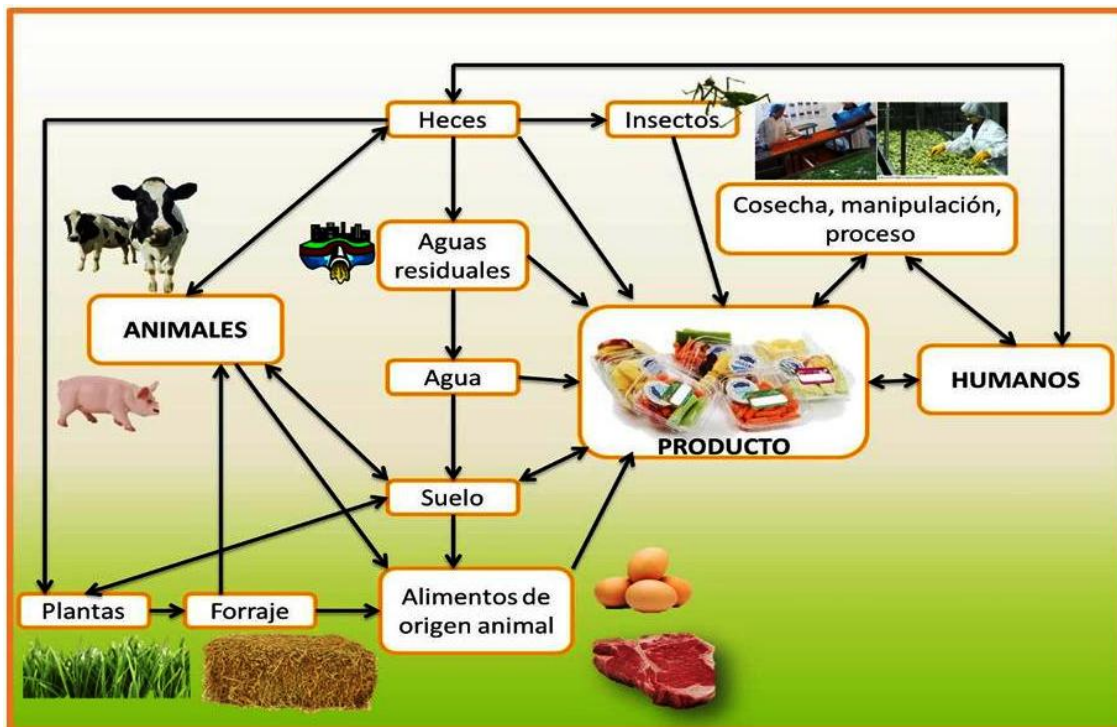


Figura 1. Mecanismo por el cual los productos frescos cortados pueden ser contaminados por distintos tipos de riesgos. Adaptado de Regaert et al., (2009).



Figura 2. Puntos de procesamiento en la línea de producción de vegetales IV gama donde se presentan los puntos críticos de control donde puede haber contaminación

SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE IV Y V GAMA DE HORTALIZAS

By-products of fresh-cut and ready-to-eat vegetables industry

Begoña de Ancos, Concepción Sánchez-Moreno, Clara Colina-Coca, Diana González-Peña,
Lucía Jiménez y Rosario Gómez*

Departamento de Caracterización, Calidad y Seguridad, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ICTAN-CSIC. Calle José Antonio Novais, 10, 28040, Madrid, España. Correo electrónico: ancos@ictan.csic.es

RESUMEN

La industria de productos derivados de vegetales tiene la necesidad de innovar y desarrollar nuevos alimentos que se adapten a las exigencias del consumidor actual que reclama alimentos fáciles de preparar y consumir, pero también seguros y de características similares a las de un producto fresco y, que además proporcionen una vida saludable y le protejan frente a enfermedades. En respuesta a estas demandas de los consumidores, la industria y los investigadores han desarrollado los llamados productos vegetales de IV y V gama. El procesamiento de alimentos vegetales produce millones de toneladas de subproductos que generan importantes problemas de gestión medioambiental a las empresas. Los métodos tradicionales de eliminación de los subproductos, como la alimentación animal, producción de biocombustibles y/o fertilizantes y la destrucción por incineración no aportan a las empresas el suficiente valor económico que aumente su competitividad, y además pueden causar un impacto medioambiental negativo. Sin embargo, el aprovechamiento de los subproductos del procesamiento de frutas y hortalizas para la obtención de compuestos fitoquímicos con actividad biológica (compuestos fenólicos, carotenoides, fibra dietética, betalainas, pectinas) que pueden ser empleados como ingredientes funcionales naturales, puede ser una solución

económicamente rentable para el desarrollo y mejora de la industria de procesamiento de vegetales. Por tanto, la reutilización de los subproductos del procesamiento de frutas y hortalizas como fuente para la obtención de compuestos fitoquímicos que pueden ser empleados en el diseño de nuevos alimentos funcionales, es un tema de máximo interés en la actualidad.

Palabras clave: Subproductos, vegetales frescos cortados, vegetales fáciles de preparar y consumir, fitoquímicos, ingredientes funcionales.

ABSTRACT

The industry of vegetable products has the need to innovate and develop new foods that fit the requirements of current consumer demands for convenience foods easier to consume, safe, similar to fresh products that provide a healthy life and protection against diseases. In response to these consumer demands, the industry and the researchers have developed the called vegetables products in 4th and 5th range. The processing of vegetables produces millions of tons of byproducts that generate important environmental management problems for the industry. Traditional methods of disposal of byproducts, animal feed, soil fertilizers and/or

biofuels and destruction by incineration do not provide to the industry the sufficient economic value to increase their competitiveness and also could cause a negative environmental impact.

Furthermore, the reuse of vegetable byproducts to obtain biologically active phytochemicals (phenolics, carotenoids, dietary fiber, betalains), that can be used as natural functional ingredients, could be a solution to the economic and environmental problems involved in removing the waste of the vegetable processing. Moreover, the reuse of the byproducts of fruit and vegetable processing as a source for obtaining phytochemicals which can be used in the design of new functional foods is a topic of great interest today.

Keywords: Byproducts, fresh-cut vegetables, ready-to-prepare and ready-to-eat vegetables, phytochemicals, functional ingredients

INTRODUCCIÓN

Los hábitos y costumbres de los consumidores del siglo XXI están cambiando en consonancia con su ritmo de vida y como consecuencia de un mayor conocimiento del efecto que tiene los alimentos que ingieren en su salud y calidad de vida. En la actualidad, la demanda creciente por parte de los consumidores de alimentos fáciles de preparar o de consumir, seguros, con propiedades biológicas más allá de las nutricionales, y todo ello sin renunciar a las características sensoriales de frescura del alimento, han motivado a los investigadores e industriales a desarrollar nuevas tecnologías de procesado y conservación, cuyo principal objetivo es la inactivación de enzimas y de microorganismos alterantes y/o patógenos, tratando de eliminar las consecuencias adversas de las tecnologías tradicionales (tratamientos térmicos, secado, acidificación, salado, aditivos químicos, etc.), relacionadas con la pérdida de calidad sensorial y nutricional. De entre las

nuevas tecnologías de procesado y conservación de alimentos estudiadas en los últimos años, han sido las denominadas “tecnologías de procesado mínimo”, las que han recibido mayor atención por parte de investigadores, industriales y comerciales (González-Aguilar et al., 2005; Oms-Oliu et al., 2010; Artés y Allende, 2005). Dentro del grupo de alimentos obtenidos mediante un procesado mínimo estarían los productos vegetales frescos cortados o de IV gama. También como consecuencia del desarrollo de nuevos alimentos con sus características sensoriales y nutricionales mínimamente modificadas, han surgido los denominados alimentos vegetales de V gama.

Por otro lado, y dentro de la tendencia actual de consumir alimentos seguros y saludables pero libres de aditivos sintéticos, los consumidores demandan ingredientes o aditivos naturales capaces, no sólo de mantener la calidad inicial del alimento, sino también de proporcionar propiedades beneficiosas para la salud (reducción del riesgo de padecer enfermedades graves) que van más allá de los requerimientos nutricionales, es decir, reclaman lo que se conoce como alimentos o ingredientes funcionales. Los subproductos de la industria del procesado de vegetales proporcionan una materia prima rica en compuestos fitoquímicos (compuestos fenólicos, carotenoides, fibra dietética, vitamina C, minerales) que puede ser utilizada para la obtención de dichos ingredientes funcionales.

EFFECTOS BENEFICIOSOS PARA LA SALUD DEL CONSUMO DE FRUTAS Y HORTALIZAS: COMPUESTOS FITOQUÍMICOS

En los últimos años se ha observado un incremento progresivo en la dieta del número de raciones de frutas y hortalizas debido al mayor conocimiento que tiene el consumidor de las propiedades beneficiosas para la salud ligadas a su ingesta. Han surgido numerosos estudios

epidemiológicos que muestran la relación directa entre una dieta rica en frutas y hortalizas y la menor incidencia de enfermedades crónicas degenerativas como ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, degeneración macular, envejecimiento, etc. (Liu et al., 2000; Michels et al., 2000; Kris-Etherton et al., 2002; Trichopoulou et al., 2003; Willcox et al., 2003; Dauchet et al., 2006; Ordovás et al., 2007). Este efecto se atribuye a la presencia en estos alimentos de compuestos con determinadas acciones biológicas que producen efectos beneficiosos para la salud y que se conocen como compuestos bioactivos o fitoquímicos (Prior y Cao, 2000). La actividad biológica de los compuestos fitoquímicos o bioactivos (fibra dietética, carotenoides, compuestos fenólicos, vitaminas A, C y E, glucosinolatos, compuestos organosulfurados, lactonas sesquiterpénicas) ha sido estudiada mediante ensayos *in vitro*, *ex vivo* y mediante estudios de intervención en humanos (Liu, 2013).

En general, podríamos resumir y definir los compuestos fitoquímicos como “sustancias químicas que son constituyentes de alimentos de origen vegetal, y que proporcionan al alimento propiedades fisiológicas que van más allá de las nutricionales”.

Los mecanismos de la acción beneficiosa del consumo de frutas y hortalizas no son completamente conocidos, aunque parece que están relacionados con las interacciones sinérgicas o aditivas entre los compuestos fitoquímicos que contienen, a través de distintos mecanismos: como la modulación de la concentración de hormonas esteroideas y enzimas detoxificantes, la disminución de la agregación plaquetaria y de la presión sanguínea, la alteración del metabolismo del colesterol y del metabolismo hormonal, las actividades antioxidante, antiviral y antibacteriana, así como la estimulación de la respuesta inmune y la modificación de los procesos inflamatorios (Liu, 2013).

Sin embargo, las frutas y hortalizas deben ser procesadas por razones económicas o logísticas, para mejorar su digestibilidad, en función de los hábitos de consumo de cada país o para facilitar su ingesta a grupos con necesidades especiales (niños, enfermos, ancianos, mujeres embarazadas). Por tanto, existe un creciente interés en desarrollar nuevos sistemas de procesado que modifiquen mínimamente las características nutricionales y saludables de las frutas y hortalizas, o incluso que las potencien.

Por tanto, las perspectivas de crecimiento del sector de productos hortofrutícolas procesados pasa por satisfacer las demandas del consumidor actual preocupado por consumir alimentos sometidos a un procesado mínimo para mantener sus características de frescura inalteradas, y obtener alimentos seguros, nutritivos, libres de aditivos sintéticos, que aporten beneficios a su salud, cuya producción sea compatible con el medio ambiente que les rodea, además de ser convenientes, es decir, fáciles de preparar y de consumir. En este contexto se incluyen los alimentos vegetales (frutas y hortalizas) mínimamente procesados de IV y V gama.

PRODUCTOS VEGETALES DE IV Y V GAMA

Los productos vegetales de IV gama, también llamados mínimamente procesados, procesados en fresco, listos para consumir (ready-to-eat) o frescos cortados (fresh-cut), son productos acondicionados para su consumo directo mediante procesos sencillos (selección, lavado, pelado, deshuesado, corte, higienizado) y tratamientos sencillos o combinados, siempre con aditivos naturales, que se envasan bajo un film plástico y se conservan en refrigeración bajo atmósfera modificada, lo que permite mantener la calidad del producto durante una vida útil de 7-10 días en condiciones de refrigeración (2-8 °C) (Artés y Allende, 2005; González-Aguilar *et al.*, 2005) (Diagrama 1). Por tanto, se envasan, conservan y distribuyen en refrigeración. No se

someten a tratamientos térmicos y están listos para consumir o cocinar y su calidad es

semejante a la del producto fresco del que provienen.

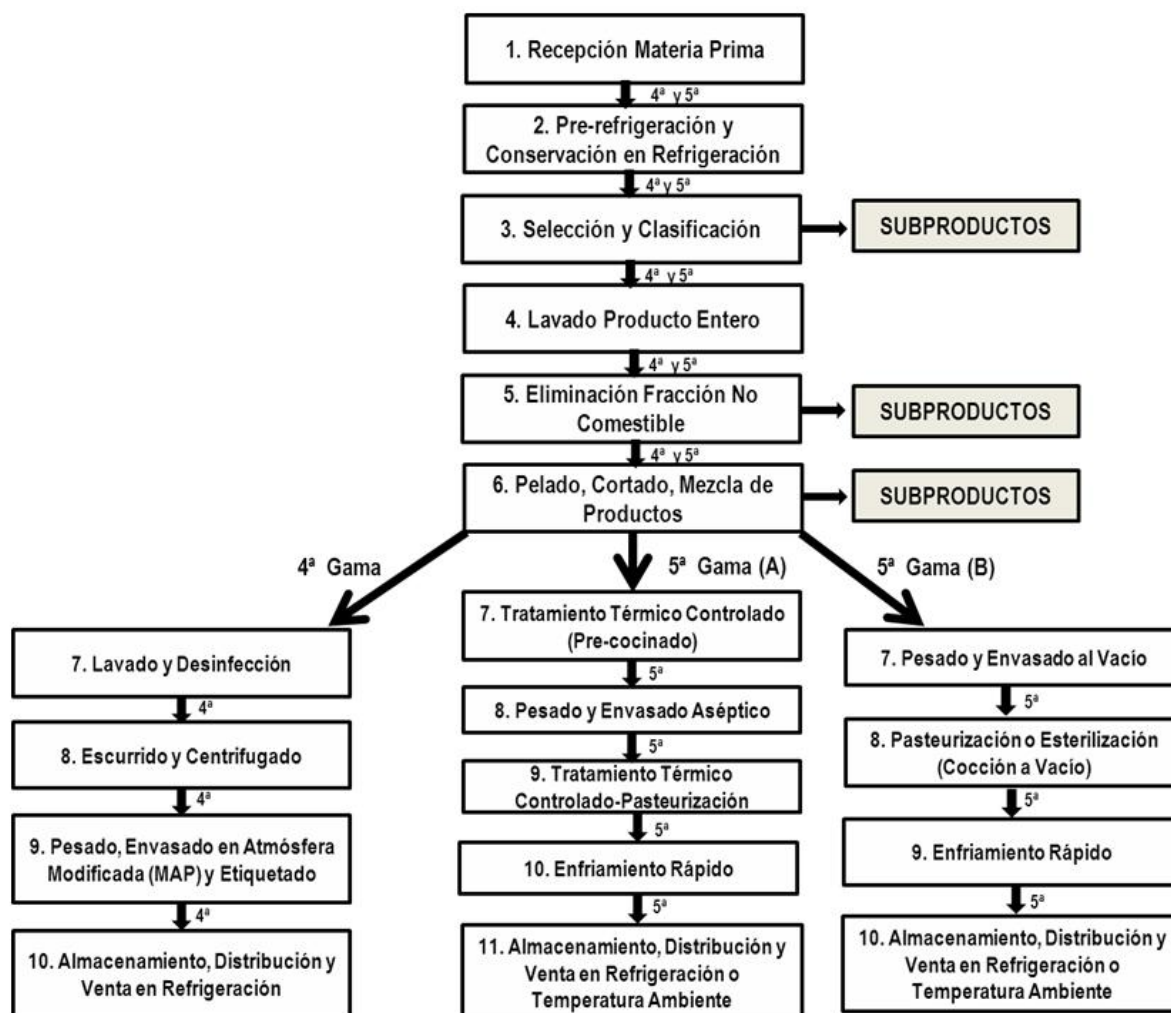


Diagrama 1. Etapas del procesado para la obtención de vegetales de IV y V gama

En España, la IV gama fue introducida a finales de los años 80 por la empresa Vega Mayor, S.A. (hoy Grupo Florette Ibérica) en Navarra, y ha ido adquiriendo cada vez más importancia, extendiéndose a otras zonas con gran producción hortofrutícola como Murcia, Comunidad Valenciana, Andalucía y Cataluña. Su principal canal de distribución ha sido los hipermercados, supermercados y comercios pequeños, que representa un 75% de las ventas, y el 25 % restante se ha dirigido al canal de hostelería y restauración (HORECA). Actualmente, los productos de IV gama se consumen en más del 60 % de los hogares

españoles, es decir, 13 millones de hogares españoles han incorporado este tipo de alimento en sus hábitos de consumo en el marco de una dieta saludable. La media del consumo en España de alimentos de IV gama ha variado poco en los últimos años siendo de aproximadamente 2,8 kg por persona y año. Sin embargo, en otros países europeos el consumo por habitante es muy superior. En el Reino Unido se consumen 12 kg por persona/año y en Francia e Italia 6 y 4 kg, respectivamente. En Estados Unidos, origen de la IV gama, el consumo es de 30 kg por persona al año (Aldaz, 2015). España es un mercado dinámico y la

comercialización de vegetales de IV gama se ha incrementado año tras año desde su introducción en España. Así, de una cifra de comercialización de 2.000 toneladas (t) en el año 1990 se ha llegado a 81.533 t en el año 2014, de las cuales 97% han sido hortalizas y el 3% restante frutas. Desde su introducción en el mercado español, las cifras de consumo en España de IV gama se han incrementado año tras años incluso en los años más duros de crisis económica. Así, de un incremento anual del 20% observado del año 2005 al 2006, se pasó a incrementos más moderados ($\leq 6\%$) en años sucesivos. Las últimas cifras disponibles del año 2014 indican un crecimiento de un 4,9% respecto a 2013 (Aguerri-Esparza, 2014; Monje, 2014).

