

Papas fortificadas con calcio y vitamina C conservadas por osmodehidrocongelación y envasadas en atmósfera modificada*

Luis Alberto Roche^{1, 2}, Reynaldo J. Silva Paz¹, Juan Miguel Languasco¹, Patricia A. Della Rocca¹, Rodolfo Horacio Mascheroni²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, IDETQA, Departamento de Ingeniería Química, Medrano 951, (C1179 AAQ), C.A.B.A, Argentina

² Universidad Nacional de La Plata y CONICET, CIDCA, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología, Calle 47 y 116, La Plata (B1900 AJJ), Pcia. de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 14 de octubre de 2014, aprobado el 16 de diciembre de 2014

Resumen

En el presente trabajo se fortificaron cubos de papas con calcio y vitamina C, por osmodehidrocongelación. Se trata de un proceso combinado en el que se produce una deshidratación parcial del producto al sumergirlo en una solución acuosa concentrada de solutos comestibles y posterior congelación. Por consiguiente, se reduce la formación de cristales de hielo y se daña menos su estructura. Además la carga térmica a extraer es menor respecto del proceso de congelación sin dicho pretratamiento logrando un importante ahorro de energía y un producto de menor volumen y peso. La deshidratación osmótica con pulsos de vacío permitió impregnar con calcio y vitamina C el producto a concentraciones suficientes que permiten considerarlo como un alimento fortificado. El envasado con atmósfera modificada en bolsas de un material trilaminado permitió conservar las características nutricionales así como también su estabilidad al deterioro microbiano durante un lapso de 180 días.

PALABRAS CLAVE: FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS – OSMODEHIDROCONGELACIÓN - IMPREGNACIÓN CON CALCIO - IMPREGNACIÓN CON VITAMINA C

Abstract

In this paper potato cubes were fortified with calcium and vitamin C by osmodehydrofreezing. This is a combined process in which a partial dehydration of the product by soaking it in an aqueous concentrated solution of edible solutes occurs, followed by a subsequent freezing. Therefore, the formation of ice crystals is reduced and less damage to the structure takes place. Besides, the thermal load is lower when compared to the freezing process without a pre-treatment, achieving significant energy savings and a lower volume and weight product. Vacuum pulse osmotic dehydration allowed to impregnate the product with calcium and vitamin C at high enough concentrations as consistent to consider it a fortified food. The modified atmosphere packaging bags of tri-laminate material allowed to retain the nutritional characteristics as well as their stability to microbial spoilage during a period of 180 days.

KEYWORDS: FOOD FORTIFICATION – OSMODEHYDROFREEZING - IMPREGNATION WITH CALCIUM - IMPREGNATION WITH VITAMIN C

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Osmodehidrocongelación de papa (*Solanum Tuberosum*) impregnada

con vitamina C y calcio envasada en atmósfera modificada" para optar al grado académico de Doctor en Ingeniería, mención en Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Nacional de Entre Ríos, dirigida por Patricia A. Della Roca y codirigida por Osvaldo D. Tisocco.

Introducción

La creciente demanda de productos naturales, nutritivos y saludables motivan a desarrollar alimentos fortificados con minerales y vitaminas que puedan extender su vida útil a través de procesos de conservación que preserven sus componentes nutritivos y que modifiquen mínimamente sus características organolépticas.

Los vegetales son componentes imprescindibles en la dieta diaria ya que proveen fibras y gran cantidad de vitaminas y minerales que intervienen en las funciones fisiológicas. El contenido de vitamina C en la papa es de 20 mg en 100 g de producto fresco y luego de la cocción su contenido se reduce alrededor de un 42% (Hironaka et al., 2011). Además debido a su alto contenido de agua, el tiempo de vida útil posterior a la cosecha es corto.

El calcio es un mineral esencial en la dieta. Un 99% del calcio corporal se encuentra formando parte de los huesos y los dientes. El 1% restante está en forma iónica o en combinación con alguna proteína, ejerciendo una considerable influencia sobre el metabolismo humano. Los iones calcio están implicados en todos los tipos de contracción muscular, incluidos las del músculo cardíaco, el músculo esquelético y el músculo liso encontrado tanto en vasos sanguíneos como las arterias. El calcio también actúa sobre un número considerable de enzimas entre las cuales se encuentran las que intervienen en la degradación del glucógeno muscular y hepático. Asimismo, el calcio ayuda a regular la transmisión del impulso nervioso, la coagulación de la sangre y la secreción hormonal. Sin embargo, los principales problemas de salud asociados con una alteración del metabolismo del calcio son las enfermedades relacionadas con los huesos. Diversos factores están implicados en la formación o mineralización del tejido óseo, entre ellos las tensiones mecánicas del ejercicio físico, las hormonas como la parathormona y la calcitonina, la vitamina D, los estrógenos y el aporte de calcio en la dieta. El desequilibrio de algunos de estos factores puede provocar la desmineralización de los huesos cuyo resultado es el raquitismo en los niños y la osteoporosis en los adultos (Williams et al., 2015).

