

50TCA. Caracterización de hidrogeles de alginato de sodio y pectina de bajo grado de metoxilación durante pre-tratamientos de deshidratación osmótica

Characterization of sodium alginate hydrogels and low methoxyl pectin during pre-treatments of osmotic dehydration

Soteras, M.¹; Gamboa-Santos, J.²; Campañone, L.^{2,3}.

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de San Luis. Ruta Prov. N° 55 (Ex. 148) Extremo Norte - (5730) Villa Mercedes, San Luis. Argentina.

² CIDCA (CONICET-CCT, CIC y Universidad Nacional de La Plata). 47 y 116 – (1900) La Plata. Argentina.
E-mail: jou_joule@hotmail.com

³ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería (UNLP), Calle 1 y 47, La Plata (1900), Argentina.

Resumen

En el presente trabajo se caracterizaron geles de alginato de sodio y pectina de bajo metoxilo empleados normalmente como recubrimientos y/o películas comestibles, durante tratamientos de deshidratación osmótica (DO). Se evaluaron diferentes condiciones operativas con el fin de minimizar el ingreso de solutos desde la solución osmótica (SG) y maximizar la pérdida de agua de las muestras hacia la solución (WL) para cada tipo de recubrimiento. Se utilizaron tres tipos de agentes osmóticos (sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina) a 40 y 60 °Brix (°Bx), durante 0,5; 1 y 2h, a 40 °C.

Los hidrogeles de alginato mostraron los mayores valores de WL (65,4–73,8%) durante los tratamientos con maltodextrina a 60 °Bx. Los valores de SG más bajos se obtuvieron para el tratamiento con maltodextrina a 40 °Bx. Sin embargo, la mayor relación WL/SG (4,9) se obtuvo después de 0,5 h utilizando jarabe de glucosa a 60 °Bx. En cuanto a los hidrogeles de pectina mostraron resultados similares a los obtenidos para alginato. Las mayores WL (69,9-74,8%), se obtuvieron para la condición 60°Bx-maltodextrina, mientras que los menores SG (12,7–15,1%) correspondieron al tratamiento 40 °Bx-maltodextrina. De acuerdo a los valores WL/SG obtenidos para pectina, el tratamiento más eficiente correspondió a la condición: maltodextrina, 40 °Bx, 1h.

Palabras clave: recubrimientos comestibles, efecto barrera, deshidratación osmótica.

Abstract

In the present work, sodium alginate and pectin gels normally used as coatings or edible films were characterized during osmotic dehydration (OD) treatments. Different operating conditions were evaluated in order to minimize the solid uptake (SG) from the osmotic solution to the sample and maximize the loss of water (WL) from the samples to the solution for each type of edible coating. Three osmotic agents (sucrose, glucose syrup and maltodextrin) were used at 40 and 60 °Brix (°Bx), during 0.5; 1 and 2h, by using a constant temperature of 40 °C.

The alginate coated samples showed the highest WL values (65.4-73.8%) during maltodextrin treatments, at 60 °Bx. The lowest SG values were obtained for maltodextrin treatments too, but at 40 °Bx. The highest WL/SG ratio (4.9) was obtained after 0.5 h using glucose syrup at 60 °Bx. The pectin gels showed similar results for WL and SG compared to those obtained for alginate coating. The highest WL (69.9-74.8%) were obtained for the 60°Bx-maltodextrin condition, while the lower SG (12.7-15.1%) corresponded to the 40°Bx-maltodextrin treatment. According to the WL/SG values obtained for pectin coatings, the most efficient treatment was reached with maltodextrin at 40 °Bx for 1h condition.

Keywords: edible coatings, barrier effect, osmotic dehydration.

1. Introducción

La deshidratación osmótica (DO) es uno de los tratamientos más utilizados durante el proceso de deshidratación de vegetales y frutas (Rastogi et al., 2014). Sin embargo, cuando los productos se someten a condiciones de DO enérgicas puede tener lugar una excesiva pérdida de constituyentes bioactivos hacia el medio osmótico y un considerable ingreso de solutos hacia la matriz vegetal (Khin et al., 2006). En el caso de la DO aplicada a frutas, los agentes osmóticos suelen ser azúcares que aportan dulzor y un elevado contenido energético cuando se impregnan en los productos de partida. Para evitar modificaciones significativas en la calidad nutritiva y sensorial de las frutas sometidas a DO, diferentes estudios han abordado el efecto barrera de materiales biodegradables utilizados como recubrimientos comestibles (Matuska et al., 2006; Jalae et al., 2011; Rodríguez et al., 2016).