La producción de hortalizas de IV gama en España está constituida principalmente por ensaladas de lechugas de una única variedad (60%), mezclas de lechuga y otras hortalizas para ensaladas (incluyendo col lombarda, zanahoria rallada, canónigos, escarolas, etc.) (17%), hortalizas de pequeño tamaño y sabor intenso que se suelen denominar mini o baby (zanahorias, rabanitos, tomate cherry, etc.) (12%), espinaca (7%), acelga y zanahoria rallada (3%), y en menor cantidad (1%) cebolla, pimiento, puerro, mezcla para sopas, brotes, apio y brásicas (coles de bruselas, coliflor, brócoli y romanescu)(Figura 1). En el sector HORECA, los productos más populares son la patata y la cebolla cortada (Andujar-Sanchez et al., 2010; Monje, 2014; Aguerri-Esparza, 2014).

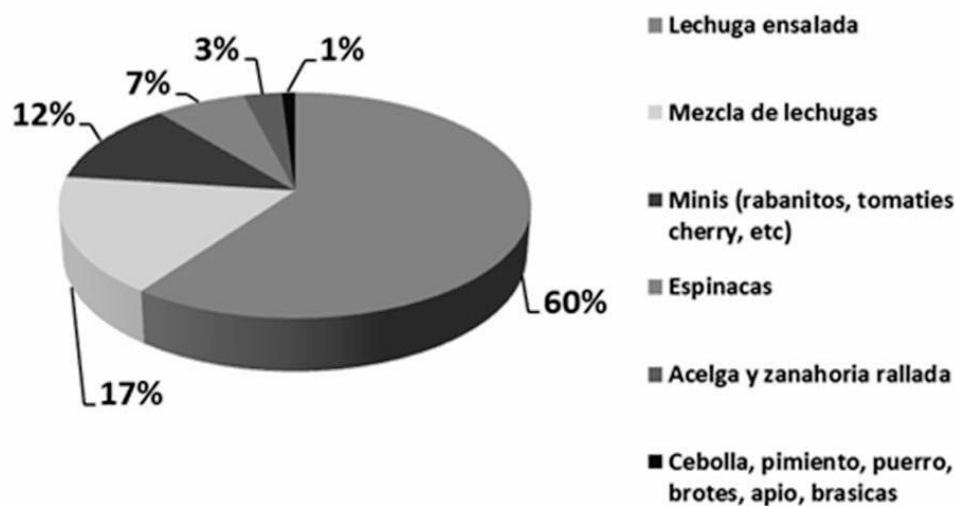


Figura 1. Porcentaje de hortalizas de IV gama producidas en España (Aguerri-Esparza, 2014).

Los alimentos de la V gama son aquellos productos sometidos a distintos procesos culinarios, que son envasados al vacío y que reciben tratamientos térmicos con un estricto control de tiempo y temperatura entre 50-85 °C (pasteurización). Estos tratamientos consiguen un producto con una calidad microbiológica adecuada para prolongar su vida útil entre 1-3 meses (dependiendo de la intensidad del tratamiento térmico seleccionado) almacenados

a temperatura de refrigeración (Diagrama 1). Además, es muy importante que se mantenga la temperatura de refrigeración durante todas las fases de producción, almacenamiento, transporte, distribución y punto de venta, para conseguir que llegue hasta el consumidor un producto con la calidad sensorial y nutricional similar a la del recién elaborado. Están listos para consumir (después de calentar), son cómodos, prácticos y de buena calidad. Antes de

ser consumidos se requiere la denominada “regeneración”, que consiste en un calentamiento en horno convencional, microondas o por inmersión en agua (baño maría), sin necesidad de grandes manipulaciones. También existe una línea de productos de V gama esterilizados que pueden ser almacenados a temperatura ambiente (Baldwin, 2012).

El consumo de vegetales de IV y V gama está experimentando un aumento progresivo, no sólo a nivel de consumo doméstico, sino fundamentalmente a nivel de restauración colectiva (restaurantes, comedores escolares, comedores de empresa, hospitales). La IV y V gama permite tener preparados y listos para el consumo platos elaborados (o que requieran una manipulación sencilla) de alta calidad, siguiendo las recetas más apropiadas a consumidores con necesidades especiales como: personas con patologías específicas (colesterol alto, presión arterial elevada, problemas cardiovasculares); personas con una situación fisiológica determinada (embarazadas, menopausia, enfermos crónicos); personas de distintas edades (niños, adolescentes, ancianos); personas de distintas culturas y religiones (latinos, asiáticos, africanos, nórdicos, musulmanes, judíos, comunidades nativas). Los productos vegetales de V gama desarrollados son numerosos y variados y podemos encontrar desde productos con un único vegetal cocido o braseado (alcachofa, pimiento, zanahoria, guisantes, brócoli, champiñón, espárragos, etc.) hasta platos elaborados con mezclas de varios productos. También dentro de este grupo se comercializan sopas y purés de vegetales.

Además, el sector de la restauración está desarrollando nuevos modos de operar antes inexistentes, como la denominada “cocina de ensamblaje”. Se basa en el concepto de preparar o “montar” los platos a partir de productos con algún grado de elaboración que son combinados según una receta, con o sin cocción. Este sistema

se apoya en ambas tipologías de productos IV y V gama, y aporta un importante valor añadido al sector con ventajas notables de tipo económico, y además asegura al restaurador un alto grado de calidad de los productos que ofrece.

Actualmente los productos vegetales de IV y V gama son señalados por los expertos de mercado como una de las áreas con mayores perspectivas de crecimiento incluso en épocas de crisis económica, dado que dichos productos se encuentran en sintonía con las tendencias socio-demográficas actuales y de concienciación por parte del consumidor de seguir una alimentación basada en productos frescos, fáciles de preparar, seguros y saludables (FEHRCAREM, 2015).

IMPACTO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS VEGETALES DE IV Y V GAMA

En Europa se producen más de 200 millones de toneladas de residuos de la transformación de frutas y hortalizas que son responsables del 20-30% del impacto medioambiental negativo que soporta esta región (Gustavsson *et al.*, 2011). Desde un punto de vista económico, los residuos encarecen el producto, cuyo coste es repercutido en el precio del producto. La legislación ambiental de la UE es exigente con el tratamiento de los residuos. La Directiva 2006/12/CE (CE, 2006a) establece la obligación a los Estados Miembros de implantar las medidas necesarias para reducir los residuos por reciclado, recuperación o su utilización como fuente de energía, así como incentivar cualquier otra acción destinada a obtener materias primas secundarias, que suponga una valorización de los mismos. Posteriormente la Directiva 2008/98/CE (CE, 2008) ya incluye la definición de subproducto.

La figura 2 muestra el porcentaje del peso inicial de frutas y hortalizas que es descartado en cada fase de la cadena de producción y distribución

en distintas regiones del mundo. Es destacable que en la mayoría de los países, el porcentaje del peso inicial de los productos vegetales que se pierde o descarta en forma de subproductos es superior al 40%, llegando a ser más del 50% en países menos industrializados (África subsahariana, Norte de África, Asia del Este y Central, Sur y Sureste de Asia, América Latina).

En las regiones más industrializadas (Europa, América del Norte, Oceanía, Asia

industrializada), se observa una importante pérdida de entre 15-20% debida a los descartes realizados por exigencias de calidad de los distribuidores. También en estos países se observan pérdidas importantes relacionadas con una manipulación incorrecta por parte del consumidor (Gustavsson et al., 2011).

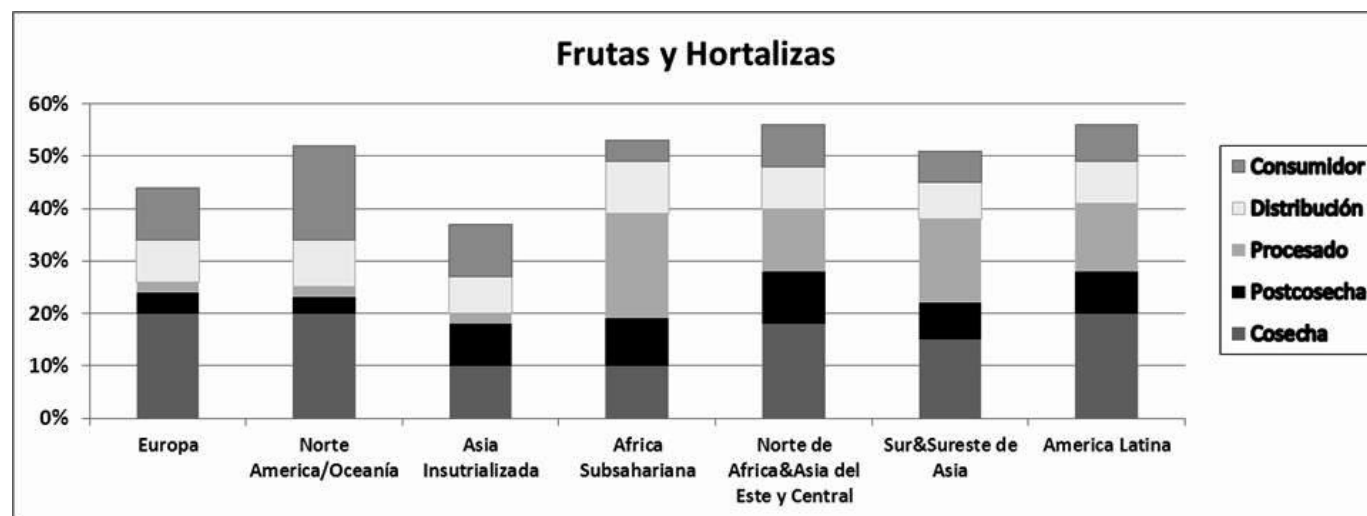


Figura 2. Porcentaje de subproductos de frutas y hortalizas generados en la cadena de producción y distribución en distintas regiones del mundo (Gustavsson et al., 2011).

La industria de procesamiento de productos vegetales de IV y V gama genera grandes volúmenes de residuos agroindustriales que son difíciles de reutilizar, reciclar o eliminar, y que suponen un gasto importante para las empresas. Dicha situación ha provocado la necesidad de plantear proyectos innovadores con el objetivo de buscar nuevas vías de reutilización de estos residuos de bajo coste en productos de alto valor añadido que justifique la inversión, con el propósito de generar nuevos negocios y diversificar los productos que produce la empresa. Una de estas vías de investigación innovadora ha revelado a los subproductos agroindustriales como una fuente importante de compuestos fitoquímicos que pueden ser

Simiente 85(3-4):47-76

utilizados como ingredientes funcionales en la formulación de nuevos alimentos.

REUTILIZACIÓN DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE HORTALIZAS DE IV Y V GAMA: OBTENCIÓN DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS

El procesamiento de frutas y hortalizas genera grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos; la recuperación total o parcial de estos residuos supone importantes ventajas de tipo económico, social y medioambiental. Generalmente, estos subproductos han sido reutilizados en alimentación animal, para el

compostaje de las tierras de cultivo o para la obtención de biomasa utilizada en la obtención de combustibles como el bioetanol (Lenucci et al., 2013).

El diagrama 1 muestra las distintas fases del procesado para la obtención de productos vegetales de IV y V gama. En este diagrama se observa que las primeras fases del procesado (1-6) son similares para los dos tipos de productos y coinciden con las fases que generan la mayor cantidad de subproductos. Estas fases iniciales son similares en la mayoría de los procesados de vegetales (zumos, pastas, salsas, productos esterilizados, congelados, y otros procesados).

Así, en la fase 3 (Diagrama 1), “selección y clasificación”, se descarta el producto entero deteriorado, bien por daño mecánico o por ataque fúngico, y en muchos casos cuando no reúnen las características de tamaño o grado de madurez exigidas por los parámetros de calidad comercial. En la fase 5 (Diagrama 1), “eliminación de la fracción no comestible”, se descartan hojas, vainas como en el guisante y judía verde (poroto), raíces, capas externas secas como en la cebolla o el ajo, hojas externas en la lechuga o la alcachofa, la mazorca (olote) en donde se encuentran los granos de maíz (choclo, elote), y otras partes no comestibles, siendo el peso del producto descartado (subproducto) muy variable dependiendo del producto. Por ejemplo, en el caso de la alcachofa y el apio el peso de los subproductos generados puede ser un 50-60% del peso del vegetal fresco inicial llegando a un 75% en el procesado de guisante (Larrosa et al., 2002). Por último, en la fase 6 (Diagrama 1), “pelado y cortado”, se descartan la piel, las semillas y huesos, que suelen ser los subproductos donde se encuentra la mayor concentración de compuestos fitoquímicos (Moure et al., 2001; Ayala-Zabala et al., 2011).

Existen varias revisiones que resumen los trabajos publicados relacionados con la obtención de compuestos fitoquímicos a partir

de subproductos agroindustriales y su aplicación en el diseño de nuevos alimentos funcionales. Así, Schieber et al., (2001), realizaron una de las primeras revisiones sobre la utilidad de los subproductos del procesado de productos vegetales como materia prima barata para la obtención de fitoquímicos (vitamina C, compuestos fenólicos, carotenos, tocoferoles, minerales y otros). Además, estos residuos agroindustriales podían ser una importante fuente de ingredientes antioxidantes (Morue et al., 2001). Uno de los ingredientes bioactivos más importantes que puede ser obtenido a partir de estos subproductos es la fibra dietética (Larrauri, 1999; García-Herrera et al., 2010). O’ Shea et al. (2012) resumieron gran parte de los trabajos publicado hasta esa fecha sobre la utilidad de los subproductos del procesado de frutas y hortalizas para la obtención de fibra dietética y otros fitoquímicos que pueden ser utilizados como ingredientes funcionales. Los subproductos obtenidos del procesado de los vegetales también presentan un alto contenido en compuestos fenólicos con importantes propiedades antioxidantes (Larrosa et al., 2002; Balasundram et al., 2006). En la actualidad, el incremento del consumo de derivados de frutas tropicales, por su alto valor nutricional y características beneficiosas para la salud, ha hecho que el procesado de estas frutas (zumos, purés, enlatados, producto fresco cortado, y otras formas de preparación), genere una gran cantidad de subproductos ricos en compuestos fitoquímicos que pueden ser utilizados como aditivos naturales con distintas actividades (antioxidante, antipardecimiento, antimicrobianos, colorantes, texturizantes) (Ayala-Zabala et al., 2011).

A continuación se describen algunos subproductos procedentes del procesado de hortalizas como materia prima para la obtención de compuestos fitoquímicos que pueden ser utilizados como ingredientes funcionales.

Lechuga (Lettuca sativa L.)