La fortificación de la papa con componentes fisiológicamente activos, como el calcio, podría jugar un papel muy importante en el bienestar físico del ser humano. En especial a aquellas personas

que no consumen lácteos y sus derivados, excelentes fuentes de calcio, por intolerancia a la lactosa u otros efectos indeseables. Cabe resaltar, que los oxalatos, fitatos y fibras hallados en los vegetales pueden interferir en la absorción intestinal del calcio. La vitamina C bloquea los efectos inhibitorios de los fitatos y puede favorecer la absorción de calcio. También colabora en la absorción de hierro "no hem", proveniente de los vegetales. Es esencial para la resistencia del organismo a ciertas enfermedades, en la formación del colágeno y en la prevención del envejecimiento y algunas investigaciones la relacionan con la prevención de la mutación celular, una de las causas que puede dar lugar a enfermedades degenerativas y al cáncer. La vitamina C es un antioxidante que se puede usar para prevenir el pardeamiento y otras reacciones de oxidación en los alimentos.

El calcio extiende la vida útil de los vegetales y frutas ya que los iones calcio se unen con los grupos carboxilo libres de las cadenas de pectina, resultando en el fortalecimiento de la pared celular (García, Herrera y Morilla, 1996).

La aplicación de la deshidratación osmótica (osmodeshidratación) a los productos frutihortícolas como pretratamiento antes de otros procesos posteriores como la fritura, congelación, secado, liofilización, etc., resulta muy ventajosa, ya que permite disminuir parcialmente su humedad (extender su vida útil) y simultáneamente, adicionar minerales y vitaminas al producto a través de la solución de deshidratación. Es importante para la ingeniería en el caso de la deshidratación osmótica de alimentos acelerar la transferencia de masa tanto de agua como de solutos de manera tal de disminuir los tiempos de procesamiento y poder modificar simultáneamente sus características nutricionales.

La deshidratación osmótica permite extraer parte del agua contenida en un alimento, al ponerlo en contacto directo con una solución concentrada en solutos. El agua del interior del alimento (solución diluida) difunde a través de las membranas celulares que son semipermeables hacia el medio que lo rodea (solución más concentrada). Como esta membrana es parcialmente selectiva se produce cierto ingreso del soluto de la solución hacia el alimento. Este fenómeno se denomina impregnación y se produce en menor grado que la deshidratación. La deshidratación osmótica se produce por la diferencia de presiones osmóticas, la difusión, relacionada con la

diferencia de concentraciones de solutos y cuando existen gradientes de presión se produce el movimiento tanto de agua como de solutos por capilaridad por un mecanismo hidrodinámico. Este nuevo mecanismo se ha propuesto como responsable del efecto del vacío sobre la deshidratación osmótica. La presencia de poros en los alimentos se puede atribuir a muchos factores, uno de ellos es la existencia de espacios intercelulares que se encuentran en el tejido parenquimático de los vegetales. En el caso de someter el sistema a presión subatmosférica, el gas ocluido en la estructura porosa sufre una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, de forma que se produce la pérdida parcial del mismo y una mayor penetración del líquido que ingresa por capilaridad. En la deshidratación con pulso de vacío se somete a la muestra y la solución deshidratante al vacío durante un corto período de tiempo y luego se restablece la presión atmosférica.

En los tratamientos osmóticos la pérdida de agua se asocia a la pérdida de turgencia celular y a cambios estructurales que provocan la disminución de firmeza de los alimentos. Esta disminución se puede mitigar con la incorporación de iones calcio en el alimento durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV).

La aplicación de calcio en los alimentos se realiza a través de sales, como cloruro de calcio, lactato de calcio, etc., el cual tiene un papel importante en la conformación de las membranas de la pared celular, fortaleciendo su integridad y por ende la textura durante el tiempo de conservación, ya que el calcio influye en la permeabilidad de las membranas celulares, la activación de enzimas específicas y en la evolución de la senescencia de los frutos, considerando que un aumento de su concentración en el tejido, altera los procesos de la respiración y senescencia (García-Méndez y Praderas-Cárdenas, 2010). Numerosas investigaciones se han realizado en relación a la deshidratación osmótica empleando el calcio como compuesto fisiológicamente activo. Landaeta et al. (2008) fortificaron mitades de duraznos (*Prunus persica* L. Batsch) con soluciones de 1, 3 y 5% CaCl_2 y por medio de la DOPV encontraron que la mayor absorción del mineral con respecto al tratamiento control (13,798 mg CaCl_2 /100 g) se presentó en el tratamiento con 5 % CaCl_2 (330,04 mg CaCl_2 /100 g); y no hubo diferencias en cuanto al color, pero sí en la textura y sabor. Por otro lado, (Sanjinez-

Argandoña et al., 2010) estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica y el agregado de CaCl_2 en rodajas de kiwi mínimamente procesadas. La deshidratación osmótica consistió en la inmersión de las muestras de frutos en solución de sacarosa a 60 % m/m (sin CaCl_2) y en solución de sacarosa a 60% m/m con adición de CaCl_2 (0,1 M); concluyendo que el pretratamiento osmótico con adición de CaCl_2 incrementó la vida útil hasta 15 días, mientras que aquellas sin adición de CaCl_2 presentaron vida útil de 12 días.