Entre los recubrimientos comestibles más utilizados, el alginato de sodio (ALG) tiene la particularidad de formar geles resistentes en presencia de iones calcio (Camirand et al., 1992). Si bien una concentración baja de iones Ca^{+2} incrementa notablemente la viscosidad de las soluciones de alginato, debido a las interacciones entre macromoléculas de polisacáridos, la magnitud del efecto del Ca^{+2} depende de la composición en ácidos urónicos y del grado de polimerización del alginato. Por tanto, la viscosidad final de la solución difícilmente pueda predecirse y suele determinarse de forma experimental (Marcos et al., 2016). Los recubrimientos de ALG pueden, a su vez, asociarse a otros componentes de los alimentos como proteínas y derivados de celulosa o pectina (Comaposada et al., 2015).

El efecto barrera de recubrimientos de ALG aplicados a vegetales y frutas ha sido corroborado en varios estudios. Matuska et al. (2006) reportaron reducciones en el ingreso de sólidos superiores al 40% con buenos índices de eficiencia de deshidratación durante tratamientos DO (sacarosa 61,5 °Bx; 30 y 50 °C) en frutillas recubiertas con soluciones de alginato de sodio (0,5 y 1%) y cloruro de calcio (2%), gomas carragen y guar (0,5 y 1%). Lazarides et al. (2007) observaron reducciones en el contenido de sólidos final del orden del 25% a favor de muestras de papa recubiertas con alginato de sodio (0,5%) y cloruro de calcio (2%), comparadas con muestras sin recubrir y sometidas a tratamientos de DO (sacarosa 30-50 °Bx, 3h).

Otros estudios han evaluado la aplicación de pectina de bajo grado de metoxilación (PEC). Khin et al. (2006) observaron reducciones significativas en la incorporación de sólidos a temperaturas altas en papas sometidas a DO recubiertas con PEC (2%)

utilizando cloruro de calcio como agente de entrecruzamiento y cloruro de sodio (10, 14 y 18%) como agente osmótico (T: 25, 40 y 55 °C).

Aunque varios estudios han evaluado la aplicación de recubrimientos de ALG y PEC durante tratamientos de DO, no se han encontrado trabajos que caracterizaran la capacidad barrera de los hidrogeles por sí solos, sin interactuar con las matrices vegetales, cuando se los somete a tratamientos de DO y/o secado. En adición, no se ha determinado con claridad la contribución del hidrogel en la ganancia de sólidos totales que experimentan los productos sometidos a DO. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar geles de alginato de sodio y pectina de bajo grado de metoxilación, durante tratamientos de DO, evaluando diferentes condiciones operativas (sacarosa, jarabe de glucosa, maltodextrina; 40 y 60 °Bx; 40 °C; 0,5-2 h) con el fin de minimizar el ingreso de solutos desde la solución osmótica (SG) y maximizar la pérdida de agua de las muestras hacia la solución (WL) para cada tipo de recubrimiento.

2. Materiales y métodos

2.1 Preparación de recubrimientos

Los hidrogeles ALG se prepararon a partir de soluciones de alginato de sodio (2% p/p, Sigma Aldrich) y lactato de calcio (5% p/p, Sigma Aldrich). Los hidrogeles PEC, a partir de soluciones de pectina de bajo grado de metoxilación (3% p/p) y lactato de calcio (5% p/p, Sigma Aldrich). Se utilizaron placas de Petri plásticas (diámetro: 9 cm) para moldear los hidrogeles. Se cubrió la superficie de la placa con una fina película de alginato de sodio o pectina (según el caso) y luego se aplicó la solución de lactato de calcio con un rociador, en exceso, dejando actuar la mezcla por 5 min. Luego de escurrir los recubrimientos, descartando el exceso de lactato de calcio, los hidrogeles fueron secados con papel absorbente para eliminar excedentes de solución superficial.