Aproximadamente 24,89 millones de toneladas de lechuga se produjeron en el año 2013 en todo el mundo, siendo España el cuarto país productor con 904.300 t (América Central, 441.716,00 t; América del Sur, 332.657,43 t) (FAOSTAT, 2013a). En España, el 75% de la producción de lechuga se sitúa en Andalucía (33%), la Región de Murcia (32%) y la Comunidad Valenciana (10%) (MARM, 2009). Además, el 62% de la superficie de cultivo de lechugas para IV gama se encuentra en la región de Murcia (Andujar et al., 2010), siendo las variedades acogolladas tipo iceberg las más utilizadas.

Los subproductos de lechuga son un material vegetal rico en compuesto fenólicos. Numerosos estudios epidemiológicos han mostrado que una dieta con un alto contenido en alimentos vegetales ricos en compuestos fenólicos reducen el riesgo de padecer enfermedades crónicas severas, incluidas enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 (T2D) y ciertos tipos de cáncer, entre otras (Bohn, 2014). Este efecto beneficioso para la salud atribuido a los polifenoles está relacionado con su acción antiinflamatoria, antioxidante y su capacidad de inhibir la proliferación celular que se traduce en la reducción del colesterol, los triglicéridos, los niveles séricos de ácidos grasos y de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de aumentar las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Además, presentan una alta capacidad para inhibir la proliferación de las células favoreciendo la disminución de la velocidad de crecimiento y la apoptosis celular. El consumo

diario de compuestos fenólicos es de 823 ± 323 mg/día en España, que es 10 veces superior que el consumo de vitamina C y 100 veces mayor que el de β -caroteno y vitamina E, si bien depende de las costumbres culturales y familiares (Crozier et al, 2009; Mitjavila y Moreno, 2012; Tresserra-Rimbau et al. 2013).

La lechuga es uno de los productos más empleado en la preparación de alimentos de la IV gama, estimándose que un 60% del total de productos de vegetales frescos cortados están elaborados con lechuga y escarola. En la actualidad, existe una creciente demanda del consumo de ensaladas de una sola variedad de lechuga (Iceberg, Batavia, Trocadero, Lollo roso, Hoja de roble o Romana), o mezclas de hojas de estas variedades, observándose un incremento cada vez mayor del consumo de mezcla de mini hojas (baby leaf), de lechuga y otros vegetales de hoja como espinaca, acelga, berros, canónigos y rúcula.

Los subproductos del procesado de lechuga están constituidos fundamentalmente por las hojas externas y parte del tallo. Su composición variará en función de la variedad de lechuga así como por las condiciones climatológicas y las prácticas agrícolas utilizadas en el material vegetal de partida (frecuencia de riego, tipo de abono, etc.). Hay que destacar que las hojas externas de la lechuga presentan mayor contenido en compuesto fenólicos que las internas (Hohl et al, 2001).

Cuadro 1. Compuestos fenólicos extraídos de los subproductos de lechuga y escarola

Variedad	Fenoles Totales (µg/g pf)	Flavonoles Totales (µg/g pf)	Flavonas Totales (µg/g pf)
Romana			
(extracción agua)	496,00	84,22	46,33
(extracción metanol)	221,00	85,15	30,42
Iceberg			
(extracción agua)	211,05	21,84	7,14
(extracción metanol)	108,10	24,38	9,20
Baby			
(extracción agua)	1088,00	157,70	5,80
(extracción metanol)	1215,20	320,23	21,70
Escarola			
(extracción agua)	420,50	346,32	nd
(extracción metanol)	415,43	407,00	nd

Pf: peso fresco, nd: no detectado. Fuente: Llorach et al. (2004)

Generalmente, la mayoría de la composición fenólica de las lechugas (90%) está constituida por derivados del ácido cafeico, principalmente esterificados con ácido quínico (ácido clorogénico e isoclorogénico), tartárico (ácido cicórico) y málico (Llorac *et al.*, 2008). Los compuestos flavonoides identificados en las hojas de lechuga representan una fracción minoritaria (5%) y son principalmente flavonoles, flavonas y antocianos conjugados con glucosa, ramnosa y ácido glucurónido (variedades de hoja pigmentada). Los flavonoles más comunes encontrados en la lechuga son derivados de quercetina y kaempferol, pero también se han identificado flavonas derivadas de la luteína y antocianos derivados de la cianidina (Llorac et al, 2008).

Por tanto, los derivados de quercetina son los flavonoles mayoritarios en la lechuga, que se encuentran en mayor concentración en las lechugas con hojas rojas que en las variedades verdes [quercetina-3-O-glucósido, quercetina-3-O-rutinósido, quercetina-7-O-glucurónido, quercetina-3-O-(6"-O-malonilglucósido) y otros derivados]. Sin embargo, los derivados de kaempferol se encuentran sólo en la escarola (kaempferol-3-O-glucurónido y kaempferol-3-O-(6-O-malonilglucósido). Los derivados de

luteolina son flavonas prácticamente inexistente en las lechugas verdes siendo más abundante en las pigmentadas como Lollo rosso (luteolina-7-glucurónido, luteolin-7-glucósido y luteolina-7-rutósido). Los antocianos más frecuentes en las lechugas rojas son cianidina-3-O-(6-malonilglucósido) y cianidina-3-O-glucósido (Llorac et al, 2008).

La concentración de compuestos fenólicos totales en las lechugas es baja y depende de la variedad analizada [Iceberg (18,2±0.6 mg/100 g fw); Romana (63,5±3,5 mg/100 g fw); Lollo rosso (571,2±33,1 mg/100 g fw)] (Llorac *et al.*, 2008). Sin embargo, el alto consumo diario de este vegetal en España lo convierten en una importante fuente de compuestos fenólicos. Así, un estudio sobre la cantidad de compuestos fenólicos que la dieta proporciona cada día, indica que el consumo de lechuga aporta el 1% de los 823±323 mg/día de compuestos fenólicos consumidos en España (Tresserra-Rimbau et al. 2013).

El cuadro 1 muestra la composición fenólica de los subproductos de la producción de lechuga de IV gama en función de la variedad de la lechuga y del disolvente utilizado (Llorac et al., 2004).

Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., Solanacea)

El tomate se encuentra entre los diez productos agrícolas que más se produjeron el año 2013 en todo el mundo (163,964 millones de toneladas). España ocupó el noveno lugar de la producción mundial con 3.683.600.00 t (6,7 millones t en América del Sur y 3,87 millones t en América Central) (FAOSTAT, 2013a).

El tomate y los productos procesados de tomate (tomate cortado, salsas, zumo, pasta, puré) presentan un alto contenido en micronutrientes (vitamina C y E, folato y minerales), fibra dietética y compuestos fitoquímicos: compuestos fenólicos y fundamentalmente carotenoides como el licopeno y la provitamina A β -caroteno (Sánchez-Moreno et al., 2008). El consumo de tomate y productos derivados de tomate ha sido asociado con un menor riesgo de padecer ciertos tipos de cáncer (próstata) (Giovannucci, 2002), mostrando también un alto efecto protector frente a enfermedades cardiovasculares gracias a las importantes actividades antioxidante, antiplaquetaria y de reducción de los niveles de lípidos en sangre (Fuentes et al., 2013), que presenta el tomate. La actividad protectora asociada al consumo de tomate y productos procesados se ha puesto en evidencia mediante numerosos ensayos *in vivo*, en los que se ha constatado la reducción de determinados marcadores de oxidación lipídica (oxidación de las LDL y F2-isoprostanos) y de inflamación (Burton-Freeman et al., 2012). El efecto protector que presenta el consumo de tomate y productos procesados ha sido asociado fundamentalmente a la presencia de licopeno (Giovannucci, 2002), que se encuentra en muy alta concentración en productos procesados de tomate y en los

correspondientes subproductos, principalmente en la piel (Chang et al., 2006).

El procesado de tomate da lugar a distintos tipos de subproductos (piel, semillas y pulpa, dependiendo del tipo de procesado) cuya concentración en fitoquímicos dependerá de distintos factores como las condiciones de procesado, la variedad y grado de madurez de los tomates utilizados. Así, en la elaboración de los derivados de tomate más importantes como zumos, pasta, salsa o concentrado de tomate, se obtiene un residuo sólido formado por un 56% de pieles y un 44% de semillas (Shieber *et al.*, 2001). El rendimiento de producción de los derivados de tomate puede oscilar entre un 95 y un 98% de la cantidad inicial, por lo que si consideramos un rendimiento medio aproximado del 96%, el residuo sólido o subproducto generado sería un 4% del peso de tomate inicial. El análisis químico de este subproducto muestra que está compuesto por fibra (59,03%), azúcares totales (25,73%), proteínas (19,27%), pectinas (7,55%), grasa total (5,85%) y minerales (3,92%) (Shieber et al., 2001; Valle et al., 2006).

Por tanto, los subproductos del procesado de tomate están formados principalmente por piel y semillas y pueden presentar una composición cualitativa en compuestos fitoquímicos similar a la del fruto de tomate entero. Generalmente, la piel es el subproducto con mayor concentración en licopeno y compuestos fenólicos, mientras que las semillas, además de compuestos fenólicos, presentan un alto contenido en ácidos grasos insaturados, principalmente ácido linoleico (Shieber et al. 2001; Lenucci et al., 2010).

Cuadro 2. Compuestos fitoquímicos extraídos de tomate entero y de su correspondiente subproducto constituido por piel y semillas.

Compuesto	Tomate entero	Subproducto	Significancia
Carotenos (µg/g ps)			
Licopeno	1013,2±89	413,7±80	**
β-Caroteno	86,1±4,4	149,8±86	**
α-Tocoferol (µg/g ps)	85,8±5,9	155,7±10	**
Esteroles (µg/g ps)			
β-Sitosterol	91,5±2,2	378,8±53	**
Stigmasterol	67,3±2,5	151,7±19	**
Campesterol	10,8±0,8	65,6±5,8	**
Polifenoles (µg/g ps)			
Ácidos Hidroxicinámicos	105,5±2,4	120,8±8,3	ns
Ácidos Fenólicos	120,3±2,3	128,1±7,6	ns
Flavonoides	51,8±2,3	378,7±62	**
Naringenina (% Flavonoides)	8,3±0,7	63,5±4,6	**

Ps: peso seco; ns: no significativo. *: $P < 0$. **: $P < 0.01$. Fuente, Kalogeropoulos et al. (2012).

El subproducto obtenido en la elaboración de pasta de tomate (semillas y piel) presenta una cantidad similar de fenoles totales y de actividad antioxidante (DPPH y FRAP) que el tomate entero inicial, si bien en este último predomina los ácidos hidroxicinámicos, ácidos cafeico y

clorogénico, mientras que en los subproductos predomina los flavonoides, principalmente naringenina (87%) (Kalogeropoulos et al., 2012) (Cuadro 2).

Cuadro 3. Compuestos fotoquímicos extraídos de los subproductos del tomate.

Subproducto	Fitoquímico	Concentración	Fuente
Entero	Licopeno	29 µg/g pf	Choudhari et al. 2007
Piel	Licopeno	486 µg/g pf	Choudhari et al. 2007
Piel (extracción enzimática con pectinasa)	Licopeno	1590 µg/g pf	Choudhari et al. 2007
Entero	Licopeno	1013 µg/g ps (38,8 µg/g pf)	Kalogeropoulos et al. 2012 Kalogeropoulos et al. 2012
Piel+semillas	Licopeno	414 µg/g ps (78,12 µg/g pf)	
Piel+semillas (extracción disolvente)	Licopeno	310 µg/g ps	Baysal et al. 2000
Piel+semillas (SFE+5% etanol)	Licopeno	465 µg/g ps	Baysal et al. 2000
Piel+semillas	Licopeno	864 µg/g ps	Knoblich et al. 2005
Piel	Licopeno	19,8 µg/g pf	Kaur et al. 2008
Pulpa	Fenoles	92-270 µg/g pf	George et al. 2004
Piel	Fenoles	104-400 µg/g pf	George et al. 2004
Pulpa	Fenoles	127 µg/g pf	Toor y Savage, 2005
Piel	Fenoles	291 µg/g pf	Toor y Savage, 2005
Semillas	Fenoles	220 µg/g pf	Toor y Savage, 2005
Piel+semillas	Fibra	50% ps	Valle et al. 2006

Pf: peso fresco; ps: peso seco; SFE (supercritical fluid extraction), extracción por fluidos supercríticos.

Sin embargo, cuando se calcula la concentración de licopeno en peso fresco, la piel del tomate presenta una cantidad de licopeno (486 µg/g peso fresco-pf) significativamente mayor que el tomate entero (29 µg/g pf) (Choudhari et al., 2007) (Cuadro 3). El empleo de enzimas capaces de hidrolizar la pared celular como celulasas y pectinasas, puede incrementar un 107% y 206%, respectivamente, la extracción de licopeno de la piel del tomate (Choudhari y Ananthanarayan, 2007) (Cuadro 3). También la utilización de sistemas de extracción con dióxido de carbono supercrítico en presencia de etanol, puede incrementar hasta un 50% la cantidad de licopeno extraído de pieles de tomate (de 309 a 465 µg/g peso seco-ps) (Baysal et al., 2000).

Además de licopeno, los subproductos del tomate también son ricos en compuestos fenólicos, habiéndose demostrado que la piel y las semillas del tomate presentan una concentración más alta en compuestos fenólicos que la pulpa (Cuadro 3) (Kalogeropoulos et al., 2012).

La interesante composición en fitoquímicos de los subproductos del procesado de vegetales, los hace candidatos idóneos como ingredientes para la obtención de numerosos alimentos funcionales. En el cuadro 4 se muestran algunos ejemplos de funcionalización de alimentos con los subproductos de tomate.

Cuadro 4. Alimentos funcionarizados con ingredientes obtenidos de los subproductos del procesado de vegetales.

Vegetal	Subproducto	Fitoquímico	Alimento	Funcionalización	Fuente
Tomate	Piel (polvo)	Licopeno	Hamburguesa	Incrementar nivel de licopeno	García et al. 2009
	Pulpa de tomate	Licopeno Fibra Fenoles	Salsa ketchup	Espesante natural	Farahnaky et al. 2008
	Piel (polvo)	Licopeno β-caroteno	Salchicha	Incrementar nivel de carotenos	Calvo et al. 2008
Cebolla	Piel+anillos externos	Fenoles	Zumo de Tomate	Incrementar nivel de fenoles	Larrosa et al. 2002
Zanahoria	Coronas+puntas	Fenoles	Zumo de Tomate	Incrementar nivel de fenoles	Larrosa et al. 2002
	Residuo	Fenoles	Bebidas	Incrementar nivel de fenoles	Stoll et al. 2003
	Residuo	Fenoles	Dulce de miel	Aumentar vida útil 6 meses/30 °C	Durrani et al. 2011
Alcachofa	Hojas o líquido de escaldar	Fenoles	Zumo de Tomate	Incrementar nivel de fenoles	Larrosa et al. 2002
Patata	Piel	Fibra	Pan de trigo	Incrementa fibra	Kaack et al. 2006

Alcachofa (Cynara scolymus L.)

La producción mundial de alcachofa fue en el año 2013 de 1,79 millones de toneladas, siendo España el tercer país en el mundo productor de este vegetal (199.900 t en 2013) (2.022 t en América Central y 232.533,57 t en América del

sur) (FAOSTAT, 2013a). El procesado de alcachofa genera un 50-60% del peso inicial del producto fresco como subproducto debido al descarte de hojas externas y parte del tallo (Femenia et al., 1998; Larrosa et al., 2002).

Además, algunas tecnologías de procesado requieren un escaldado previo para inactivar enzimas (principalmente polifenoloxidasa, peroxidasa, lipoxigenasa, ascorbato oxidasa, pectin metil esterasa, galacturonasa), que da lugar a la formación de un volumen alto de residuos sólidos y líquidos (agua de escaldado), ambos subproductos ricos en compuestos

fenólicos y en fibra dietética. Así, el cuadro 5 muestra la concentración de compuestos fenólicos totales cuantificados en los subproductos (agua de escaldado) del procesado de alcachofa (Femenia *et al.*, 1998; Larrosa *et al.*, 2002).

Cuadro 5. Concentración de compuestos fenólicos extraídos de los subproductos del procesado de alcachofa.