Los procesos de impregnación de frutas y verduras con soluciones hipertónicas que contienen minerales y vitaminas fueron ampliamente estudiados y bien reportados en la literatura (Gras et al., 2003, Moreno et al., 2012, Spiazzi y Mascheroni, 1997, Bambicha et al., 2010)

Para proteger los componentes adicionados al alimento es necesario usar envases de un material polimérico adecuado y atmósferas que colaboren en su preservación.

El envasado en atmósfera modificada, MAP (Modified Atmosphere Packaging) consiste en sustituir la atmósfera de aire que rodea el alimento por una mezcla de gases. La composición de la atmósfera a utilizar depende de la naturaleza del producto a envasar. En este trabajo la composición fue 30 % de dióxido de carbono (CO_2) y 70 % de nitrógeno (N_2). El CO_2 actúa como inhibidor del crecimiento microbiano según dos mecanismos: uno de ellos es el de disminuir el pH y el otro es el de interferir en los sistemas enzimáticos. El N_2 es un gas inerte de baja solubilidad en agua que puede desplazar el oxígeno (O_2) y así evitar reacciones de oxidación y de deterioro por microorganismos aerobios. La ventaja que presenta esta tecnología se basa en que permite prolongar el tiempo de vida útil del alimento protegiéndolo del daño mecánico, previniendo el deterioro microbiano del producto, preservando los nutrientes, etc.

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar un producto fortificado, a través de la impregnación de los cubos de papa con calcio y vitamina C y envasarlos en bolsas de un material polimérico adecuado y en atmósfera modificada de manera tal, de preservar estos componentes adicionados y extender la vida útil del producto.

Materiales y métodos

Material: Los ensayos se llevaron a cabo en tubérculos de papa (nombre científico: *Solanum tuberosum*), variedad Spunta. Su composición química se presenta en la Tabla 1. Las papas se lavaron, pelaron y cortaron en cubos de 1 cm de arista.

Métodos:

Los ensayos de deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV) se llevaron a cabo en un equipo como el que se aprecia en la Figura 1. Los cubos de papa de 1 cm de arista se sumergieron en una solución acuosa hipertónica de concentración de sacarosa 40% m/m, cloruro de sodio 5% m/m, ácido ascórbico 1% m/m y lactato de calcio 1% m/m. La temperatura de trabajo fue de 40°C. Se empleó una relación masa de papa a masa de solución de 1:4 con un nivel de agitación 120 ± 5 rpm. Las muestras se sometieron a una presión de 100 mbar por 5 min y luego se restableció la presión atmosférica durante 1 hora. Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado. Posteriormente, los cubos fueron envasados en dos tipos de bolsas o empaques:

- 1) bolsas de material multicapa: polietileno-aluminio-polietileno
- 2) bolsas de polietileno de baja densidad

Las primeras se envasaron en atmósfera modificada: 30% de CO₂ y 70 % de N₂.

Asimismo, los cubos de papas frescas (sin ningún tratamiento) fueron envasados en bolsas de baja polietileno de baja densidad. El peso de cada bolsa envasada fue de aproximadamente 50 ± 2 g. Los productos envasados fueron luego congelados en un túnel de congelación hasta alcanzar -18 °C en el centro de las bandejas.

Determinación analítica de vitamina C

La determinación de vitamina C o ácido ascórbico, se realizó en dos pasos: primero se realizó un proceso de extracción donde cada muestra fue pesada (valores comprendidos entre 5 y 8 g) y triturada en un mortero de porcelana durante 5 minutos, con la adición, en forma gradual, de 50 ml de solución buffer con ácido metafosfórico 0,85 % (pH 2,5). Esta mezcla se transfirió a un vaso de vidrio oscuro, se sometió a ultrasonido por 10 minutos, se filtró y de inmediato se inyectó al cromatógrafo.

Luego se cuantificó el contenido del ácido L-ascórbico, el cual se llevó a cabo mediante cromatografía líquida (HPLC), con columna Altima C-18 fase reversa de 30 cm de longitud (250 mm x 4,6 mm, 5 µm de tamaño de partícula) y detector UV (λ = 254 nm). Se utilizó una fase móvil formada por buffer (Metanol: Acetato de sodio 80 mmol proporción 15:85, pH=4,6, a una velocidad de flujo de 0,9 mL/min y se inyectaron 50 µL de cada una de las muestras. La identificación y cuantificación se realizó por comparación del tiempo de retención y magnitud del área del pico con un estándar de referencia.

Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje
Humedad	79,35 ± 5,09	Fibras	1,22 ± 0,50
Proteínas	1,20 ± 0,20	Carbohidratos	15,9 ± 1,91
Grasas	0,35 ± 0,05	Azúcares reductores	0,31 ± 0,12
Cenizas	0,90 ± 0,49		

Tabla 1. Composición química de la papa, variedad Spunta

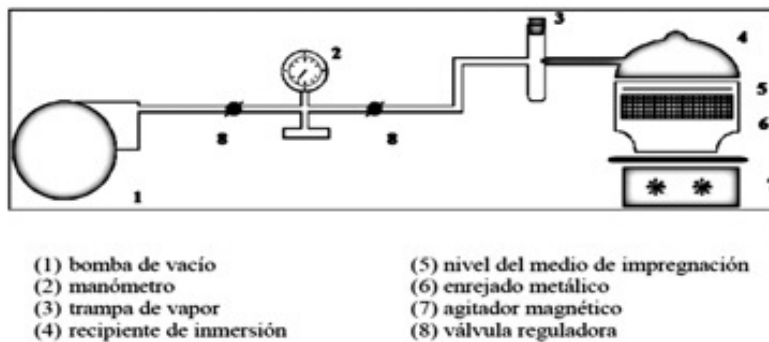


Fig. 1. Equipo de deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV)

Las muestras estándar a ser usadas como referencia de ácido L-ascórbico se prepararon diluyendo 100 mg de ácido L-ascórbico (A-0278, SIGMA) en 100 mL de buffer. Posteriormente esta solución se diluyó 1/10, 1/50 y 1/100. Se inyectaron 50 μ L de cada una de estas diluciones para verificar que la relación concentración-área que mantiene un comportamiento lineal en este rango de concentraciones. Se tomó como referencia el área obtenida con la inyección de 50 μ L de estándar, concentración 0,02 mg/mL (técnica de patrón externo). Se cuantificó el área de referencia al iniciar y al finalizar cada sesión de cromatografía. Los análisis en todos los casos se realizaron por duplicado y los resultados que se exponen son los valores medios.

Determinación analítica de Calcio

El contenido de Ca^{+2} en las muestras frescas y fortificadas se determinó por absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3300. Para ello se empleó una lámpara de cátodo hueco de calcio y se trabajó a una longitud de onda de 422,7 nm con una llama de aire-acetileno. La cuantificación de Ca^{+2} se realizó por triplicado. Las muestras fueron previamente digeridas.

Ensayos de compresión uniaxial

Las mediciones de textura fueron realizadas con un texturómetro Universal Testing Machine, modelo TATX2i, marca Stable MicroSystems.

Se realizaron ensayos de compresión uniaxial a las muestras de papa fresca, fresca congelada-descongelada y osmodehidrocongelada-descongelada a diferentes tiempos de almacenamiento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (15, 30, 60 y 90 días). Se empleó una celda de compresión de 50 kg, una sonda metálica punta de aguja de 36 mm, 0,5 mm de distancia y una velocidad de compresión de 0,8 mm/s sobre la muestra. Las mediciones se hicieron por decuplicado.

Análisis microbiológicos del producto de osmodehidrocongelado

Los análisis se realizaron en los días 0, 30, 60, 90 y 180 de almacenamiento (a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) en los cubos de papa osmodehidrocongelados envasados en los dos tipos de empaques. Los ensayos microbiológicos realizados fueron:

- Recuento de Aerobios mesófilos.

- Recuento de Coliformes Totales.
- Recuento de Hongos y Levaduras.
- Recuento de *Staphylococcus aureus coagulasa*.

En todos ellos el método empleado fue BAM-FDA-ICMSF (2000) Edición 2. Método 1.

Proceso congelación-descongelación

En el proceso de congelación se utilizó un túnel de congelación a escala piloto (Figura 2) con bandejas en su interior, el cual permite alcanzar condiciones operativas similares a las de la industria. Este equipo permite el registro de la temperatura colocando en el aire del túnel y en el centro térmico (centro de la bandeja y centro de los cubos) una termocupla. El coeficiente de transferencia calórico del equipo de congelación se halla en el rango de 20-23 $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las muestras (cubos de papas frescos y parcialmente deshidratados) fueron almacenadas a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 12 horas en recipientes plásticos cerrados, previamente al proceso de congelado, para equilibrar las concentraciones internas de agua y soluto. Posteriormente estas muestras, colocadas sobre bandejas de acero inoxidable perforadas, fueron congeladas en equipo piloto de congelación con circulación de aire a $-31.5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante este proceso, termocuplas de cobre-constantan conectadas a un adquisidor de datos, fueron ubicadas en el centro de cinco muestras procesadas por DO a presión de vacío y una termocupla fue posicionada dentro de la cámara del congelador para medir la temperatura del aire. La temperatura de las muestras y del medio fue registrada con intervalos de tiempo de 10 segundos y almacenada en la computadora. Al lograr la temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ se retiraron del equipo de congelación y fueron almacenadas en un *freezer* a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 90 días (3 meses). Se evaluaron las propiedades ópticas y mecánicas a los 0, 60, 90 días luego del proceso de congelación y descongelación. Se determinó el contenido de vitamina C y calcio luego de 90 días de almacenamiento en el *freezer* y luego del proceso de descongelación. El proceso de descongelación se realizó a temperatura constante de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 h, en frascos cerrados.