2.2 Deshidratación osmótica de las muestras

Los hidrogeles, de alginato y pectina, fueron pesados ($9,53 \pm 0,27$ g) y deshidratadas osmóticamente por inmersión en soluciones osmóticas (sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina) durante 0,5, 1 y 2h a 40 y 60 °Brix (°Bx) a una temperatura controlada de 40 °C (relación muestra: solución, 1:10), con agitación a 100 rpm en shaker (TT400, Perca, Argentina). Condiciones similares de tratamiento fueron utilizadas por Mundada et al (2011) para ensayos de DO en frutas. Transcurrido el tiempo de tratamiento, se extrajeron las muestras escurriéndolas en mallas plásticas y lavándolas con agua destilada para remover restos de solución

osmótica superficial. Se secaron en papel absorbente y se registraron los pesos y la humedad. Todos los ensayos de DO se realizaron por triplicado.

Para calcular los parámetros característicos de la DO: pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG), se utilizaron las ecuaciones (1, 2 y 3).

$$WR = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (1)$$

donde WR indica la pérdida de peso porcentual durante la DO (%); m_i y m_f son la masa inicial y final de muestra, respectivamente (g).

$$WL = WC_0 - WC_{DO} * \left(1 - \frac{WR_{DO}}{100}\right) \quad (2)$$

donde WL indica la pérdida de agua durante la DO (%); WC_0 es el contenido inicial de humedad (g agua inicial/ g muestra inicial, %) ; WC_{DO} es el contenido de humedad luego del proceso de DO (g agua final/ g muestra final, %).

$$SG = TS_{DO} * \left(1 - \frac{WR_{DO}}{100}\right) - TS_0 \quad (3)$$

donde SG es la ganancia de sólidos respecto al contenido inicial (%); TS_0 es el contenido de sólidos totales iniciales (g sólidos inicial/ g muestra inicial ó $100 - WC_0$, %) y TS_{DO} es el contenido de sólidos totales tras la DO (g sólidos final/ g muestra final, %).

2.3 Determinación de humedad

El contenido de humedad inicial y final de las muestras se determinó mediante el método AOAC 934.06 (AOAC 1997).

2.4 Determinación de sólidos solubles

La determinación de sólidos solubles de las muestras frescas y deshidratadas osmóticamente se realizó con un refractómetro digital (Hanna Instruments Modelo HI96801, USA) que mide los °Bx sobre el extracto obtenido del prensado y filtrado de las muestras, a temperatura ambiente. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

3. Resultados y Discusión

La **Figura 1** muestra, los hidrogeles de ALG (izquierda) y PEC (derecha) obtenidos tras los tratamientos de DO con maltodextrina a 60 °Bx a todos los tiempos ensayados: 0,5; 1 y 2h. Independientemente del tratamiento de DO aplicado, se observó una mejora en la firmeza de las muestras

después del procesamiento. La DO mejoraría la textura de las muestras debido a una doble concentración: por un lado se pierde agua y por el otro se incorporan sólidos (Jalae et al., 2011).