Subproducto	Concentración
Escaldado 1	
Hojas escaldadas	4320 µg/g pf
Líquido de escaldar	6380 µg/ml
Escaldado 2	
Hojas escaldadas	4400 µg/g pf
Líquido de escaldar	6600 µg/ml

*Equivalentes de ácido clorogénico; pf, peso fresco. Fuente: Larrosa *et al.*, 2002

El consumo de productos derivados de alcachofa ha demostrado tener propiedades beneficiosas para la salud, especialmente efecto hepatoprotector, anticancerígeno, e hipocolesterolémico (Llorach *et al.* 2002). De hecho, presenta importantes características antioxidantes por su alto contenido en derivados de ácido cafeico, ácido clorogénico (ácido 5-O-cafeoilquínico). También presenta un alto contenido en flavonoides especialmente apigenina y luteolina (glucósidos o rutinósidos) además de derivados de cianidina-cafeoilglucósido.

Sin embargo, debido a los tratamientos de calor aplicados, algunos compuestos fenólicos se transforman en sus isómeros como la cinarina (ácido 1,3-O-dicafeoilquínico) y el ácido neoclorogénico (ácido 3-O-cafeoilquínico) que provienen de la isomerización del ácido 1,5-O-dicafeoilquínico y del ácido clorogénico, respectivamente. A pesar de las posibles isomerizaciones, los subproductos de la

alcachofa presentan una alta capacidad antioxidante (Llorach *et al.*, 2002). En el cuadro 4 se muestran un ejemplo de funcionalización de alimentos con los subproductos de alcachofa.

Zanahoria (*Daucus carota* L.)

La producción mundial de zanahoria en el año 2013 fue de 37,22 millones de t de las que 372.300 t correspondieron a España (1,1 millones de t en América del Sur y 473.654 t en América Central) (FAOSTAT, 2013a).

La zanahoria es una de las hortalizas que más se consumen en la dieta Mediterránea (fresca, congelada, enlatada), y se ha incorporado como un producto de la IV y V gama en forma de tiras, palitos, rodajas, cuadrados, rallada o mini zanahorias (baby) enteras peladas y lavadas. Si las lechugas constituyen el 60% de los productos vegetales de IV gama, las zanahorias representan el 6% de este tipo de productos (Monje, 2014; Aguerri-Esparza, 2014).

La preparación de la zanahoria produce distintos tipos de subproductos: producto entero descartado, coronas y puntas de raíces y residuo del pelado. Así, los subproductos de la elaboración de zanahoria de IV y V gama pueden tener una composición cualitativa en compuestos fitoquímicos similar a los de la zanahoria entera, si bien, dicha composición dependerá de la variedad, de las condiciones de

cultivo utilizadas (riego, abonos, etc.) y de las condiciones del proceso utilizado.

Los subproductos del procesado de zanahoria presentan en su composición distintos tipos de fitoquímicos, principalmente compuestos fenólicos y carotenoides, y su concentración varía en función de la variedad y color de la zanahoria procesada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Compuestos fotoquímicos extraídos en distintas variedades de zanahoria.

Variedad	Fenoles Totales (mg/g pf)*	Ácido Clorogénico (μg/g ps)	Carotenos Totales (μg/g ps)	β-caroteno (μg/g ps)	α-caroteno (μg/g ps)
Púrpura-naranja	38,7±5,4a	18790±38a	77,0±22e	127,2±17d	18,9±2c
Púrpura-amarillo	15,0±1,1b	7661±4,9b	334,2±12d	239,5±8c	83,7±4c
Roja	2,3±0,1c	1347±2,3c	610,1±40c	187,2±18c	1,7±0,7c
Naranja oscuro	1,66±0,1c	631±0,56c	1334,7±71a	940±54a	382±18a
Naranja	2,3±0,05c	1150±0,30c	816,3±17b	580±79b	228±141b
Amarillo	1,8±0,6c	306±1,59c	52,0±17f	30±8e	1,86±1,2c
Blanca	2,3±0,32c	977,6±2,78c	17,6±11f	2,8±4e	0,5±0,33c

*Equivalentes de ácido gálico; pf: peso fresco; ps: peso seco. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($P<0,05$); Fuente: Sun et al., 2009.

Todas las variedades de zanahoria presentan concentraciones muy altas de derivados del ácido clorogénico y del ácido cafeico, incluidos los ácidos 3-O- y 5-O-cafeoilquínico, 3-O-p-cumorilquínico, 5-O-feruolquínico y 3,5-dicafeoilquínico. También presentan derivados de los ácidos p-hidroxibenzoico y ferúlico. Las variedades púrpuras presentan una mayor concentración en fenoles totales que las demás variedades (Cuadro 6), siendo mayoritario el ácido 5-O-cafeoilquínico (540 μg/g ps), que llega a tener una concentración hasta 10 veces superior que en las otras variedades. Además, las variedades púrpuras presentan en su composición antocianos y una mayor capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) que las demás variedades (Sun et al., 2009).

Las variedades naranjas tienen mayor concentración en carotenos totales (luteína+licopeno+α-caroteno+β-caroteno) que las otras variedades. Generalmente, β- y α-caroteno son los carotenoides mayoritarios en las zanahorias naranjas en un rango entre el 13-40% y 44-79% del total, respectivamente, mientras que en la variedad roja es el licopeno (419 μg/g ps) el carotenoide mayoritario (Cuadro 6) (Sun et al., 2009).

El residuo sólido obtenido del procesado de zanahoria también tiene un alto contenido en fibra dietética ya que el 63,6% del peso seco se ha identificado como fibra total de la que el 50% es fibra soluble (Chau et al., 2004). Contiene también alta concentración de compuesto fitoquímicos, principalmente compuestos fenólicos y carotenos, por lo que puede ser

utilizado para obtener un ingrediente funcional con características antioxidantes. Además tiene la ventaja de no transferir sabores no deseados al alimento al que es añadido (O'Shea et al., 2012). En el cuadro 4 se muestran algunos ejemplos de funcionalización de alimentos con los subproductos de zanahoria.

Cebolla (Allium cepa L.)

La producción de cebolla en España fue en el año 2013 de 1.186.600 t. En ese mismo año la producción mundial fue de 85,79 millones de toneladas (4,28 y 1,48 millones de toneladas en América del Sur y América Central, respectivamente) (FAOSTAT, 2013a). El procesado de cebolla produce una gran cantidad de residuos dado que es el vegetal más consumido en la mayoría de los países del Mundo. En Europa, se estima que se producen aproximadamente 500.000 toneladas anuales de residuos procedentes de la industria que procesa cebolla, principalmente en España, Reino Unido y Holanda (Benítez et al., 2011; Pelayo, 2012).

En la actualidad existe una creciente demanda por productos de cebolla pelada y cortada (aros de cebolla o cebolla troceada para cocinar) y el residuo producido por estas industrias está constituido principalmente por la piel externa, las dos primeras capas, la parte superior y la inferior del bulbo, raíces, y piezas enteras descartadas por daños mecánicos, contaminación microbiológica o deformaciones (Benítez et al., 2011). Estos residuos son difíciles de utilizar para la alimentación animal por su fuerte aroma, y tampoco pueden ser utilizados como fertilizante ya que se descomponen con gran rapidez por el crecimiento de agentes fitopatógenos (*Sclerotium cepivorum*). Su destrucción por incineración presenta serios inconvenientes debidos a la contaminación atmosférica que producen y al elevado coste económico por ser un residuo con una gran cantidad de agua.

Por tanto, desde hace varios años se están investigando sistemas de reutilización de estos subproductos como ingredientes alimentarios. Estos residuos pueden ser utilizados para la obtención de ingredientes funcionales ya que la cebolla presenta en su composición numerosos compuestos fitoquímicos con reconocida actividad biológica. Los efectos beneficiosos para la salud que tiene la ingesta de cebolla se han relacionado con sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, entre otras (Griffiths et al. 2002; González-Peña et al., 2013). De hecho, el consumo de este vegetal se ha relacionado con una importante reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Hertog et al., 1993; Roldan-Marín et al., 2009a, 2010).

Los efectos beneficiosos para la salud de la cebolla han sido relacionados con su alta concentración en compuestos bioactivos entre los que cabe destacar los flavonoides, los compuestos organosulfurados como los sulfóxidos de S-alqu(en)il-L-cisteína (ACSOs), los fructooligosacáridos y la fibra dietética (Griffiths et al., 2002; Benítez et al., 2011; González-Peña et al., 2013; Colina-Coca et al., 2014). La cebolla es una de las mayores fuentes de flavonoides dietéticos en Europa, conteniendo principalmente compuestos de dos familias de este grupo: las antocianinas, responsables del color rojo-púrpura de algunas variedades, y los flavonoles como la quercetina y sus derivados, que son responsables de la tonalidad amarillenta de la pulpa y del color marrón de la piel de algunas variedades. Hay que destacar que los flavonoles, principalmente derivados de quercetina, se encuentran en una concentración muy alta en la fracción comestible de cebollas de piel marrón-amarilla (620-1285 mg/kg pf) si se compara con otros vegetales como brócoli (278 mg/kg pf), manzana (45 mg/kg pf) o una infusión de té verde (53 mg/l) (Neveu et al., 2010). La concentración de flavonoles en la piel externa es mucho más alta

que en el resto de la cebolla sobre todo en las de color marrón (Bermúdez et al., 2011). Los flavonoles más abundantes en este vegetal son derivados de quercetina, principalmente quercetina-4'-O-glucósido y quercetina-3,4'-O-diglucósido, además de pequeñas cantidad de isoramnetina-4'-glucósido y otros glicósidos de quercetina (González-Peña et al., 2013). Además, en algunas variedades de cebolla se han identificado otros glucósidos de quercetina, kaempferol e isoramnetina, y también antocianinas. Así, las cebollas rojas, además de tener una rica composición en flavonoles como las cebollas amarillas, presentan una alta concentración en antocianinas (250 mg/kg pf) constituida fundamentalmente por cianidina-3-O-(6'-malonilglucósido).

Por tanto, los residuos formados por la piel externa marrón, primeras capas y la parte cortada superior e inferior del bulbo pueden ser utilizados como ingredientes funcionales ricos en fibra dietética, principalmente compuesta por la fracción insoluble, y en flavonoles (quercetina) con capacidad antioxidante, antiinflamatoria, y

protectora de enfermedades cardiovasculares. De hecho, se ha visto que la piel externa marrón es la parte de la cebolla que presenta la concentración más alta en quercetina como aglicona y calcio, y las partes cortadas superior e inferior del bulbo son las que presentan la mayor concentración en minerales. La dos capas más externas pueden ser utilizadas como materia prima para la obtención de flavonoles y fibra dietética, mientras que las capas internas son mejores fuentes para fructanos y sulfóxidos S-alqu(en)il-L-cisteína. Como ejemplo de la alta concentración en compuestos fitoquímicos de los subproductos de la cebolla, el cuadro 7 muestra la composición de la cebolla cv Recas y de sus correspondientes subproductos (Benítez et al., 2011). Existen numerosos trabajos que han investigado el potencial de dichos subproductos como ingredientes bioactivos (Roldan-Marín et al, 2009b; 2010; Benítez et al., 2011; González-Peña et al., 2013; Colina-Coca et al., 2014). En el cuadro 4 se muestra un ejemplo de funcionalización de alimentos con los subproductos de cebolla.

Cuadro 7. Compuestos fitoquímicos extraídos de cebolla entera cv. Recas y de sus correspondientes subproductos.

	Fenoles Totales (mg/g ps) ¹	Flavonoides Totales (mg/g ps) ²	ACSOs Totales (μmol/g ps)	Fibra Dietética Total (mg/g ps)	AA (FRAP) (μmol Fe ²⁺ /g ps)
Cebolla Entera	17,3±1,3	10,3±0,3	23,8	291	83,5±1,8
Piel Marrón	52,7±0,9	43,1±41,8	4,6	750	227,8±3.2
Capas externas	19,7±1,6	19,5±0,7	29,9	312	105,1±0,6
Capas internas	9,4±0,6	7,0±0,1	54,2	222	28,7±1,7
Corte Superior- Inferior	30,5±2,0	25,9±0,7	22,2	667	156,1±1,6

¹Equivalentes de ácido gálico; ²Equivalentes de quercetina; ps, peso seco. ACSOs, sulfóxidos de S-alqu(en)il-L-cisteína. ³AA: Actividad antioxidante. Fuente: Benítez et al. 2011.

Patata (*Solanum tuberosum* L.)

La producción de patata en España alcanzó 2.199.600 t en 2013 (376 millones de t de producción Mundial; 15,6 millones de t en

América del Sur y 2,3 millones de t en América Central) (FAOSTAT, 2013a). En el año 2013, la patata fue el noveno producto agrícola con mayor producción en España después de

aceituna, uva, tomate, naranja y remolacha (FAOSTAT, 2013b). Según datos más recientes de producción agrícola en España del año 2014, la producción de patata en España fue de 2.467.596 toneladas, tendiendo a estabilizarse después de haber sufrido un fuerte retroceso desde la incorporación de España a la UE. De los 2,46 millones de toneladas de patata producida en España en 2014, el consumo en los hogares fue contabilizado en 1.365.131 t, de las cuales 58.945 t fueron patatas procesadas (no congeladas), principalmente de IV y V gama (MAGRAMA, 2014).

La patata pelada y cortada (tiras para freír, rodajas para tortilla, etc.) es en la actualidad un producto habitual en las cocinas de los restaurantes y comedores colectivos por su facilidad de empleo y el ahorro de horas de trabajo que supone disponer de un producto de patata listo para ser cocinado y con unas características de calidad similares a las de una patata recién pelada.

El pelado y cortado de patata genera toneladas de subproductos cada año, que están constituidos principalmente por la piel. Estos subproductos presentan un alto contenido en fibra dietética, carbohidratos, almidón y compuestos fenólicos que variará en función de la variedad de la patata inicial (Cuadro 8). Los compuestos fenólicos en la patata se encuentran mayoritariamente en forma soluble (libre, ésteres solubles y glicósidos solubles) y en menor proporción fenoles en forma insoluble unidos a pared celular. Los compuestos fenólicos en forma soluble en la pulpa y en la piel de la patata son derivados del ácido hidroxicinámico, fundamentalmente derivados del ácido clorogénico. Las variedades de color púrpura presentan un mayor contenido en antocianos y en compuestos flavonoides que las variedades de pulpa blanca. Hay que destacar que la piel y el tejido próximo a la misma presentan concentraciones de compuestos fenólicos y actividad antioxidante hasta un 50% superior que la correspondiente pulpa (Albishi et al., 2013).

Cuadro 8. Compuestos fenólicos extraídos de patatas enteras y sus correspondientes subproductos

Variedad	Ácido Clorogénico (µg/g pf)*	Fenoles Totales (µg/g pf)
Van Gogh		
Entera pelada cocida	41±2	100
Piel cruda	260±25	340
Piel cocida	230±0.3	440
Rosamunda		
Entera pelada cocida	8,6±1,5	19
Piel cruda	150±11	250
Piel cocida	130±2,3	230
Nicola		
Entera pelada cocida	91±2,8	170
Piel cruda	230±15	350
Piel cocida	270±11	450

*Equivalentes de ácido cafeico; pf: peso fresco. Fuente: Mattila y Hellstrom. 2007.

El principal compuesto fenólico soluble en la piel de la patata es el ácido clorogénico y sus

Simiente 85(3-4):47-76

derivados (Mattila y Hellström, 2007). La concentración de compuestos fenólicos en la piel

cocida varía entre 230-450 µg/g pf, siendo esta concentración superior a la encontrada en la patata entera cocida (100-170 µg/g pf). Por tanto, la piel de patata es un excelente material de partida para la obtención de ingredientes funcionales (Cuadro 8) (Mattila y Hellström, 2007). Existen numerosos antecedentes que relacionan las propiedades beneficiosas para la salud con la ingesta de alimentos ricos en compuestos fenólicos como el ácido clorogénico al que se atribuyen propiedades antioxidantes, antitumorales y reductoras del índice glucémico, por lo que un ingrediente natural obtenido a partir de piel de patata sería apto para los consumidores con diabetes (O'Shea *et al.*, 2012). En el cuadro 4 se muestran un ejemplo de funcionalización de alimentos como el pan con un producto en polvo obtenido a partir de la piel de patata.

Remolacha (*Beta vulgaris* L.)

La producción de remolacha (*Beta vulgaris* L.) en España en el año 2013 fue de aproximadamente 2.468.700 t (FAOSTAT, 2013b). El consumo de las hojas (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*) y de la raíz de remolacha (*Beta vulgaris* L. var. *rubra*) ha sido habitual en la dieta Mediterránea y en la actualidad su utilización como ingredientes en ensaladas o platos cocinados es cada vez más frecuente, por lo que su procesado como productos de IV y V gama se ha incrementado (Ninfali y Angelino, 2013).