Los cubos de papa osmodehidrocongelado-descongelados luego de 180 días de almacenamiento y los cubos de papa fresca, fueron llevados a un proceso de cocción por un tiempo de 12 min a $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, y se determinó el contenido de vitamina C y calcio.



Fig. 2. Equipo para realizar la congelación de alimentos

Medidas del exudado del producto osmodehidrocongelado luego de su descongelación

Las muestras congeladas se colocaron sobre papel absorbente y se dejaron descongelar a temperatura constante durante 2h a 20°C. El sistema completo se mantuvo en frascos cerrados para minimizar las pérdidas por evaporación. Se registró el peso inicial, previo a la descongelación, de cada muestra (M_i), el peso del papel seco (w_0) y el peso del papel con el líquido de exudado (w_i). M_0 representa el peso de cada muestra previo al proceso de deshidratación.

Los resultados se expresan en gramos perdidos por exudado – *drip loss*– por gramo de producto final (1) y por gramo de producto fresco (2):

$$DL_M = \frac{w_i - w_0}{M_i} ; DL_{M_0} = \frac{w_i - w_0}{M_0} \quad (1) \quad (2)$$

Resultados

Análisis del contenido de vitamina C

En la Tabla 2 el contenido de vitamina C para la papa fresca sin tratamiento concuerda con lo reportado por diversos autores (Sinha et al., 2011; Lisinska y Leszczynski, 1989). Durante el tiempo de almacenamiento el contenido de vitamina C tiende a disminuir debido a su pérdida por oxidación (Lisiewska y Volden et al., 2009), pero el tipo de envasado puede ayudar a mejorar la retención de vitamina C. Las muestras envasadas en polietileno-poliamida-polietileno presentan una mayor retención de este nutriente respec-

to a las muestras envasada en polietileno. Este fenómeno es atribuible a una menor permeabilidad al aire y una mayor opacidad del material trilaminado que no permite que la luz catalice la reacción de oxidación de la vitamina C. Existen numerosos investigadores que estudiaron la retención de vitamina C durante el proceso de deshidratación osmótica (Asami et al., 2003; Nicoletti et al., 2004; Erenturk et al., 2005; Orikasa et al., 2008; Ramallo y Mascheroni, 2010).

Luego de todos los procesos a los que se la sometió a la papa: deshidratación osmótica, congelación, envasado en material trilaminado en atmósfera de vacío y almacenamiento en congelación a -18°C durante 90 días, el contenido de vitamina C de la papa fue de 269 ± 5 mg/100g, aproximadamente 14 veces superior al valor de la papa fresca sin tratamiento y sin almacenamiento y un 80% superior al de la papa sometida a los mismos tratamientos y envasada en polietileno. Estas diferencias evidencian la mejor protección del trilaminado que evita la oxidación de la vitamina C. Estas papas fueron posteriormente cocidas en agua a ebullición por 12 min a temperatura de 95 ± 5 °C. El contenido final de vitamina C fue de 33 ± 3 mg/100 g, un 65% mayor al contenido de la papa fresca sin tratamiento y sin almacenamiento. Estos resultados confirman la labilidad de la vitamina C que se degrada fácilmente con el calor y las grandes pérdidas en el agua producidas por su alta hidrosolubilidad.

Análisis del contenido de calcio

El análisis del contenido de calcio en los productos osmodehidrocongelados envasados en dife-

Muestra	Vitamina C (mg/100g)
Papa fresca (sin almacenamiento)	20 ± 5
ODC Polietileno (PE) 90 días	149 ± 10
ODC Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) 90 días	269 ± 5
Papa cocida luego de ODC (PE-AL-PE) 90 días	33 ± 3

Tabla 2. Contenido del ácido ascórbico (vitamina C) en muestras de papa fresca, osmodehidrocongelada (ODC) y envasada en dos tipos de empaque y en papa luego de su posterior cocción. Todas las muestras fueron almacenadas durante 90 días a -18 °C a excepción de la papa fresca.