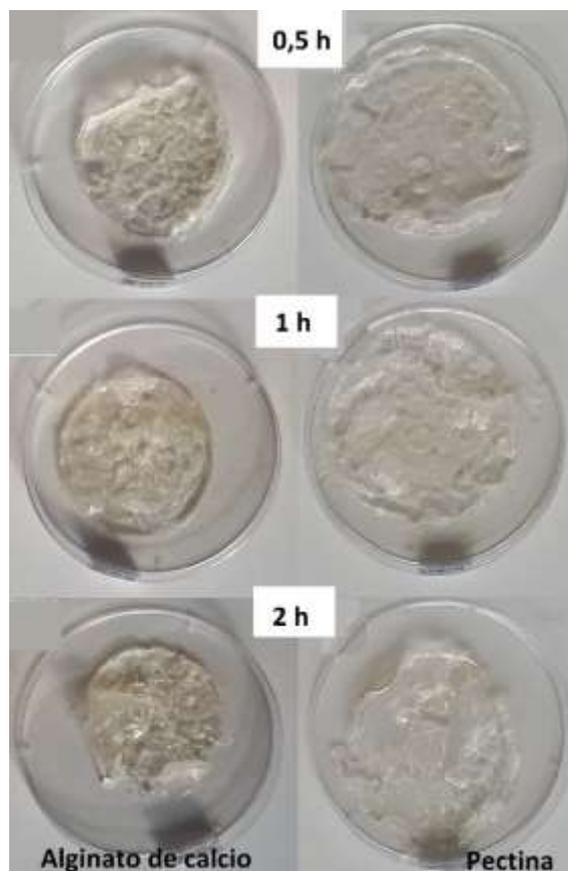


Figura 1. Fotografías de hidrogeles de alginato de calcio y pectina, sometidos a tratamientos de DO con maltodextrina (60 °Bx), a diferentes tiempos: 0,5; 1 y 2 h.

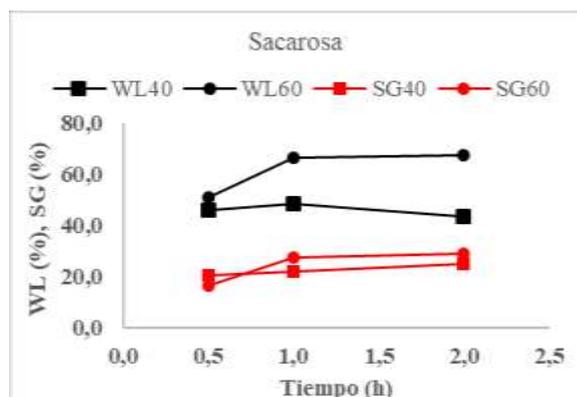
De las muestras analizadas, los geles ALG se mostraron más firmes que los PEC. Al inicio de los tratamientos de DO ya se había observado un menor espesor en los geles PEC respecto de ALG, probablemente debido a la estructura del hidrocoloide, ya que los hidrogeles de alginato son más ordenados que los de pectina (Galus & Lenart, 2013) y a la menor concentración de solución (3% para PEC frente a 5% de ALG). Al finalizar los tratamientos de DO los recubrimientos PEC se mostraron más blandos, frágiles y quebradizos, comparados con los geles ALG (**Figura 1**). Sin embargo, se observó un menor encogimiento durante el tratamiento de DO para PEC (mayor diámetro final) y una apariencia más translúcida.

3.1 Parámetros característicos de DO para ALG

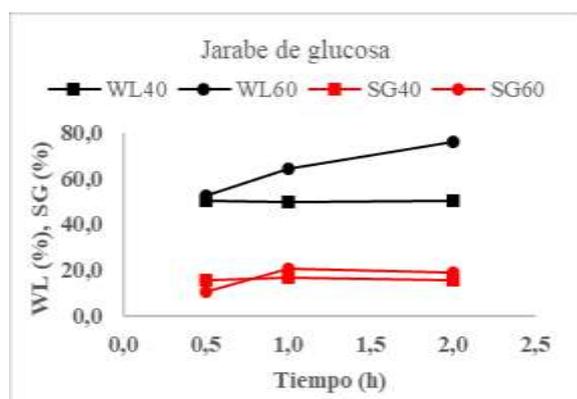
Las pérdidas de peso (WR) de los hidrogeles ALG, sometidos a DO se encontraron en el rango 18,7-25,7% para sacarosa, 33,0-34,7% para jarabe de glucosa y 34,4-36,7% para maltodextrina, a

concentraciones de 40 °Bx. Por otra parte, se obtuvieron pérdidas de peso más altas para la condición 60 °Bx: 34,5-38,9% sacarosa; 41,8-57,1% jarabe de glucosa y 48,0-51,3% maltodextrina.