Los subproductos del procesado de la remolacha de IV y V gama estarían fundamentalmente constituidos por hojas, coronas y capas externas de la raíz y pulpas. Tradicionalmente, los subproductos de remolacha han sido reutilizados en la alimentación animal, para la obtención de fertilizantes, bio-absorbentes naturales para el pre-tratamiento de aguas residuales, alcoholes y biocombustibles. Sin embargo, estos subproductos son una fuente importante de compuestos con actividad biológica como fibra, betaína, betalaínas, polifenoles y minerales, que presentan un

importante valor como ingredientes funcionales (Pyo *et al.*, 2004; Stintzing y Carle, 2007; Canadanovic-Brunet *et al.*, 2011; Ninfali y Angelino, 2013).

Las raíces de remolacha se caracterizan por presentar pigmentos hidrosolubles nitrogenados conocidos como betalaínas, que están constituidos fundamentalmente por dos tipos de compuestos: pigmentos rojos denominados betacianinas siendo mayoritaria la betanina, y los pigmentos amarillos o betaxantinas como la vulgaxantina. En general, la pulpa de la raíz de remolacha contiene un alto contenido en fenoles totales (45,17 mg/100 g pf), flavonoides totales (30,42 mg/100 g pf), betaxantinas (2,12 mg/100 g pf) y betacianinas (2,90 mg/100 g pf) (Canadanovic-Brunet *et al.*, 2011). A partir de la remolacha se obtiene un colorante alimentario natural denominado "rojo remolacha" (E162), constituido fundamentalmente por betanina, siendo el rendimiento industrial de 0,5 g de betanina por kg de raíz de remolacha (Stintzing y Carle, 2007).

Las remolachas y sus subproductos también son una buena fuente de fibra dietética, vitamina C y minerales como potasio, manganeso, zinc, cobre, hierro y ácido fólico. También se ha descrito que presentan una importante concentración en nitratos. La presencia de compuestos fenólicos también es importante en las remolachas, observándose una mayor concentración de fenoles totales, flavonoides totales y de valores de capacidad antioxidante (ORAC) en las hojas que en las raíces (Cuadro 9) (Ninfali y Angelino, 2013). El compuesto fenólico mayoritario descrito en las hojas de remolacha roja (var. *cycla*) es el ácido siríngico (44 mg/100 g pf), seguido del ácido cafeíco (14,8 mg/100 g pf) y del ácido cumárico (10,4 mg/100 g pf), encontrándose también los ácidos ferúlico, vainílico, protocatéquico, p-hidroxibenzóico, clorogénico, y el flavonoide kaempferol (Pyo *et al.*, 2004). Las hojas y semillas de la remolacha (var. *cycla*) presentan una concentración alta en

un tipo de flavonoide glicosidado derivado de la apigenina llamado vitexina, cuyas propiedades

anticancerígenas son ampliamente reconocidas (Ninfali y Angelino, 2013).

Cuadro 9. Compuestos fotoquímicos extraídos de distintas variedades de remolacha.

Variedad	Zona	Fenoles Totales* (mg/g ps)	Flavonoides Totales (mg/g ps)	ORAC (μmolTE/g ps)
<i>Beta vulgaris cycla</i>				
	Hojas	11,12±0,56	7,92±0,39	192,8±9,6
	Raíces	0,72±0,04	0,88±0,05	8,54±0,43
	Semillas	1,88±0,76	1,55±0,08	49,10±2,76
<i>Beta vulgaris rubra</i>				
	Hojas	12,76±0,76	11,64±0,81	200,3±11,2
	Raíces	1,77±0,08	1,44±0,15	18,21±0,86

Fuente: Ninfali y Angelino, 2013; ps, peso seco

Los productos de remolacha (jugos, polvo deshidratado) y sus correspondientes subproductos, han sido utilizados en la medicina tradicional desde hace muchos miles de años. Los efectos beneficiosos que presenta el consumo de derivados de raíz de remolacha roja están en gran medida relacionados con la presencia de las betalainas, que tienen propiedades antioxidantes (captadoras de radicales libres), antiinflamatorias, hipoglicémicas y antitumorales. Destaca su efecto protector frente a enfermedades cardiovasculares ya que reduce la presión arterial, la agregación plaquetaria, así como la concentración de lípidos y colesterol en sangre. También presenta propiedades protectoras de las células hepáticas (Kanner et al., 2001; Ninfali y Angelino, 2013).

Su concentración en la remolacha azucarera es relativamente alta, de un 1,0 a un 1,5% sobre una base de sólidos secos. Sus funciones fisiológicas principales consisten en proteger las células que están bajo estrés (efecto osmoprotector), a la vez que servir como una de las fuentes de los grupos metílicos necesarios para la formación de muchas de las rutas bioquímicas. Históricamente, se han utilizado los suplementos de betaína para el tratamiento de la

homocisteinuria debido a deficiencias genéticas en la cistationina beta sintasa y en la metilenetetrahidrofolato reductasa, que disminuye la homocisteína en un factor de riesgo potencial para las enfermedades cardíacas, apoplejías, cáncer y enfermedad de Alzheimer.

La raíz de remolacha también tiene un aminoácido N-metilado denominado trimetilglicina (N,N,N-trimetilglicina) o betaína. Cuando se procesa la remolacha azucarera para la recuperación de sacarosa, la betaína se concentra en la melaza. La melaza de remolacha contiene entre 4 y 7% (peso-peso) de betaína (Giacobello et al., 2000).

Sus funciones fisiológicas principales consisten en proteger las células que están bajo estrés (efecto osmoprotector), a la vez que sirven como una de las fuentes de los grupos metílicos necesarios para la formación de muchas de las rutas bioquímicas. Históricamente, se han utilizado los suplementos de betaína para controlar el exceso de homocisteína en sangre (causada por una enfermedad hereditaria conocida como homocisteinuria), reduciendo así el riesgo potencial de sufrir enfermedades cardíacas, apoplejías, cáncer y enfermedad de

Alzheimer (Sacan y Yanardag, 2010; Ninfali y Angelino, 2013).

Por tanto, los residuos del procesado de remolacha pueden ser considerados también en el diseño de alimentos funcionales, como materias primas adecuadas, para la obtención de ingredientes naturales con actividad biológica (Ninfali y Angelino, 2013).

Pre-tratamientos y Sistemas de Extracción

Una fase importante para la utilización de los subproductos del procesado de vegetales en la obtención de compuestos fitoquímicos, es su estabilización y preparación para la extracción de los mismos (O'Shea et al., 2012). Las dificultades inherentes al proceso radican fundamentalmente en las causas que se detallan a continuación:

- Material de partida muy heterogéneo (distintos cultivares, grados de madurez y condiciones de procesado), que hacen difícil controlar los rendimientos y los precios finales.
- Inestabilidad biológica del material, ya que puede presentar una carga microbiana muy alta cuya actividad puede acelerar la degradación de los fitoquímicos y otros compuestos nutricionales como las proteínas, además de hacer poco seguro al producto.
- Un alto contenido en agua (70-90%) en los subproductos vegetales que incide en su peso y, consiguiente gasto en su transporte y preparación, previos a la extracción de los compuestos fitoquímicos. Tanto el secado a 60°C, como el prensado suponen un alto coste, dado el alto contenido en agua de algunos subproductos (tomate 71%, alcachofa 90%, remolacha 82%) (Peschel et al., 2006), presentando el prensado otro problema adicional, relacionado con el reciclaje del agua con alto contenido en materia orgánica.
- Oxidación de residuos con un alto contenido en grasa (aguacate) puede dar lugar al desarrollo de olores desagradables por la oxidación de los ácidos grasos.

- Actividad enzimática de los residuos vegetales ya que las enzimas siguen activas y pueden acelerar los procesos de degradación, siendo una importante causa de pérdida de los compuestos bioactivos o fitoquímicos. El tratamiento térmico o escaldado (85-100 °C) del subproducto previo a la extracción de los fitoquímicos, puede ser útil para inactivar los enzimas causantes de distintos procesos degradativos como el pardeamiento enzimático. Como alternativa al escaldado tradicional, se puede emplear el calentamiento óhmico, que es un calentamiento eléctrico homogéneo y más rápido que reduce la pérdida de fitoquímicos sensibles al calor o por solubilización en el agua del baño de escaldado, como puede ocurrir con las vitaminas hidrosolubles siendo una de las más afectadas la vitamina C (Icier, 2010).

Pre-tratamientos.

La extracción de los ingredientes fitoquímicos o bioactivos a partir de los subproductos requiere varias fases de preparación: el molido del subproducto húmedo (reducir el tamaño de partícula del residuo húmedo); secado (horno, liofilización) y el molido del extracto seco hasta alcanzar un tamaño de partícula adecuado (O'Shea et al., 2012). La estabilización del residuo antes de ser sometido a la extracción es una fase decisiva que requiere el estudio de las condiciones más adecuadas para evitar la degradación de los compuestos fitoquímicos o bioactivos. Por ejemplo, en el caso de la cebolla, los tratamientos térmicos suaves (pasteurización) y la congelación/liofilización de los subproductos han sido los procedimientos que mejor parecen preservar la estabilidad de sus compuestos fitoquímicos (Roldan et al., 2008; Bermúdez et al., 2011).

Extracción. El procedimiento tradicional de extracción sólido-líquido mediante un Soxhlet con disolventes orgánicos es un procedimiento que requiere tiempo e importantes cantidades de disolventes (Ayala-Zabala et al., 2011). También se han utilizado enzimas como pectinasas y

celulasas capaces de degradar los constituyentes de la pared celular y facilitar la extracción de los compuestos fitoquímicos como el licopeno de la piel del tomate (Choudhari y Anantharayan, 2007).

Una alternativa interesante a la extracción tradicional con disolventes, es la extracción con fluidos supercríticos, principalmente dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) y la extracción con disolventes a presión generalmente conocida como extracción con agua subcrítica (Wijngaard et al., 2012). Estas tecnologías tienen el inconveniente de ser caras pero pueden resultar interesantes en función del valor económico y características funcionales del compuesto fitoquímico que se quiere extraer. Este sería el caso del licopeno, donde los tratamientos térmicos producen degradaciones e isomerizaciones que dan lugar a la pérdida de la actividad de este compuesto considerado de gran valor económico (Lennuci et al., 2010). También se está estudiando la utilización de nuevas tecnologías de extracción como los pulsos eléctricos de baja intensidad, ultrasonidos y microondas (Wijngaard et al., 2012).

Por último, hay que considerar que la utilización de los ingredientes funcionales obtenidos a partir de los subproductos del procesado de vegetales requiere estudios complementarios, como estudios toxicológicos, que aseguren que el producto está libre de pesticidas u otras sustancias no deseadas, y estudios de bioactividad que nos permitan conocer la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de dichos compuestos fitoquímicos extraídos de los subproductos. El Reglamento (CE) 1924/2006 relativo a las alegaciones nutricionales de los alimentos (CE, 2006) exige que cualquier declaración (dentro de las permitidas) se base en evidencias científicas contrastadas y reales. Es por ello que la correcta caracterización de los productos, extractos y subproductos es de vital importancia para su posible comercialización.

Una vez realizadas estas últimas consideraciones, podemos decir que los subproductos de la industria del procesado de vegetales de IV y V gama son una alternativa viable para la obtención de residuos ricos en compuestos fitoquímicos con actividad biológica que pueden ser empleados como ingredientes funcionales naturales. Por tanto, esta actividad puede ser una solución económicamente rentable para la industria de procesado de vegetales que además de conseguir un valor añadido a sus productos, podría ser una alternativa válida para reducir el impacto medioambiental que genera la destrucción de los subproductos por el procedimiento de incineración. Desde el punto de vista del consumidor, la utilización generalizada de aditivos naturales que sustituyan los sintéticos, es una ventaja saludable ya que los percibe como ingredientes más naturales, además de aportarle propiedades beneficiosas para la salud.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de la Red CYTED HORTYFRESCO (113RT0480): Producción artesanal de hortalizas de IV y V gama: inocuidad y valor funcional.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUERRI-ESPARZA, I. 2014. Análisis de la situación actual del consumo de productos de IV gama en Pamplona. Universidad Pública de Navarra, España. [En línea]. Consultado el 10 de junio 2015. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/15402/629258.pdf?sequence=1>
- ALDAZ, F. 2015. Alimarket, 30 de marzo. [En línea]. Consultado 10 de junio 2015. Disponible en: <http://www.alimarket.es/noticia/180657/Florette-preve-incrementar-un-5-su-facturacion>
- ALBISHI, T.; JOHN, J.A.; ABDULRAHMAN SAK, SHAHIDI F. 2013. Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. *Journal of Functional Foods*, 5(2):590-600.
- ALIMARKET. 2012. Revista sectorial de la alimentación on-line. <http://www.alimarket.es>. [En línea]. Consultado en junio de 2014.
- ANDUJAR-SÁNCHEZ, M.; MARTÍNEZ-MÍNGUEZ, F.; LÓPEZ-GARCÍA, A. 2010. Comportamiento de lechugas para IV Gama en Murcia. *Horticultura Global*, 287:32-37.
- ARTÉS, F.; ALLENDE, A. 2005. Minimal Fresh Processing of Vegetables, Fruits and Juices. En: Da-Wen Sun [Ed]. *Emerging Technologies for Food Processing*. London, UK: Elsevier. pp. 276-716.
- AYALA-ZABALA, J.F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMINGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; WASIM-SIDDIQUI, M.W.; DÁVILA-AVIÑA, F.E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. 2011. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7):1866-1874.
- BALDWIN, D.E. 2012. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1:15-30.
- BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99:191-203.
- BAYSAL, T.; ERSUS, S.; STARMANS, D.A.J. 2000. Supercritical CO₂ extraction of β -carotene and lycopene from tomato paste waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11):5507-5511.
- BENÍTEZ, V.; MOLLÁ, E.; MARTÍN-CABREJAS, M.A.; AGUILERA, Y.; LÓPEZ-ANDRÉU, F.J.; COOLS, K.; TERRY, L.A.; ESTEBAN, R.M. 2011. Characterization of industrial onion wastes (*Allium cepa* L.): Dietary fibre and bioactive compounds. *Plant Foods and Human Nutrition*, 66(1):48-57.
- BOHN, T. 2014. Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, 72(7):429-452.
- BURTON-FREEMAN, B.; TALBOT, J.; PARK, E.; KRISHNANKUTTY, S.; EDIRISINGHE, I. 2012. Protective activity of processed tomato products on postprandial oxidation and inflammation: A clinical trial in healthy weight men and women. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(4):622-631.
- CE, 2006a. Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los residuos. del 5 de abril de 2006 relativa a los residuos. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:es:PDF>

CE, 2006b. Reglamento Europeo No 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables de 20 de diciembre de 2006.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:404:0009:0025:ES:PDF>

CE, 2008. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. DOUE-L-2008-82319. Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2008/312/L00003-00030.pdf>

CANADANOVIC-BRUNET, J.M.; SABAVIC, S.S.; CETKOVIC, G.S.; VULIC, J.J.; DJILAS, S.M.; MARKOV, S.L.; CVETKOVIC, D.D. 2011. Antioxidant and antimicrobial activities of beet root pomace extracts. Czech Journal of Food Science, 29(6):575-585.

CALVO, M.M.; GARCÍA, M.L.; SELGAS, M.D. 2008. Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. Meat Science, 80:167-172.

CHANG, C.; LIN, H.; CHANG, C.Y.; LIU, Y.C. 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. Journal of Food Engineering, 77(3):478-485.

CHAU, C.V.; CHEN, C.H.; LEE, M.H. 2004. Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic of various carrot insoluble fiber rich fractions. LWT-Food Science and Technology, 37(2):155-160.

CHOUDHARI, S.; ANANTHANARAYAN, L. 2007. Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. Food Chemistry, 102(1): 77-81.

COLINA-COCA, C.; DE ANCOS, B.; SÁNCHEZ-MORENO, C. 2014. Nutritional composition of processed onion: S-Alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides, organic acids, sugars, minerals, and vitamin C. Food and Bioprocess Technology, 7:289-298.

CROZIER, A.; JAGANATH, I.B.; CLIFFORD, M.N. 2009. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. Natural Products Reports, 26(8): 965-1096.

DAUCHET, L.; AMOUYEL, P.; HERCBERG, S.; DALLONGEVILLE, J. 2006. Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. Journal of Nutrition, 136(10):2588-2593.