Muestra	Calcio (mg/100g)
Papa fresca (sin almacenamiento)	5,1 ± 1
ODC Polietileno (PE) 90 días	131 ± 4
ODC Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) 90 días	175 ± 4
Papa cocida luego de ODC (PE-AL-PE) 90 días	28 ± 1

Tabla 3. Contenido de calcio en muestras de papa fresca, osmodehidrocongelada (ODC) y envasada en dos tipos de empaque y en papa luego de su posterior cocción. Todas las muestras fueron almacenadas durante 90 días a -18 °C a excepción de la papa fresca.

rentes tipos de envase y posterior cocción en comparación al producto fresco, se presenta en la Tabla 3. El tipo de envase influye en la conservación del contenido de calcio, el envasado en polietileno-aluminio-polietileno (PE-AL-PE) con atmósfera modificada, presenta un mayor contenido de calcio respecto del envasado en polietileno (PE). Además, los cubos de papa luego de los 90 días de almacenamiento en PE-AL-PE y posterior cocción muestran mayor concentración que la papa fresca, aproximadamente 6 veces mayor.

El tipo de material de envase conjuntamente con la atmósfera modificada reduce la pérdida de calcio, similar comportamiento demostró la vitamina C.

La cocción por inmersión en agua hirviendo produce una gran pérdida del contenido de calcio.

Análisis de los parámetros de textura en las muestras congeladas-descongeladas con y sin pretratamiento osmótico

Los resultados del ensayo de textura de los cubos de papa fresca, papa fresca congelada-descongelada y osmodehidrocongelada-descongelada, se muestran en las Figura 3.

La textura de la papa fresca ($F_0=100$ g.f) y la papa fresca congelada-descongelada, sin tratamiento ($F_0=38$ g.f) presenta diferencias significativas. Sin embargo, cuando las muestras se pretratan osmóticamente y se adiciona calcio, el proceso de congelación-descongelación afecta

en menor medida la textura de la papa. Para tiempos de almacenamiento menores se puede apreciar una mayor firmeza, a la que le corresponde una mayor fuerza de compresión uniaxial. El calcio preservó la textura ya que las paredes celulares de la papa poseen pectinas en su lamina media que provocan el entrecruzamiento de éstas con este mineral manteniendo la firmeza.

Determinación del producido de exudado

En la Figura 4 se presenta el exudado producido durante la descongelación de cubos de papa osmodehidrocongelados y envasados en polietileno (PE) y Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) almacenados durante 90 días en congelación y el exudado de la papa fresca congelada-descongelada sin tratamiento de DOPV. Todas las muestras pierden líquido durante el proceso de descongelación. Tanto durante la deshidratación osmótica como en la congelación se daña parcialmente la estructura del tejido de la papa.

En la descongelación la liberación de exudado es mayor en las muestras pretratadas por deshidratación osmótica que la papa fresca que conserva mejor su estructura pues sólo ha sido congelada. Además, la elevada concentración de azúcar en la superficie del tejido vegetal puede provocar una mayor migración de agua desde el interior del producto. Este comportamiento coincide con lo reportado por Marani et al. (2007) durante la descongelación de frutilla previamente sometida a deshidratación osmótica; Ramallo (2010) en la descongelación de ananá pretratado por deshidratación osmótica; Bianchi et al. (2011)

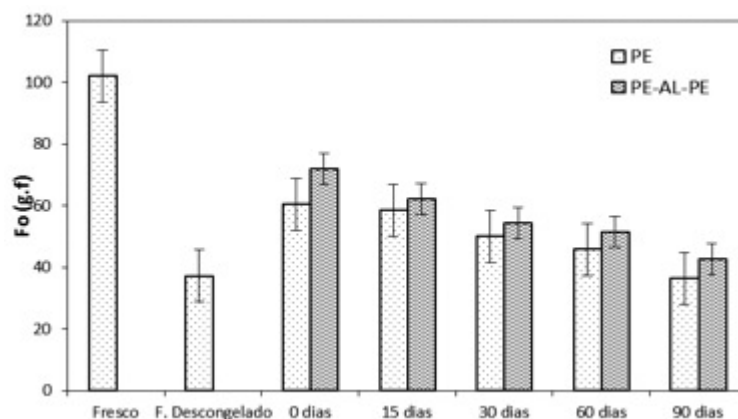


Fig. 3. Ensayos de textura en cubos de papa descongelados durante el almacenamiento, envasados en dos tipos de empaque respecto a la papa fresca.

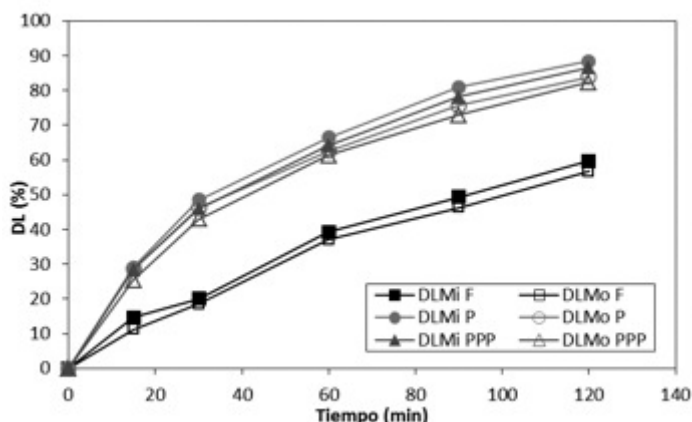


Fig. 4. Exudado producido durante la descongelación de cubos de papa osmodehidrocongelados luego de 90 días de almacenamiento envasados en dos tipos de empaque respecto a los cubos de papa fresca.