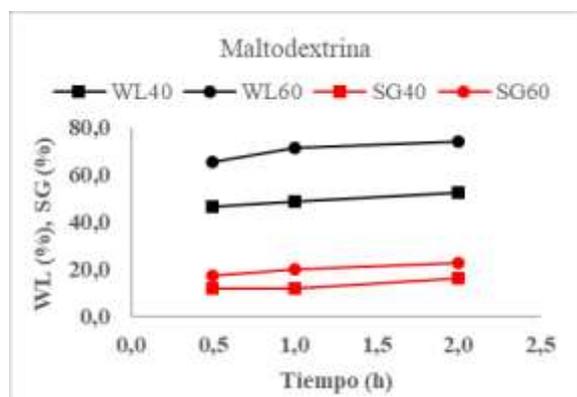
En la **Figura 2** se representan los valores WL y SG para los agentes osmóticos utilizados en el presente trabajo: sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina, a 40 y 60 °Bx, en función del tiempo de tratamiento (0,5; 1 y 2h).



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Parámetros de DO en función del tiempo de tratamiento para hidrogeles de alginato de calcio sometidos a soluciones osmóticas de (a) sacarosa, (b) jarabe de glucosa y (c) maltodextrina. WL40: pérdida de

agua para condición 40 °Bx; WL60: pérdida de agua a 60 °Bx, SG40: ganancia de sólidos a 40 °Bx y SG60: ganancia de sólidos a 60 °Bx.

En la mayoría de los casos, las muestras sometidas a concentraciones de 60 °Bx, independientemente del agente osmótico utilizado, presentaron las mayores pérdidas de agua (WL) y ganancia de sólidos solubles (SG). Los recubrimientos ALG sometidos a soluciones de sacarosa y jarabe de glucosa experimentaron pérdidas de agua similares durante los primeros 30 min de tratamiento. A partir de la hora de tratamiento, las muestras sometidas a 60 °Bx, experimentaron un incremento significativo en los valores de WL (9, 23 y 29% para maltodextrina, jarabe de glucosa y sacarosa, respectivamente) respecto de las pérdidas de agua obtenidas durante la primera media hora de tratamiento. Este comportamiento se explicaría por la diferencia de potencial químico entre la muestra y la solución osmótica en las etapas iniciales, alcanzando posteriormente un equilibrio químico. [Rodríguez et al. \(2016\)](#) observaron los mayores cambios en los parámetros SG y WL durante la primera media hora de tratamiento DO (sacarosa y glucosa, 40 y 60 °Bx) en muestras de calabaza recubiertas con ALG (1%) y cloruro de calcio (10%). El aumento en la concentración de solución osmótica, de 40 a 60 °Bx, dio lugar a un significativo incremento en los valores de WL, después de la hora de tratamiento, para sacarosa y jarabe de glucosa y desde el inicio para maltodextrina. Esto supone una mejor performance del tratamiento DO a concentraciones de 60 °Bx (>WL/SG ratio, ver **Tabla I**). En general, los mayores valores de WL se obtuvieron para los tratamientos con maltodextrina a 60 °Bx (65,4; 71,5 y 73,8%). Por el contrario, las menores pérdidas de agua, se obtuvieron con la condición sacarosa 40 °Bx (43,5-48,6%). Diversos estudios han señalado una mejora en la eficiencia de la DO cuando se utilizan concentraciones elevadas de solución osmótica ([Khin et al., 2006](#); [Jalaei et al., 2011](#); [Djendoubi Mrad et al., 2013](#); [Rodríguez et al., 2016](#)). Con respecto a los valores de SG, la utilización de sacarosa 60 °Bx dio lugar a los valores más altos, en el rango 16,8-29,1%. Los valores más bajos, para dicho indicador, se obtuvieron mediante la condición maltodextrina 40 °Bx y se encontraron en el rango 11,7-16,1%.

La relación WL/SG para todos los tratamientos realizados con hidrogeles de ALG se lista en la **Tabla I**. Obsérvese que los mayores valores obtenidos para este parámetro, llamado índice de eficiencia de DO, se obtuvieron para la condición jarabe de glucosa 60 °Bx, durante la primera media hora de tratamiento, seguida de las condiciones 40 y 60 °Bx de maltodextrina (0,5 y 1h). No obstante, independientemente del agente osmótico utilizado, se observa una mayor WL/SG a tiempos cortos de

tratamiento (0,5h). Esto supone una significativa reducción en los tiempos de tratamiento utilizando los agentes osmóticos y las concentraciones evaluadas en este trabajo. [Rodríguez et al. \(2016\)](#) realizaron la misma observación en su trabajo con bastoncitos de calabaza sometidos a tratamientos DO en soluciones de glucosa y sacarosa (40 y 60 °Bx).