DURRANI, A.; SRIVASTAVA, P.; VERMA, S. 2011. Development and quality evaluation of honey based carrot candy. Journal of Food Science and Technology, 48(4):502-505.

FAOSTAT. 2013a. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas de la Producción Agrícola del año 2013. [En línea] Consultado 13 de julio 2015. Disponible en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>

Honey based carrot candy. Journal of Food Science and Technology, 48(4):502-505.

FAOSTAT. 2013b. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas de la Producción Agrícola del año 2013. [En línea] Consultado 13 de julio 2015. Disponible en [http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities by country/E](http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities%20by%20country/E)

FARAHNAKY, A.; ABBASI, A.; JAMALIAN, J.; MESBAHI G. 2008. The use of tomato pulp powder as a thickening. Journal of Texture Studies, 39: 169-182..

FEHRCAREM. 2015. Los productos de cuarta gama, una tendencia en alza. Revista de la Asociación Empresarial de Cadenas de Restauración Moderna. [En línea] Consultado 15 de julio 2015. Disponible en <http://www.fehrcarem.es/los-productos-de-cuarta-gama-una-tendencia-al-alza/>

FEMENIA, A.; ROBERTSON, J.A.; WALDRON, K.W.; SEVENDRAN, R.R. 1998. Cauliflower (*Brassica oleracea* L), globe artichoke (*Cyanara scolymus*) and chicory witloof (*Cichorium intybus*) processing byproducts as sources of dietary fibre. Journal of the Science of Food and Agriculture, 77(4):511-518.

FUENTES, E.; CARLE, R.; ASTUDILLO, L.; GUZMÁN, L.; GUTIÉRREZ, M.; CARRASCO, G.; PALOMO, I. 2013. Antioxidant and antiplatelet activities in extracts from green and fully ripe tomato fruits (*Solanum lycopersicum*) and pomace from industrial tomato processing. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013: N° 867578.

GARCÍA, M.L.; CALVO, M.M.; SELGAS, M.D. 2009. Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. Meat Science, 83:45-49.

GARCÍA-HERRERA, P.; SANCHEZ-MATA, M.C.; CÁMARA, M. 2010. Nutritional characterization of tomato fiber as a useful ingredient for food industry. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 11(4):707-711.

GEORGE, B.; KAUR, C.; KHURDIYA, D.S.; KAPOOR, H.C. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry, 84(1):45-51.

GIACOBELLO, S.; STORTI, G.; GIUSEPPE, T. 2000. Design of a simulated moving bed unit for sucrose-betaine separations. Journal of chromatography A, 872:23-35.

GIOVANNUCCI, E. 2002. A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene, and prostate cancer. Experimental Biology and Medicine, 227(10):852-859.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A.; GARDEA, A.A.; CUAMEA-NAVARRO, F. 2005. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, Centro de Investigación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) (Editorial), Hermosillo, México.

GONZÁLEZ-PEÑA, D.; COLINA-COCA, C.; CHAR, C.D.; CANO, M.P.; DE ANCOS, B.; SÁNCHEZ-MORENO, C. 2013. Hyaluronidase inhibiting activity and radical scavenging potential of flavonols in processed onion. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(20):4862-4872.

GRIFFITHS, G.; TRUEMAN, L.; CROWTHER, T.; THOMAS, B.; SMITH, B. 2002. Onions- A global benefit to health. Phytotherapy Research, 16(7):603-615.

GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R.; MEYBECK A. 2011. Global food losses and food waste. Roma: FAO.1-29.

HOHL, U.; NEUBER, B.; PFORT, H.; SCHONHOF, B. 2001. Flavonoid concentration in the inner leaves of head lettuce genotypes. European Food Research and Technology, 213(1):205-211.

ICIER, F. 2010. Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. Journal of Food Process Engineering, 33(4):661-683.

KAACK, K.; PEDERSON, L.; LAERKE, H.N.; MEYER, A. 2006. New potato fiber for improvement of texture and colour of wheat bread. European Food Research Journal and Technology, 224(2): 199-207.

- KALOGEROPOULOS, N.; CHIOU, A.; PYRIOCHOU, V.; PERISTERAKI, A.; KARATHANOS, V.T. 2012. Bioactive phytochemical in industrial tomatoes and their processing byproducts. *LWT-Food Science and Technology*, 49(2):213-216.
- KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. 2001. A new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11):5178-5185.
- KAUR, D.; WANI, A.A.; OBEROI, D.P.S.; SOGI, D.S. 2008. Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. *Food Chemistry*, 108(2):711-718.
- KNOBLICH, M.; ANDERSON, B.; LATSHAW, D. 2005. Analysis of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(7):1166-1170.
- KRIS-ETHERTON, P.M.K.; HECKER, K.D.; BONANOME, A.; COVAL, S.M.; BINKOSDI, A.E.; HILPERT, K.F.; GRIEL, A.E.; ETHERTON, T.D. 2002. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, 113(9B): 71-88.
- LARRAURI, J.A. 1999. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 10(1):3-8.
- LARROSA, M.; LLORACH, R.; ESPÍN, J.C.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. 2002. Increase of antioxidant activity of tomato juice upon functionalisation with vegetable byproduct extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 35(6):532-542.
- LENUCCI, M.S.; CACCIOPPOLA, A.; DURANTE, M.; SERRONE, L.; RESCIO, L.; PIRO, G.; DALESSANDRO, G. 2010. Optimization of biological and physical parameters for lycopene supercritical CO₂ extraction from ordinary and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 90(10):1709-1718.
- LENUCCI, M.S.; DURANTE, M.; MONTEFUSCO, A.; DALESSANDRO, G.; PIRO, G. 2013. Possible use of carbohydrates presents in tomato pomace and byproducts of the supercritical dioxide lycopene extraction process as biomass for bioethanol production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(15):3683-3692.
- LIU, R.H. 2013. Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of Food Science*, 78(1):A18-A25.
- LIU, S.; MANSON, J.E.; LEE, I.M.; COLE, S.R.; HENNEKENS, C.H.; WILLETT, W.C.Y.; BURING, J.E. 2000. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease: the Women's Health Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72(4): 922-928.
- LLORACH, R.; ESPÍN, J.C.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; FERRERES, F. 2002. Artichoke (*Cynara scolymus* L.) byproducts as a potential source of health-promoting antioxidants phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(12):3458-3464.
- 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.

- LLORACH, R.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; GIL, M.I.; FERRERES, F. 2008. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chemistry*, 108(3):1028-1038.
- MAGRAMA, 2014. Estadísticas de Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/panel-de-consumo-alimentario/base-de-datos-de-consumo-en-hogares/consulta.asp>.
- MATTILA, P.; HELLSTRÖM, J. 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20(3-4):152-160.
- MICHELS, K.V.; GIOVANNUCCI, E.; JOSHIPURA, K.J.; ROSNER, B.A.; STAMPFER, M.J.; FUCHS, C.S.; COLDITZ, G.A.; SPEIZER, F.E.; WILLETT, W.C. 2000. Prospective study of fruit and vegetable consumption and incidence of colon and rectal cancers. *Journal of the National Cancer Institute*. 92(21):1740-1752.
- MITJAVILA, M.T.; MORENO, J.J. 2012. The effects of polyphenols on oxidative stress and the arachidonic acid cascade. Implications for the prevention/treatment of high prevalence diseases. *Biochemical Pharmacology*, 84(9):1113-1122.
- MOURE, A.; CRUZ, J.M.; FRANCO, D.; DOMINGUEZ, J.M.; SINEIRO, J. 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, 72(2):145-171.
- MONJE, M. 2014. IV gama, crecimiento lento, pero firme. Alimarket 10 de abril de 2014. Revista sectorial de la alimentación. [En línea]. Consultado en junio de 2015 Disponible en: <http://www.alimarket.es>.
- NEVEU, V.; PEREZ-JIMÉNEZ, J.; VOS, F.; CRESPI, V.; DU CHAFFAUT, L.; MENNEN, L.; KNOX, C.; EISNER, R.; CRUZ, J.; WISHART, D.; SCALBERT, A. 2010. Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods. Database, doi: 10.1093/database/bap024. [En línea] Consultado 15 de julio 2015. Disponible en: <http://phenol-explorer.eu/>
- NINFALI, P.; ANGELINO, D. 2013. Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris cicla* and *rubra*. *Fitoterapia*, 89:188-199.
- O'SHEA, N.; ARENDT, E.K.; GALLAGHER, E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:1-10.
- OMS-OLIU, G.; ROJAS-GRAÜ, M.A.; ALANDES-GONZÁLEZ, L.; VARELA, P.; SOLIVA-FORTUNY, R.; HERNANDO-HERNANDO, M.I.; PÉREZ-MUNUERA, I.; FISMAN, 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.
- ORDOVÁS, J.M.; KAPUT, J.; CORELLA, D. 2007. Nutrition in the genomics era: Cardiovascular disease risk and the Mediterranean diet. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51(10):1293-1299.
- PELAYO, M. 2012. Aprovechar residuos: una prioridad en el sector agroalimentario. Eroski Consumer del 5 de abril de 2012. [En línea] Consultado 15 de julio 2015. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2012/04/05/208521.php>

- PESCHEL, W.; SÁNCHEZ-RABANEDA, F.; DIEKMANN, W.; PLESCHER, A.; GARTZÍA, I.; JIMÉNEZ, D.; LAMUELA-REVENTÓS, R.; BUXADERAS, S.; CODINA, C. 2006. And industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetables and fruit waste. *Food Chemistry*, 97(1):137-150.
- PRIOR, R.L.; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications. *Hortscience*, 35(4): 588-592.
- PYO, Y.H.; LEE, T.C.; LOGENDRA, L.; ROSEN, R.T. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. *Food Chemistry*, 85(1):19-26.
- ROLDÁN, E.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; DE ANCOS, B.; CANO, M.P. 2008. Characterisation of onion (*Allium cepa* L.) by-products as food ingredients with antioxidant and antibrowning properties. *Food Chemistry*, 108(3):907-916.
- ROLDÁN-MARÍN, E.; KRATH, B.N.; POULSEN, M.; BINDERUP, M.L.; NIELSEN, T.H.; HANSEN, M.; BARRI, T.; LANGKILDE, S.; CANO, M.P.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; DRAGSTED, L.O. 2009a. Effects of an onion by-product on bioactivity and safety markers in healthy rats. *British Journal of Nutrition*, 102(11):1574-1582.
- ROLDÁN-MARÍN, E.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; LLORÍA, R.; DE ANCOS, B.; CANO, M.P. 2009b. Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 42(4):835-841.
- ROLDÁN-MARÍN, E.; JENSEN, R.I.; KRATH, B.N.; KRISTENSEN, M.; POULSEN, M.; CANO, M.P.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; DRAGSTED, L.O. 2010. An onion byproduct affects plasma lipids in healthy rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(9):5308-5314.
- SACAN, O.; YANARDAG, R. 2010. Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*). *Food and Chemical Toxicology*, 48(5):1275-1280.
- SÁNCHEZ-MORENO, C.; DE ANCOS, B.; PLAZA, L.; ELEZ-MARTÍNEZ, P.; CANO, M.P. 2008. Nutritional characterization of tomato juices. En: Preedy VR, Watson RR. [Eds.]. *Tomatoes and Tomato Products: Nutritional, Medicinal, and Therapeutic Properties*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire. pp. 235-258.
- SCHIEBER, A.; STINZING, F.C.; CARLE, R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds: recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 12(11):401-413.
- STINTZING, F.; CARLE, R. 2007. Betalains-emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science and Technology*, 18(10):514-525.
- STOLL, T.; SCHWEIGGERT, U.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. 2003. Application of hydrolyzed carrot pomace as a functional food ingredient to beverage. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1(2):88-92.
- SUN, T.; SIMON, P.W.; TANUMIHARDJO, S.A. 2009. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10):4142-4147.
- TOOR, R.K.; SAVAGE, G.P. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5):487-494.
- TRESSERRA-RIMBAU, A.; MEDINA-REMÓN, A.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, M.A.; COVAS, M.I.; CORELLA, D.; SALAS-SALVADÓ, J.; GÓMEZ-GRACIA, E.; LAPETRA, J.; ARÓS, F.; FIOL, M.; ROS, E.

SERRA-MAJEM, L.; PINTÓ, X.; MUÑOZ, M.A.; SAEZ, G.T.; RUIZ-GUTIÉRREZ, V.; WARNBERG, J.; ESTRUCH, R.; LAMUELA-REVENTÓS, R.M. 2013. Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: the PREDIMED study. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 23: 953-959.

TRICHOPOULOU, A.; NASKA, A.; ANTONIOU, A.; FRIEL, S.; TRYGG, K.; TURRINI, A. 2003. Vegetable and fruit: the evidence in their favour and the public health perspective. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 73(2): 63-69.

VALLE, M.; CÁMARA, M.; TORIJA, M.E. 2006. Chemical characterization of tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8):1232-1236.

WIJNGAARD, H.H.; BALLAY, M.; BRUNTON, N. 2012. The optimisation of extraction of antioxidants from potato peel by pressurised liquids. *Food Chemistry*, 133(4):1123-1130.

WILLCOX, J.K.; CATIGNANI, G.L.; LAZARUS, S. 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(1):1-18.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS ENTEROS Y PROCESADOS

Cooling systems and storage for whole and fresh-cut fruit and vegetables

Victor H. Escalona

Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC). Facultad de Ciencias Agronómicas.

Universidad de Chile. Casilla 1104 (Santiago, Chile).

Email: vescalona@uchile.cl; www.hortyfresco.cl; www.cepoc.cl

RESUMEN

Es fundamental reducir al máximo el tiempo que transcurre desde cosecha hasta que los productos hortofrutícolas son enfriados a su temperatura ideal recomendada. El rango de temperatura ideal depende de la sensibilidad del producto hortofrutícola a las bajas temperaturas. No todos los productos se conservan bien a la misma temperatura. En general los productos cosechados en invierno en climas fríos y/o provenientes de zonas templadas se conservan bien a 0°C. Mientras que otros provenientes de zonas subtropicales y tropicales o cultivados bajo condiciones forzadas requieren de temperaturas superiores a 7 - 12°C.

Así una vez conocidas los requerimientos en temperatura según cada especie se debe escoger el método de enfriamiento más eficiente donde el tiempo en enfriar, gasto energético y la perecebilidad del vegetal son fundamentales para obtener el máximo provecho de esta etapa dentro de la cadena de comercialización.

Palabras claves: aire forzado, hidrogenfriado, enfriamiento por vacío, postcosecha

ABSTRACT

For fruit and vegetable is essential to minimize the time between harvest to storage considering the recommended temperature for each product. The recommended temperature ranges depend of the product sensibility to low temperatures. A same temperature cannot be appropriate for all products. Generally products harvested in cold winter or from cold climates are well preserved at 0 ° C. While other, cultivated in subtropical and tropical areas or under forced conditions require temperatures between 7 - 12 ° C.

So when temperature tolerance is known for each specie, it should choose the most efficient cooling method to reach it, considering the cooling time, energy cost and the perishability of vegetal products. After that, is essential to keep the lower temperature as it possible in order to avoid chilling injury and to prolong the shelf life of fruit and vegetables during cold chain.

Key words: forced air, hydrocooling, vacuum cooling, postharvest

INTRODUCCIÓN

El enfriamiento es un proceso de eliminación rápido del calor que viene en los productos del campo recién cosechados. La recomendación general es realizar este enfriamiento lo antes posible en especial para aquellos productos más perecibles o de corta vida postcosecha. Esto debido a que una vez separados los órganos vegetales de la planta se suspende el suministro de agua proveniente de las raíces y se favorece un incremento en la temperatura y una deshidratación de los tejidos cuando estos son expuestos a temperaturas altas y humedades relativas bajas.

Por otra parte, la mayoría los vegetales posee un alto porcentaje de agua (> 90%) siendo susceptibles a la deshidratación a pesar que poseen barreras naturales que los protegen como cera, estomas y tricomas que resultan no ser suficientes para evitar estas pérdidas.

Por estos motivos se recomienda que tras la cosecha y antes del enfriamiento los productos vegetales sean trasladados rápidamente desde el campo a áreas frescas y sombrías. Otra práctica útil es el empleo de cajas cosecheras de color claro y cubrir los productos para evitar la exposición directa al sol.