en peras, kiwis y melón descongelados tratados previamente por osmodeshidratación; Akbaba y Icier (1998) encontraron que la cantidad de exudado de frutillas envasadas cubiertas con azúcar cristalino fue mayor que en frutillas frescas.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos luego de los ensayos microbiológicos analizados a diferentes tiempos: 0, 30, 90 y 180 días para las papas osmodehidrocongeladas y envasadas en bolsas de polietileno y de polietileno-aluminio-polietileno en atmósfera modificada.

Los análisis microbiológicos realizados a las muestras en condiciones iniciales mostraron concentraciones de 150-350 UFC/g para hongos y levaduras, y <10 UFC para mesófilos, coliformes totales y *Staphylococcus aureus coagulasa* (+). Estos recuentos pueden considerarse como una carga microbiana relativamente baja. Es importante destacar que los recuentos microbianos en frutihortícolas pueden llegar a alcanzar 10⁷ UFC/g, si no se aplican las adecuadas prácticas

de poscosecha o de manufactura que contribuyen a minimizar el crecimiento microbiano (Trujillo et al., 2001).

Los hongos y las levaduras que pueden subsistir a actividades de agua (a_w) bastante más bajas que las bacterias, cercanas a 0,6, se hallaron al día cero. Sin embargo luego de los 30 días disminuyen en ambas condiciones de envasado. Luego de 180 días de almacenamiento a -18 °C, las muestras envasadas en diferentes condiciones, no presentaron contaminación apreciable por los microorganismos típicos (<10 UFC/g) independientemente del tipo de envasado. Por lo tanto podemos considerar que el producto se mantuvo estable frente al deterioro microbiano en el lapso de tiempo analizado. Similar comportamiento observaron Ceballos, (2005) en papaya; Torres (2006) en mango; Luna Guzmán y Barret (2000) en melón fresco cortado.

Análisis	Papa osmodehidrocongelado envasada en polietileno (PE)				Papa osmodehidrocongelado envasada en polietileno-aluminio-polietileno (PE - AL- PE)			
	0 días	30 días	90 días	180 días	0 días	30 días	90 días	180 días
Recuento de mesófilos	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g
Recuento de coliformes totales	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g
Recuento de hongos y levadura	350 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	150 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g
Recuento de <i>Staphylococcus aureus coagulasa</i>	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g

Tabla 4. Recuento microbiano en cubos de papa osmodehidrocongelados envasados en dos tipos de empaque durante su almacenamiento

Conclusiones

El producto envasado en polietileno-aluminio-polietileno con atmósfera modificada preservó mejor el contenido de calcio del alimento y por consiguiente el mismo presentó, luego del proceso de descongelación, un valor levemente mayor de firmeza respecto del envasado en polietileno.

El producto envasado en polietileno-aluminio-polietileno con atmósfera modificada presentó un mayor contenido de vitamina C luego de 90 días de almacenamiento ya que el material trilaminado es opaco e impide que la luz catalice la oxidación de la vitamina C. También evita el ingreso de O₂ hacia el interior del envase, dificultando la reacción de pardeamiento enzimático y la oxidación de la vitamina C.

La atmósfera modificada evitó el contacto con el O₂ impidiendo la oxidación de la vitamina C y las reacciones de pardeamiento en las superficies.

El CO₂ de la atmósfera modificada actúa como inhibidor de los microorganismos ya que la fase de adaptación y la de crecimiento se retrasan.

El producto se mantuvo estable microbiológicamente durante los 6 meses almacenados a -18 °C debido al uso de la atmósfera modificada, al agregado de lactato de calcio que reduce la actividad de agua del producto, a la impregnación con vitamina C que ayuda a disminuir el pH y al proceso de osmodehidrocongelación.

La deshidratación osmótica aplicada como una etapa previa a la congelación produce consecuencias favorables ya que permite la obtención de un producto hortícola fortificado, mejorando su calidad nutricional y sus características organolépticas como color y textura. Cabe resaltar, la ventaja de disminuir el tiempo necesario para la congelación del producto al reducir el contenido de humedad durante la deshidratación osmótica y lograr al final del proceso de osmodehidrocongelación un producto estable microbiológicamente.