Tabla I. Relación WL/SG para hidrogeles de alginato de calcio sometidos a diferentes condiciones de tratamiento.

Agente osmótico		WL/SG* (Promedio ± DE)		
		0,5h	1h	2h
40 °Bx	Sacarosa	2,3±0,1	2,2±0,3	1,8±0,0
	J. Glucosa	3,2±0,1	3,0±0,1	3,2±0,1
	Maltodextrina	3,9±0,0	4,1±0,5	3,3±0,9
60 °Bx	Sacarosa	3,1±0,3	2,4±0,2	2,3±0,1
	J. Glucosa	4,9±0,6	3,1±0,3	4,1±0,7
	Maltodextrina	3,8±0,3	3,6±0,4	3,4±1,0

*WL/SG: relación pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) durante tratamientos de deshidratación osmótica (DO).

3.2 Parámetros característicos de DO para PEC

Los mayores valores de WR obtenidos para las muestras PEC sometidas a procesamiento a 40 °Bx y 60 °Bx, correspondieron a la condición maltodextrina: 41,4-46,1%, para 40 °Bx y 51,3-54,9%, para 60 °Bx. Por tanto, la tendencia fue similar a la obtenida para las muestras ALG. Los menores rangos para PEC, se encontraron entre 20,7 y 25,3% y correspondieron a la condición sacarosa-40 °Bx. Los valores de WR obtenidos para sacarosa, al incrementar la concentración de 40 a 60 °Bx, se encontraron en el rango 35,1-46,1%. Finalmente, la utilización de jarabe de glucosa a 40 °Bx produjo pérdidas de peso comprendidas entre 29,6 y 34,6%, mientras, a 60 °Bx, el rango de valores fue considerablemente superior (47,5-51,0%).

En la **Figura 3** se observan los resultados de WL y SG, obtenidos para recubrimientos de PEC sometidos a diferentes condiciones de tratamiento DO. Tal como sucedía para los geles ALG, las concentraciones más altas de solución osmótica (60 °Bx) dieron lugar a los mayores valores de WL y SG. Sin embargo, a diferencia de lo observado para ALG, los parámetros característicos de la DO se mantuvieron constantes en el tiempo (de 0,5 a 2h). En general, se obtuvieron valores de WL en el amplio rango de 39,4-61,7%, para 40 °Bx y en el estrecho rango de 68,1-74,8%, para 60 °Bx. Esto sugiere que las concentraciones osmóticas elevadas podrían influenciar significativamente al parámetro WL, incluso más que el tipo de agente osmótico utilizado o el tiempo de tratamiento. Los resultados obtenidos en este trabajo son del orden de los publicados por [Jalae et al. \(2011\)](#) quienes obtuvieron pérdidas de agua >60% y ganancia de

sólidos >40% al aplicar tratamientos de DO (sacarosa 60 °Bx, 30 °C, tiempo>100 min) a muestras de manzana recubiertas con pectina de bajo grado de metoxilación.

La utilización de soluciones osmóticas más concentradas, 60 °Bx, produjo un incremento significativo en WL: en el rango 48,3-72,8%, para sacarosa; 36,4-52,8% para jarabe de glucosa y 22,2-28,0% para maltodextrina, comparado con la aplicación de dichas soluciones a 40 °Bx. Con respecto a SG, mientras a 40 °Bx se observaron valores en el rango 12,7-23,7%, a 60 °Bx fueron de 18,0 a 32,8%.