Antes de decidir el método de enfriamiento más apropiado se debe tener en cuenta si se realizará a productos a granel en cajas cosecheras, bins (palots) o directamente sobre el producto envasado terminado apilado en pallets listo para su transporte y comercialización. En aquellos casos que se desea enfriar antes de las etapas de selección y envasado, al producto se le reduce la temperatura hasta un valor intermedio entre la temperatura de campo y la recomendada. Posteriormente una vez que el producto ha sido procesado se enfría nuevamente hasta alcanzar la temperatura ideal o de consigna. También existen procesos en donde se realiza primero el

procesamiento del producto por ejemplo cuando estas labores se hacen directamente en campo y luego se enfrían desde la temperatura de campo hasta la recomendada. En el Tabla 1 se muestran valores de temperatura recomendados para algunas frutas y hortalizas.

La razón para enfriar rápidamente un producto hortofrutícola se debe a que la temperatura es la principal herramienta postcosecha para prolongar su vida útil. Cuando un producto es enfriado y almacenado rápidamente a la temperatura recomendada se puede alcanzar entre un 70 a un 80% de su vida postcosecha máxima. Para entender esto existe el concepto de Q_{10} , éste corresponde a un valor orientativo que indica en cuanto se reducen las reacciones metabólicas y químicas relacionadas con la maduración y senescencia por cada 10°C en la reducción de la temperatura por sobre la cual no se produce daño. Este valor suele considerarse entre 2 a 3 dentro de un rango de temperatura de 20 a 10°C. Esta reducción de la temperatura de enfriamiento y almacenamiento debe estar siempre por sobre la temperatura que ocasiona daño por frío. El enfriamiento tiene varias ventajas desde el punto de vista fisiológico

1. Reduce la actividad metabólica junto con el deterioro y senescencia. Disminuyen la tasa respiratoria y la producción de etileno. Disminuyen las pérdidas de acidez, dulzor y firmeza y se ralentizan los procesos de cambio de color. Además disminuye la sensibilidad de los tejidos al etileno y la velocidad de maduración y senescencia.
2. Frena la velocidad de pérdida de peso por agua o deshidratación. Esto se debe a la reducción del gradiente de déficit de presión de vapor entre el interior del tejido vegetal y el ambiente que le rodea.
3. Reduce la velocidad de envejecimiento, síntesis de almidón y de dureza por la formación fibrosidad en tejidos como semillas, peciolo, etc. (arvejas, habas, apio, espárrago, etc.)

4. Disminuye el crecimiento de microorganismos patógenos y saprófitos tales como hongos y bacterias (*Botrytis*, *Penicillium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, etc.).

Tabla 1. Temperaturas de almacenamiento para frutas y hortalizas considerando su sensibilidad y producción al etileno.

Producto	Temperaturas recomendadas para transporte (°C)			
	0-2	4-7	7-10	13-18
Hortalizas secas	Cebollas, ajos			
Hortalizas sensibles a etileno	Espárrago, Endivia, Brócoli, Apio, Lechuga	Porotos verdes, Pepino, Pimiento, Papa	Albahaca, Berenjena, Sandia	Papa temprana
Hortalizas no sensibles a etileno	Alcachofa, Rábano, Nabo		Zapallo, Ajíes	Camote, Ñame
Frutas productores de poco etileno	Berries, Dátil, Uva, Naranja	Tuna, Mandarina, Granada, Pepino	Carambola, Melón, Limón, Piña	Zapote
Frutas productores de etileno	Manzana, Durazno, Kiwis, Palta madura	Melón tuna Guayaba	Palta inmadura, Melón	Plátano, Chirimoya, Mango

Kader (2002).

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO

Para remover el calor de campo en una fruta u hortaliza se debe considerar los siguientes parámetros: la temperatura inicial y la final a la cual se quiere llegar, la masa y calor específico del producto a enfriar.

En un sistema de enfriamiento para que se produzca la transferencia de calor, ésta siempre será desde un punto con mayor calor a otro con menor. Para que esta transferencia ocurra se pueden dar dos tipos: la conducción y la convección o ambas. En la conducción, la energía se transmite molécula a molécula sin el desplazamiento de éstas. Dentro del vegetal la transferencia de calor se produce por conducción entre las células.

En la convección la transferencia de energía se produce principalmente por movimiento de masas o de moléculas. Cuando se utiliza un fluido como el aire o agua para enfriar, el movimiento de energía se produce entre el producto vegetal y el fluido en movimiento. La convección es un mecanismo más eficiente para enfriar una fruta que la conducción y el agua un fluido más eficiente en enfriar que el aire debido a su mayor valor de factor de convección.

La velocidad de transferencia de calor por conducción se entiende a través de esta expresión $Q = A \Delta T/R$, donde Q corresponde al flujo de calor, A al área de intercambio, ΔT a la diferencia de temperatura entre dos puntos y R a la resistencia térmica que depende de las

características del tejido vegetal y del material de embalaje (bandejas, papel, cajas, etc.). Tal como se desprende de esta expresión, la transferencia de calor puede aumentar al reducir principalmente R a través de la resistencia que provocan los materiales de embalaje.

En cambio en la convección la expresión que se emplea es $Q = h A \Delta T$ donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A el área de transferencia de calor y ΔT la diferencia de temperatura entre la superficie del tejido vegetal y el fluido. El valor de h depende de la geometría externa del producto y principalmente de las características del fluido. Cuando se emplea agua como fluido, el enfriamiento puede ser de 15 a 30 veces más rápido que con aire. Se debe tener en cuenta que cuando se aumenta la velocidad de movimiento del fluido el valor de h aumenta considerablemente. Esto explica porqué cuando un producto vegetal se enfría en una caja sin perforaciones que permita el paso del aire y/o se emplean demasiados materiales de embalaje, el enfriamiento es más lento en relación a una caja bien ventilada y con pocos materiales de embalaje o granel. En este ejemplo la primera situación responde principalmente a un enfriamiento por conducción más que convección y en el segundo caso la situación sería al revés.

MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

El enfriamiento de productos puede realizarse por diversos métodos que incluyen: cámaras de conservación, aire frío forzado, agua fría, enfriamiento por vacío y hielo troceado. En general estos métodos no se emplean para todas las especies y su efectividad dependerá de las características morfológicas de cada producto.

En general cuando se desea enfriar un producto se habla del tiempo para conseguir un enfriamiento completo. Esto significa cuanto tiempo tarda un producto en alcanzar la temperatura deseada para luego ser traspasado a una cámara de almacenamiento o para ser transportado. Es importante considerar que mientras avanza el enfriamiento de un producto la velocidad de enfriamiento disminuye. Por tanto, el tiempo de enfriamiento depende directamente de la temperatura inicial del producto y la del medio enfriador.

En términos generales se habla que el tiempo para terminar esta etapa debiera ser equivalente a “7/8 de tiempo total de enfriamiento”, entendiéndose como tiempo total aquel requerido para que la temperatura del producto disminuya en 7/8 la diferencia entre su temperatura inicial y la temperatura del fluido utilizado para enfriar (Figura 1). Es importante recordar que este término se puede emplear para productos que tienen una perecibilidad media y/o se van a comercializar en poco tiempo. Sin embargo existen muchas frutas y hortalizas que esta recomendación no se aplica y su enfriamiento debe durar el tiempo necesario hasta conseguir los 15/16, es decir casi la temperatura del medio enfriador. Esto ocurre en productos muy perecibles o que van a ser transportados por largos periodos (más de 20 días) como es el caso de berries, cerezas, flores de corte, melones, uva de mesa, etc. En frutas de carozo esta exigencia debe cumplirse además por otra situación que es la de evitar que la temperatura de término del enfriamiento corte cuando la pulpa de estas frutas aún está en un rango de temperatura de 2 y 8°C. Estas temperaturas son conocidas como el rango de la muerte porque favorecen la manifestación anticipada de daños por frío como harinosidad y pardeamiento de la pulpa.

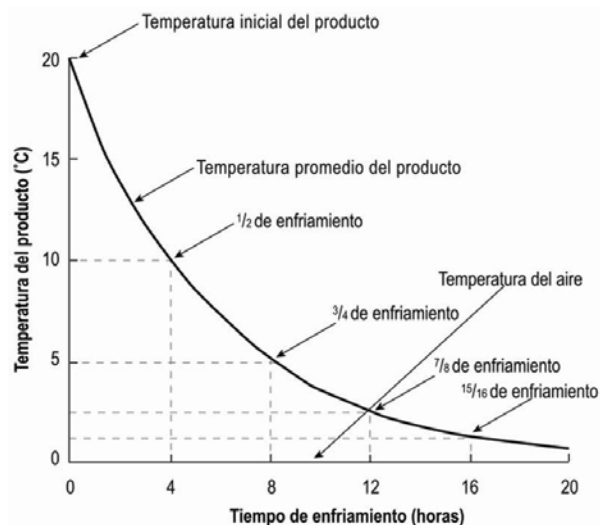


Figura 1. Curva de enfriamiento teórica de productos perecederos según Thompson et al. (2002).

ENFRIAMIENTO EN CÁMARA

Este método de enfriamiento suele ser utilizado ampliamente a nivel comercial y consiste en colocar la carga de producto en una cámara normal de refrigeración. Se emplea principalmente para productos poco perecibles, de larga vida útil que son almacenados en la misma cámara donde se enfrían (papas, cítricos, etc.). Empleando este método solo se conseguiría un enfriamiento en menor tiempo si el equipo frigorífico está sobredimensionado o la cámara subutilizada con una cantidad menor a media capacidad. Al instalar un equipo con mayor capacidad frigorífica en una cámara destinada a la mantención se incurriría en mayores costos de instalación puesto que esa cámara no está diseñada para enfriar exclusivamente.

En las cámaras de enfriamiento, el aire frío de los serpentines del evaporador circula a través de los pallets o bins y lentamente enfría el producto. La ventaja principal de este método es que el producto puede ser enfriado y almacenado en la misma cámara sin la necesidad de ser transferido. Sus desventajas son que es demasiado lento para la mayoría de los productos. El enfriamiento en cámara

requiere según la capacidad frigorífica de varios días para que el producto embalado alcance la temperatura deseada.

Este método no difiere mucho del de mantención en cámara refrigerada, con la excepción de que los productos envasados se estiban con espacios entre la filas de las cajas. El aire frío se descarga con un extractor y se moviliza de manera casi horizontal por debajo del techo y luego en flujo vertical hacia el piso regresando a la entrada del extractor. El aire frío se pone en contacto con los envases y los productos durante su trayectoria. La superficie en contacto con el aire frío se enfría principalmente por convección y el calor de los productos se transfiere a la superficie fría por conducción.

La estrategia es incrementar la velocidad de enfriamiento a través de la reducción de la temperatura del aire, el aumento de la velocidad del aire y de la superficie de contacto. Según Kader (2002), la velocidad de flujo de aire debe ser de 61 a 122 metros por minuto. Si bien la reducción de la temperatura es una herramienta útil y esta debe estar siempre por sobre la temperatura que ocasiona daño por frío. En ocasiones se puede trabajar con temperaturas por

debajo de este límite pero se debe tener mucho cuidado en la instalación de sensores de temperatura de pulpa y en los puntos más fríos de la cámara. En este caso para evitar estos daños, los sensores deben ser colocados en la parte más externa de la pulpa justo por debajo de la piel del producto. Respecto a la superficie de contacto, ésta debe incrementarse a través de un diseño adecuado de las cajas que incluya un porcentaje de área ventilada de al menos un 8% en la cara que enfrenta la dirección del aire frío.

Por tanto el enfriamiento en cámara sólo puede ser recomendado para productos poco perecederos o que se comercializan en poco tiempo. Para productos muy perecibles como berries, carozos, uva de mesa que pueden ser almacenados por mucho tiempo o requieren ser transportados a destinos lejanos se deben escoger otros métodos de enfriados por métodos más rápidos.

ENFRIAMIENTO POR AIRE FRÍO FORZADO EN TÚNEL

En este método, el aire frío es forzado a moverse a través de las perforaciones de las cajas para entrar en contacto directo con los productos. La diferencia de presión se genera utilizando extractores que mueven el aire entre los lados opuestos de las cajas. Este es el método más adaptable para la mayoría de los productos hortofrutícolas y es mucho más rápido que el enfriamiento en cámara debido a que el aire frío es obligado a circular a través del producto en lugar de alrededor de las cajas o pallets. De esta forma, el aire frío entra en contacto directo con el producto y puede remover su calor proveniente de campo. Mediante un adecuado diseño de la estiba de cajas o pallets y un buen diseño de las cajas con un porcentaje de ventilación superior al 8% se logra un enfriamiento rápido y uniforme. La

velocidad de enfriamiento por aire forzado debe ser 6 a 10 veces mayor que en cámara.

Un aspecto a considerar en este método es la pérdida de agua desde los productos. En general un producto puede presentar síntomas de deshidratación con porcentajes de pérdida de peso desde un 2% aunque en general se considera una pérdida igual o mayor a 5% dependiendo del tipo de producto. En general muchos autores coinciden en que usando aire forzado y dependiendo de su duración se obtienen pérdidas de 1-2% del peso inicial. Siempre un enfriamiento más rápido deshidratará menos que otro en más tiempo. Para reducir estas pérdidas se debe buscar una humedad relativa en el túnel superior al 90%. Para conseguir estos porcentajes se debe regular las presiones de carga y descarga en el compresor y evitar un salto térmico entre la temperatura del aire de entrada y el de salida del evaporador superior a 2 - 4°C. Este método puede emplearse en instalaciones con pequeñas o grandes cantidades de producto para enfriar.

La velocidad de enfriamiento del aire frío forzado es controlada por el volumen de aire frío que pasa a través del producto. De manera general, para un adecuado enfriamiento se requiere de alrededor de 0,001 a 0,002 m³ de aire por segundo y por kilogramo de producto. La presión estática necesaria para producir el flujo de aire requerido, depende directamente del tamaño y distribución de las aberturas de las cajas y del uso de materiales de embalaje presentes en el interior de éstas.

La dificultad está que entre más cerca se desee llegar a la temperatura del aire más tiempo tardará el túnel en enfriar. Esto puede ocasionar una mayor deshidratación, gasto de energía y retraso en las labores de enfriamiento en su conjunto provocando retrasos en los despachos de producto terminado (Tabla 2).

Tabla 2. Enfriamiento de melones Galia embalados en cajas de cartón empleando un túnel con 12 pallets (6 pallets por lado) (T: final 5,6°C, melón Galia). T ext: temperatura de la pulpa en la cara externa del túnel, T int: temperatura de la pulpa en la cara interna túnel. Succión: corresponde al pallet ubicado junto al extractor; Centro: corresponde al pallet ubicado en la posición media a lo largo del túnel y; Puerta: corresponde al pallet más alejado de la succión cerca de la puerta. ^a: corresponde al momento en que se realizó el giro de los pallets.

Tiempo (h)	Pallet 1 (caja:5 kg) Succión		Pallet 3 (caja:12 kg) Centro		Pallet 6 (caja: 6 kg) Puerta	
	T ext	T int	T ext	T int	T ext	T int
0,5	17,4	25,2	23,5	16,6	22,0	19,3
1,2	14,6	SD	13,8	SD	20,3	SD
2,2	13,1	SD	12,8	SD	17,1	SD
3,5	12,4	16,3	12,5	14,9	17,2	20,7
4,9	11,0	SD	11,1	SD	14,1	SD
6,4	8,9	SD	10,4	11,8	12,7	10,9
7,4	8,6	SD	10,2	SD	11,9	SD
8,4	7,6	SD	9,2	SD	10,2	SD
9,4^a	7,1	9,6	7,9	9,3	9,3	13,4
11,4	7,6	SD	9,0	SD	8,1	SD
12,4	7,7	8,2	8,0	8,1	7,8	7,1

SD: Sin dato.

En el aire frío forzado tipo túnel, dos filas de pallets o cajas estibadas son colocadas formando un pasillo central frente al extractor y/o ventilador. El espacio central y los extremos abiertos se cubren con una lona o carpa para formar un túnel de aire. El extractor crea una baja presión de aire al interior del túnel. El aire frío de la cámara se mueve a través de las cajas con producto hacia la zona de baja presión, eliminando así su calor proveniente de campo. Es muy recomendable registrar las temperaturas de pulpa en ambas caras del pallet, siendo las temperaturas más bajas en las caras externas de los pallets y algo superiores en las caras internas. Esta diferencia de temperatura dependerá del volumen de aire que pase a través de las cajas, mientras mayor sea el volumen de aire menor será la diferencia de temperatura entre ambas caras de un mismo pallet.