Referencias

- AKBABA, H. y ICIER, F. (1998). Effect of sugar treatments on freezing of strawberries. Proceedings of Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain Commissions B2, C2 & D1-3. Sofia, Bulgarie. International Institute of Refrigeration, 6: 570-577.
- ASAMI, D. K., HONG, Y.J., BARRETT, D. M. y MITCHELL, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices. J. Agric. Food Chem. 51:1237-1241.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). (1996). Official Methods of Analysis, 12° Ed. AOAC, Washington, DC. pp. 829.
- BAMBICHA, R. R., MASCHERONI R. H., AGNELLI M. E. Deshidratación osmótica de kiwi (*actinidia chinensis* p.) En soluciones azucaradas con agregado de calcio. Cd vi Congreso argentino de ingeniería química - caiq2010, trabajo 1075 (2010).
- BIANCHI, M. (2010). Modelado y Simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- BIANCHI, M.; GUARNASCHELLI, A. y MILISENDA, P. (2011). Dehidrocongelación de frutas: estudio de los parámetros de calidad. Revista INVENIO. 26:117-123.

- BIANCHI, M.; MILISENDA, P.; GUARNASCHELLI, A.; ABECASIS, C. y MASCHERONI, R.H. (2008). Modelado y simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas. Publicado en actas del Congreso Americano de Tecnologías de Aire Acondicionado y Refrigeración 2008; Buenos Aires, 107-122.
- CEBALLOS, C.G. (2005). Estudios de papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, España.
- ERENTURK, S.; GULABOGLU, S. y GULTEKIN, S. (2005). The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *J. of Food Engineering*, 68: 513–518.
- GARCÍA-MÉNDEZ, A.D. y PRADERAS-CÁRDENAS, G.M. (2010). Influencia del cloruro de calcio y de un tipo de empaque sobre las propiedades físicoquímicas y la textura de la fresa (*Fragaria X Ananassa Duch.*) durante el almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol.63. N° 1. Pág. 8.
- GARCÍA MARTÍNEZ, E.; RUIZ DIAZ, G.; MARTÍNEZ MONZÓ, J.; CAMACHO, M.; MARTÍNEZ NAVARRETE, N. y CHIRALT, A. (2002). Jam manufacture with osmodehydrated fruit. *Food Research International*, 35: 301–306.
- GRAS, M.; VIDAL, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A. y FITO, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation. Interaction with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56: 279-284.
- HIRONAKA, K.; KIKUCHI, M.; KOAZE, H.; SATO, T.; KOJIMA, M.; YAMAMOTO, K.; YASUDA, K.; MORI, M. y TSUDA, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. *Food Chemistry* 127: 1114-1118.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (2005). Vegetables and vegetables products. In: ICMSF, *Microorganism in food 6: microbial ecology of food commodities*, 2° Edition. Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York.
- LISIEWSKA, Z. y KMIĘCIK, W. (1996). Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chemistry*, 57: 267–270.
- LISINSKA, G. y LESZCZYNSKI, W. (1989). *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science Publishers 391:164-178.
- LUNA GUZMAN, I. y BARRET, D.M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 61-72.
- MARANI, C.; AGNELLI, M. y MASCHERONI, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79: 1122–1130.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I. y SERRA, J.A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33: 609-616.
- NICOLETI, J.; SILVEIRA-JUNIOR, V.; TELIS-ROMERO, J. y TELIS, V. (2004). Ascorbic acid degradation during convective drying of persimmons with fixed temperature inside the fruit. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, São Paulo, Brazil, vol. C, 1836-1843.
- RAMALLO, L.A. (2001). Deshidratación osmótica de ananá: Un modelo matemático sencillo. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.
- RAMALLO, L.A. (2010 b). Estudio teórico y validación experimental de la dehidrocongelación de ananá. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- RAMALLO, L.A.; MASCHERONI R. H. (2010), Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 99, 269-275.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; TAKITO, S. y GÓMEZ, CORBARI J.E. (2010). Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kiwis mínimamente procesados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 30(Supl. 1):205-209.
- SINHA, N.; HUI, Y.H.; EVRANUZ, E.; SIDDIQ, M. y AHMED, J. (2011). *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Ed. Wiley-BlackWell.
- SPIAZZI, E.A. y MASCHERONI, R.H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables- I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34: 387-410.
- SPIAZZI, E.A.; RAGGIO, Z.I.; BIGNONE, K.A. y MASCHERONI, R.H. (1998). Experiments in dehydrofreezing of fruits and vegetables: Mass transfer and quality factors. *Advances in the refrigeration systems, International Institute of Refrigeration Proceeding Series*, 6: 401–408.
- TORRES, J.; TALENS, P.; ESCRICHE, I. y CHIRALT, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 74: 240–246.
- TRUJILLO, F.; LÓPEZ, S.; TAVERA, V.; TAPIA, M. S. y CAVA, R. (2001). Estudio de la estabilidad de melón mínimamente procesado por impregnación a vacío. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51: 173-179.
- VOLDEN, J.; BENGTSON, G.B. y WICLUND, T. (2009). Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea L. ssp. Botrytis*); effects of long-term freezer storage. *Food Chemistry* 112:967-976.
- WILLIAMS, M.; ANDERSON, D.E. y RAWSON, E. (2015). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. Editorial Paidotribio. ISBN 9788499105284. Pág. 848.