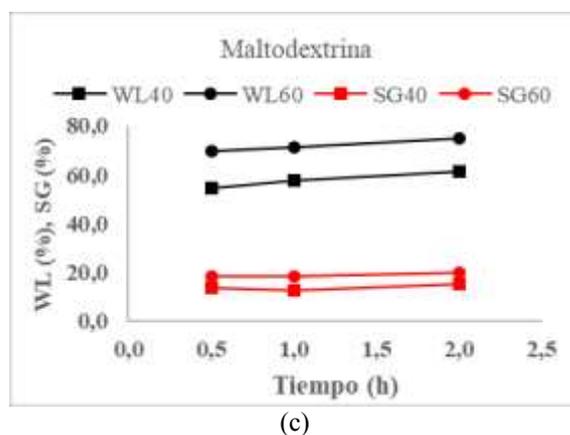
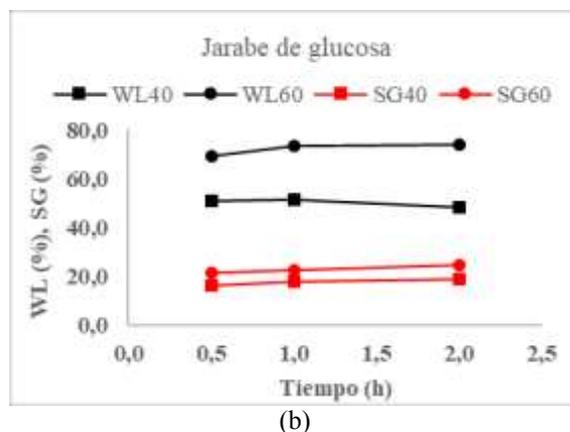
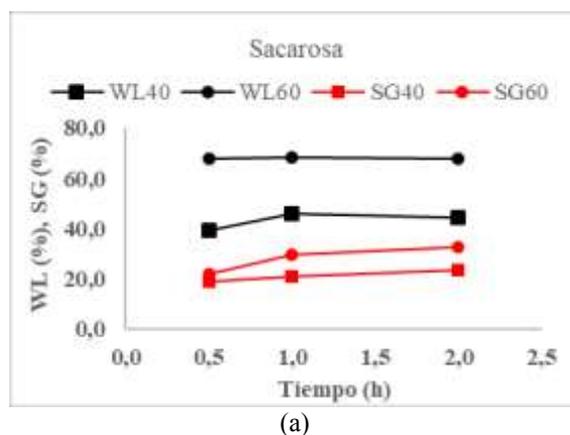


Figura 3. Parámetros de DO en función del tiempo de tratamiento para hidrogeles de pectina sometidos a soluciones osmóticas de (a) sacarosa, (b) jarabe de glucosa y (c) maltodextrina. WL40: pérdida de agua a 40 °Bx; WL60: pérdida de agua a 60 °Bx, SG40: ganancia de sólidos a 40 °Bx y SG60: ganancia de sólidos a 60 °Bx.

Dado que el salto en WL fue más notorio que la diferencia en SG, al incrementarse la concentración de las soluciones osmóticas de 40 a 60 °Bx, podría esperarse que los tratamientos que utilizaron soluciones más concentradas experimentaran una mejor relación WL/SG que aquellos que se sometieron a concentraciones menores. Esto se comprueba, parcialmente, en la **Tabla II**. Los mejores ratios WL/SG obtenidos para PEC correspondieron a la condición maltodextrina-40 °Bx (0,5-2 h), seguida de las condiciones equivalentes a 60 °Bx. En el resto de los casos, para cada tiempo y agente osmótico, los valores WL/SG obtenidos a 60 °Bx superaron a sus pares de 40 °Bx. El efecto de la maltodextrina sobre los parámetros WL y SG se explicaría por la mayor presión osmótica que genera un soluto de mayor peso molecular. [Raoult-Wack et al. \(1991\)](#) estudiaron el efecto de la pérdida de peso y la ganancia de sólidos en geles de agar y encontraron que WL aumentó de 50 a 85% y SG disminuyó de 50 a 0,5% después de 3h de tratamiento DO cuando el peso molecular del soluto aumentó de 87 a 20,000 dalton.

Tabla II. Relación WL/SG para recubrimientos de pectina sometidos a diferentes condiciones de tratamiento.