Este método es muy útil para enfriar productos altamente perecederos que no pueden ser tratados por agua o vacío como es el caso de uvas de mesa, algunas variedades de carozo y berries. Este método puede tener un costo más alto que el enfriamiento en cámara porque requiere de una mayor capacidad de enfriamiento pero se consigue un significativo ahorro del tiempo en el enfriamiento y una extensión de la vida postcosecha y calidad de los productos enfriados.

ENFRIAMIENTO DURANTE EL TRANSPORTE

El enfriamiento en tránsito es usado para productos provenientes de áreas sin facilidades para su enfriamiento. Los camiones refrigerados,

vagones de tren, contenedores marítimos y las cámaras frigoríficas de los barcos no tienen capacidad suficiente para lograr un enfriamiento eficiente en comparación con otros métodos de enfriamiento.

Los camiones refrigerados mueven el aire en sentido horizontal, primero lo distribuyen generalmente a través de una manga ubicada en el techo y luego este aire retorna a través de las cajas en sentido horizontal hasta una pared falsa donde se ubica el evaporador (Foto 1). En cambio, los barcos refrigerados y los contenedores marinos cuentan con un sistema de suministro de aire desde el piso. El aire frío fluye desde el sistema de refrigeración al piso y

posteriormente sube pasando a través de las cajas con productos para retornar al sistema de refrigeración por encima de éstas. En el caso de los vagones de tren la dirección del aire es similar al de contenedores y bodegas de barco pero el sentido del aire es desde el techo al suelo. Un aspecto que debe siempre considerarse para conseguir un buen enfriamiento es el número, posición y porcentaje de área ventilada en las cajas. En estos casos anteriores son importantes los orificios en la base y en la tapa de las cajas haciéndolos coincidir con los orificios de las otras cajas ubicadas por sobre o por debajo (Foto1). El piso debe estar completamente cubierto para evitar “chimeneas” por donde se desvíe el aire sin enfriar la carga.

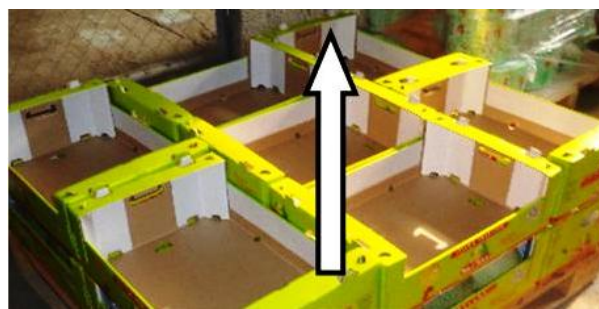
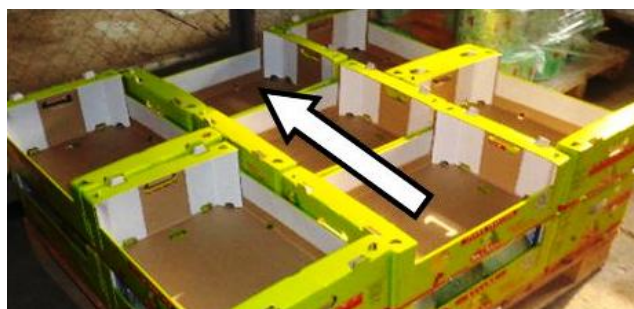


Foto 1. Sentido del flujo de aire frío indicado por una flecha blanca. En un túnel de aire forzado el sentido será horizontal y atravesará el lado más estrecho del pallet (izquierda) y en un contenedor refrigerado (derecha) el sentido será vertical.

ENFRIAMIENTO POR AGUA (HIDROENFRIADO)

El uso de agua fría es un método efectivo para enfriar productos hortofrutícolas tanto a granel como embalados en poco tiempo. En este método la superficie de los productos hace contacto directamente con el agua fría en movimiento siendo la convección el principal mecanismo de transferencia de calor desde la superficie del producto al agua. El agua proporciona un coeficiente de transferencia de calor más alto que el aire por esta razón este método es más rápido que el aire frío forzado. El

tiempo normal para alcanzar 7/8 de enfriamiento varía de 10 minutos para productos con diámetro pequeño, como cerezas, hasta 1 hora para mayores, como melones. Los sistemas de enfriamiento por agua fría (hidroenfriadores) pueden ser por inmersión o por lluvia, para proporcionar un alto contacto agua-producto.

Las ventajas del hidroenfriamiento son evitar las pérdidas por deshidratación y puede incluso adicionar agua a productos ligeramente

marchitos, como es el caso de las hortalizas de hoja. En un hidrogenfriador tipo lluvia el agua fría es bombeada a un tanque elevado perforado de distribución. El agua cae en forma de lluvia sobre el producto que puede estar en cajas o bins a granel ubicadas sobre una cadena transportadora. Los productos a granel o envasados se mueven lentamente sobre esta cadena dentro del túnel. El agua se recoge en la parte inferior por debajo de la cadena transportadora, se filtra pasándose el agua por un filtro para eliminar suciedad y posteriormente regresa a los serpentines de enfriamiento para ser enfriada nuevamente. Los serpentines de enfriamiento se localizan por debajo o al lado de la cadena transportadora, o en la parte superior del tanque de aspersión. La velocidad de enfriamiento depende del volumen, velocidad de caída del agua, diferencia de temperatura entre el producto y el agua, y de la superficie de contacto del producto. Sin embargo, al aumentar el volumen y la velocidad del agua por sobre un nivel crítico no reduce el tiempo de enfriamiento porque el factor de convección del agua se transforma en limitante. Para reducir los tiempos de enfriamiento se debe considerar el área de ventilación, del envase, la estiba de las cajas sobre la cadena transportadora para conseguir un contacto con el agua uniforme. La temperatura final del producto depende de la temperatura inicial del producto, del tiempo de enfriamiento y la eficiencia del equipo de refrigeración. Otro aspecto a considerar es la calidad microbiológica del agua fría por lo que se recomienda filtrarla para reducir los restos de materia orgánica y suciedad provenientes del campo y la manipulación. Para conseguir este propósito se debe adicionar algún sanitizante, en el caso de hipoclorito de sodio se debe mantener su concentración por sobre 100 ppm y a un pH entre 6 y 7.

Muchas hortalizas como espárrago, apio, rábano, maíz dulce, etc. y algunas frutas como duraznos, nectarines y cerezas pueden enfriarse por este

método antes de su procesamiento. Sin embargo, algunas especies como uvas, ciruelas, berries y otras sufren daños físicos por el golpe del agua cuando se aplica en forma de lluvia o se acelera su deterioro siendo enfriadas preferentemente por aire forzado. En el caso de cerezas, éstas son muy sensibles al golpeteo por la caída de agua provocando un desorden conocido como picado. Por tanto se recomienda que el tanque de distribución se encuentre a no más de 20 cm por encima de las frutas y que la gota sea de tamaño muy pequeño.

Otro método de hidrogenfriado es sumergir los productos envasados o a granel directamente en el agua fría. El agua debe agitarse para mejorar la velocidad de enfriamiento al aumentar la constante de convección del agua. Esta forma de enfriar se utiliza en frutas y hortalizas enteras o precortadas (IV gama) durante la etapa de lavado. Para productos precortados se recomienda durante la etapa de lavado utilizar una solución clora con 50 a 200 ppm cloro libre (pH: 6 a 7°C) y a una temperatura lo más cercana a 0°C.

ENFRIAMIENTO POR VACÍO

Este método de enfriamiento es diferente a los anteriores porque no utiliza un fluido para enfriar el producto. El mecanismo de enfriamiento se basa en la evaporación de parte del agua superficial del producto a una muy baja presión atmosférica. Los productos que fácilmente liberan agua pueden ser enfriados en 20 a 30 minutos. La energía necesaria para el cambio de estado del agua de líquido a vapor es extraída desde el producto mismo enfriándolo.

Se debe tomar en cuenta que el agua se evapora rápidamente al hervir a presión atmosférica (760 mm Hg) a 100°C, sin embargo si esta presión se reduce, el punto de ebullición del agua disminuye también. Por ejemplo a 4,6 mm Hg de

presión, el agua hierve a 0°C por tanto absorbe energía en el cambio de su estado. Por tanto el principio para enfriar en el método de vacío consiste en que el calor de vaporización de un gramo de agua corresponde a 580 cal, entonces sí el producto está a una temperatura superior a 0°C, el agua interna más superficial hierve rápidamente enfriando el producto.

Las partes de este tipo de enfriador son una cámara resistente más de una atmósfera de presión de vacío y donde se coloca el producto y una bomba de vacío provistas en general de alabes rotatorios. La bomba de vacío remueve el aire de la cámara y generando una presión baja de vacío. Para apoyar el trabajo de la bomba se utilizan intercambiadores de calor donde se produce la condensación del vapor de agua.

Los productos más recomendados para esta técnica de enfriamiento son aquellos con una alta relación superficie / peso ya que liberaran agua de constitución rápidamente. Este es el caso de las hortalizas de hoja (especialmente lechugas) que se pueden enfriarse rápidamente incluso estando embolsadas y en cajas (Foto 2).

La pérdida de agua superficial y el enfriamiento del producto se logran mediante la extracción del aire de la cámara de vacío cerrada

herméticamente donde se encuentra el producto (Foto 2). Al reducir la presión atmosférica alrededor del producto disminuye la temperatura de ebullición del agua de constitución evaporándose rápidamente y captando el calor desde el mismo producto (calor latente de vaporización). El vapor de agua dentro de la cámara se condensa en un serpentín de refrigeración localizado entre la entrada de carga y la bomba de vacío. El enfriamiento mediante vacío puede conducir a pérdidas de peso (principalmente agua) de alrededor del 1% por cada 6°C de disminución en la temperatura del producto. Este nivel de pérdidas de peso puede resultar inconveniente para algunos productos por lo que se recomienda instalar un sistema de aspersión de agua para asperjar la superficie del producto durante el proceso de enfriamiento. La aspersión puede también ocurrir antes de que el producto entre a la cámara de enfriamiento. Un tamaño habitual de una cámara de vacío permite enfriar para enfriar de 2 a 4 pallets. Muchos equipos de vacío son portátiles y pueden utilizarse en dos o más áreas de producción y durante todo el año lo que permitiría amortizar rápidamente la alta inversión inicial correspondiente a la compra de este equipo.



Foto 2. Aplicación de vacío para enfriar hortalizas de hojas.

ENFRIAMIENTO POR HIELO

El uso de hielo como método de enfriamiento se emplea en algunas hortalizas que toleran el contacto directo con el hielo una vez embaladas en cajas. El hielo al derretirse absorbe unas 80 cal por gramo al estar en contacto con el producto. Sin embargo, una vez derretido el hielo los productos no pueden seguir enfriándose. Por tanto, la cantidad de hielo a aplicar por caja depende del calor específico, masa y temperatura inicial del producto a enfriar. El hielo suele aplicarse como escamas sobre brócoli, puerro, coliflor y maíz dulce entre otras hortalizas que son destinadas a mercado local. Se debe considerar que el tipo de envase a utilizar debe ser resistente al agua y no perder sus propiedades de tracción y resistencia así se pueden emplear cajas plásticas o de cartón parafinado. Este método de enfriamiento es des-uniforme, lento y libera agua por lo que su uso es limitado.

TEMPERATURAS DURANTE LA CADENA DE COMERCIALIZACIÓN

Una vez enfriados los productos se debe tener la precaución de almacenarse, transportarse y

comercializarse dentro de un rango de temperaturas recomendada y previamente alcanzado tras el enfriamiento. Sin embargo, esta precaución muchas veces no se considera exponiendo a los productos a temperaturas más altas lo que afecta directamente su calidad y acorta drásticamente su vida postcosecha.

En un estudio realizado por Nunes et al. (2009) en los Estados Unidos se observó el abuso en las temperaturas utilizadas por tres plataformas de distribución de productos vegetales. En el Tabla 3 se aprecia como en la mayoría de las frutas y hortalizas las temperaturas fueron muy superiores a las recomendadas. Esta situación se aún más grave para aquellos productos más perecibles como frambuesas, moras y ensaladas embolsadas donde las temperaturas registradas estuvieron entorno a 7°C superiores a la recomendada de 0°C. Estos mismos autores muestran en el Tabla 4 la enorme variación de temperatura entre las temperaturas mínimas y máximas a las cuales se encuentran sometidas ensaladas frescas embolsadas y berries. Estos productos sufrieron variaciones de 14 a 19° entre temperaturas mínimas y máximas mostrando los significativos quiebres durante la cadena de frío.

Tabla 3. Temperaturas utilizadas por diferentes plataformas de distribución de productos vegetales (Nunes et al., 2009).

Producto	Temperatura (°C)				
	Plataforma A	Plataforma B	Plataforma C	Promedio	Recomendada
Manzana GD	6,7	6,1	5,2	6,0	4
Plátano	15,6	5,6	17,3	12,8	13-15
Mora	7,9	6,8	6,7	7,1	0
Frambuesa	7,1	5,8	7,4	6,7	0
IV gama	8,1	6,8	8,5	7,8	1-3
Ensaladas en bolsa	8,1	6,8	7,7	7,5	1-3
Tomate	8,2	10,4	10,5	9,7	8-10

Tabla 4. Variación de temperatura entre las temperaturas mínimas y máximas registradas en dos plataformas de distribución de productos vegetales (Nunes et al., 2009).

Producto	Plataforma A		Plataforma B	
	Temperatura (°C)	HR (%)	Temperatura (°C)	HR (%)
IV gama				
Min	2,6	61,2	0,7	76,7
Max	16,4	90,2	13,8	92,6
Promedio	4,8	84,3	3,3	88,0
Ensaladas bolsa				
Min	1,3	63,7	4,4	-
Max	14,4	89,9	19,2	-
Promedio	5,9	82,9	8,4	-
Berries				
Min	1,6	55,9	-1,2	72,1
Max	7,7	88,0	14,1	92,6
Promedio	1,2	74,3	3,3	88,0

En otro estudio realizado por Tano et al. (2007) en setas, tomates y brócoli envasados en bolsas con atmósfera modificada se observó que cuando un grupo de estos envases fueron sometidos a fluctuaciones intermitentes en la temperatura durante la conservación su calidad y vida útil disminuyeron drásticamente. En el interior de estos envases aumentó la concentración de CO₂, se redujo el O₂, hubo cambios en la humedad relativa y en el grado de condensaciones. Esta condición favoreció un mayor crecimiento de microorganismos y una acumulación de etanol en relación a los envases que se mantuvieron en la temperatura recomendada en forma constante.

Como se ha mencionado en este trabajo el uso eficiente y correcto del frío permiten prolongar la calidad y vida postcosecha de los productos hortofrutícolas de manera considerable. Sin embargo, para conseguir llegar a las temperaturas recomendadas para cada producto se debe escoger el método de enfriamiento adecuado considerando la perecibilidad y características propias del producto, tiempo de

conservación o transporte para su comercialización o exportación, costos, valor final del producto, disponibilidad y oportunidad en el uso de la tecnología, entre otros.

Una vez enfriado estos productos se debe tener cuidado de no someterlos a temperaturas mayores y a variaciones en esta que provocarán un aceleramiento de los procesos de deterioro acortando su vida postcosecha. Esta situación desafortunadamente es bastante común durante la cadena de comercialización y por tanto se deben hacer esfuerzos para evitar estas condiciones y monitorizar permanentemente la temperatura de los productos

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a la Red Hortyfresco (N° 113RT0480) financiada por CYTED y CONICYT-Chile por permitir dar a conocer información técnica relacionada con la conservación y calidad de productos hortofrutícolas frescos enteros y procesados en IV gama.

LITERATURA CITADA

KADER, A.A. 2002. Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera Edición, Universidad de California División de Agricultura y Recursos Naturales, Series de Horticultura Postcosecha No. 24, Traducción de la Publicación 3311 de ANR.

NUNES, M.C.N., J.P. EMOND, M. RAUTH, S. DEA, K.V. CHAU. 2009. Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 232-24.

TANO, K., M.K. OULÉ, G. DOYON, R.W. LENCKI, J. ARUL. 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 212-221.

THOMPSON, J.F., F. GORDON, R.F. KASMIRE. 2002. Enfriamiento de productos hortofrutícolas. pp. 11-131. En KADER, A.A. (Ed.), Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera Edición, Universidad de California División de Agricultura y Recursos Naturales, Series de Horticultura Postcosecha No. 24, Traducción de la Publicación 3311 de ANR.