Agente osmótico		WL/SG* (Promedio ± DE)		
		0,5h	1h	2h
40 °Bx	Sacarosa	2,1±0,3	2,2±0,1	1,9±0,2
	J. Glucosa	3,2±0,0	2,9±0,1	2,6±0,2
	Maltodextrina	4,1±0,5	4,5±0,1	4,1±0,2
60 °Bx	Sacarosa	3,1±0,3	2,3±0,1	2,1±0,1
	J. Glucosa	3,2±0,5	3,3±0,1	3,0±0,1
	Maltodextrina	3,8±0,3	4,0±0,2	3,8±0,8

*WL/SG: relación pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) durante tratamientos de deshidratación osmótica (DO).

4. Conclusiones

En este trabajo se caracterizaron geles de alginato de sodio y pectina, utilizando lactato de calcio como agente de entrecruzamiento, durante tratamientos de DO. Se utilizaron sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina como agentes osmóticos, a concentraciones de 40 y 60 °Bx, durante 0,5 a 2h de tratamiento. De las condiciones ensayadas se pudo observar que ambos hidrogeles generaron un mecanismo de saturación rápida, con respecto a la SG, para los diferentes agentes osmóticos utilizados y que la maltodextrina fue el agente osmótico que produjo las mayores pérdidas de peso a 40 y 60 °Bx. Con respecto a la pérdida de humedad, la

maltodextrina a 60 °Bx produjo los valores más altos para ALG (74%) y PEC (75%). Asimismo, la condición maltodextrina-40 °Bx dio lugar a las menores ganancias de sólidos para ALG (16%) y PEC (24%). Respecto de la relación WL/SG, las condiciones maltodextrina a 40 y 60 °Bx, produjeron los valores más altos tanto para ALG como para PEC. Los resultados obtenidos aquí sugieren que la maltodextrina es un agente osmótico útil para incrementar la eficiencia de la DO cuando se utilizan hidrogeles de alginato de sodio y pectina como recubrimientos comestibles, reduciendo el ingreso de sólidos sin afectar la pérdida de humedad.

5. Referencias

- AOAC. 1997. Method 934.06. En: Helrich K. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15va ed. Vol. 1. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
- Camirand, W.; Krochta, J.M.; Pavlath, A.E.; Wong, D. & Cole, M.E. 1992. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers* 17, 39-49.
- Comaposada, J.; Gou, P.; Marcos, B. & Arnau, J. 2015. Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. *LWT-Food Science and Technology* 64: 212-219.
- Djendoubi Mrad, N., Boudhrioua Mihoubi, N., Kechaou, N., Courtois, F., & Bonazzi, C. (2013). Effect of Osmo-dehydration Conditions on the Quality Attributes of Pears. *Food Processing and Technology*, 4(8), 4-9. <http://doi.org/10.4172/2157-7110.1000256>
- Galus, S. & Lenart, A., 2013. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*, 115(4), pp.459-465. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006>
- Jalae F, Fazeli A, Fatemian H, Tavakolipour H. 2011. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 367-374.
- Khin MM, Zhou W, Perera CO. 2006. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77: 84-95.
- Lazarides. H.N.; Mitrakas, G.E.; Matsos, K.I. 2007. Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solid uptake during osmotic

- dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering* 82, 171-177.
- Marcos, B.; Gou, P.; Arnau, J. & Comaposada, J. 2016. Influence of processing conditions on the properties of alginate solutions and wet edible calcium alginate coatings. *LWT-Food Science and Technology* 74, 271-279.
- Matuska M, Lenart A, Lazarides HN. 2006. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72: 85-91.
- Mundada M, Hathan BS, Maske S. 2011. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. *Journal of Food Science*, 75: 31-39.
- Raoult-Wack, A.L., Guilbert, S. & LeMaguer, M., 1991. Simultaneous water and solute transport in shrinking media, *Applications of Osmotic dehydration. Drying Technology An International Journal*, 9, pp.589–612.
- Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Niranjana K. 2014. Recent developments in Osmotic Dehydration (Chapter 11). En: *Emerging Technologies for Food Processing* (2nd Ed). London: Academic Press. pag 181-212.
- Rodriguez, A.; García, M.A. & Campañone, L. 2016. Experimental study of the application of edible coatings in pumpkin sticks submitted to osmotic dehydration. *Drying Technology*, 34 (6): 635-644.