



Agroindustrial Science

Agroind Sci 2 (2013)

Escuela de Ingeniería
Agroindustrial

Universidad Nacional de Trujillo

Deshidratación osmótica de olluco (*Ullucus tuberosus*) con y sin recubrimiento a diferentes concentraciones de cloruro de sodio y sacarosa

Osmotic dehydration of olluco (*Ullucus tuberosus*) with and without coating at different concentrations of sodium chloride and sucrose

Victor Aredo*, Ana Arteaga, Ckristhian Benites, Diego Gamboa, Wagner Gerónimo, Deiner Ibáñez, Marcela Meléndez, Lía Velásquez

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú

Recibido 10 octubre 2013. Aceptado 5 de diciembre 2013.

RESUMEN

Se evaluó el rendimiento de dos tipos de recubrimientos (almidón y pectina) en términos de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del olluco; a la vez se determinó la mejor concentración de cloruro de sodio y sacarosa para el proceso a temperatura ambiente (22°C). Para este fin se aplicó un diseño de mezclas Simplex con Centroide Ampliado. Se utilizaron láminas de olluco de 0,5 cm de espesor. Se evaluaron el porcentaje de humedad y ganancia de sólidos para diferentes tiempos durante 48 horas. Haciendo uso del modelo de Crank se determinó la difusividad efectiva del agua y de los sólidos. Se determinó que el recubrimiento con pectina genera menor ganancia de sólidos y menor deshidratación en comparación con las muestras sin recubrimiento y con recubrimiento de almidón, las que tuvieron similar comportamiento; se encontró también que las soluciones con mayor contenido de sal respecto a la sacarosa, deshidratan en mayor proporción sin embargo generaron mayor ganancia de sólidos. Las difusividades efectivas promedio encontradas para el agua fueron: $8,09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ con recubrimiento de pectina, $9,69 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ con recubrimiento de almidón y $9,72 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras sin recubrimiento; para los sólidos, $6,96 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ con recubrimiento de pectina, $8,31 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ con recubrimiento de almidón y $8,33 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras sin recubrimiento.

Palabras clave: olluco, cobertura, deshidratación osmótica, almidón, pectina.

ABSTRACT

The performance of two kinds of coating (starch and pectin) in terms of mass transfer during osmotic dehydration olluco was evaluated; at once determined the best concentration of sodium chloride and sucrose with or without cover for the process in ambient temperature (22°C). For this purpose a design applied with Centroid Simplex Expanded mixtures. Olluco sheets were used for 0.5 cm thick. The percentage of moisture and solid gain were evaluated for different times during 48 hours. Using Crank model the effective diffusivity of water and solids were determined. It was determined that the pectin cover generated minor solids increase and minor dehydration in compare with the others treatments, these were similar behavior, also was found the solution of more contained salt produced more solids increase, while that solutions of more contained of sugar dehydrated in more proportion. The average effective diffusivities found for the water were: $8.09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ coated pectin, $9.69 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ coated starch and $9.72 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ for uncoated samples; for solids, $6.96 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ for coated pectin, and $8.31 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ for coated starch, and $8.33 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ for uncoated samples.

Keywords: olluco, coating, osmotic dehydration, starch, pectin.

1. Introducción

Frente a la crisis de producción de alimentos y de su transporte, es imperioso volver la mirada a nuestros propios recursos. Los tubérculos andinos son una fuente importante de calorías por su alto porcentaje de carbohidratos, y también

aportan fibra y proteínas, dentro de ellos el olluco se diferencia por tener niveles de vitamina A de Fe mayores a otros tubérculos como la papa y la oca (King y Gershoff, 1987).

Debido a su succulencia y cutícula no suberizada, el olluco se seca o pudre

* Autor para correspondencia
Email: vj.aredo@gmail.com (V. Aredo)

fácilmente, y se ausenta del mercado por unos dos o tres meses (Tupac, 2004), siendo los problemas más comunes en el almacenamiento: la deshidratación, brotamiento, formación de cavidades, pudrición y la infestación de gorgojo y otros insectos (Alcázar *et al.*, 2004; Ames, 2004).

El procesamiento del olluco para darle un valor agregado podría garantizar una mejor conservación y un acceso a nuevos mercados (Repo y Kameko, 2004). El secado convectivo es uno de los métodos más usados para producir y preservar alimentos, sin embargo aplicar la deshidratación osmótica (DO) como una etapa intermedia en el secado es ventajoso porque disminuye la pérdida de nutrientes sensibles (Aredo *et al.*, 2012), también previene la pérdida de sabor y daño de tejidos, mejora la retención del color, textura y sabor que en secado térmico (Azuará *et al.*, 1998) a la vez que este método de procesamiento mínimo genera un menor costo operacional (Masseo *et al.*, 2006) porque generalmente no se usan temperaturas altas y las soluciones osmóticas pueden ser reutilizadas en el proceso (Moyano y Zuniga, 2003). Con excepción de los productos de confitería, la penetración de solutos en el alimento genera un problema importante en la DO, y por eso en la actualidad se investiga la aplicación de materiales de revestimiento buscando las siguientes características: buenas propiedades mecánicas, propiedades sensoriales satisfactorias, formación de película fácil y rápida, alta difusividad del agua y limitar la penetración de soluto por el tejido (Camirand *et al.*, 1992 y Khin *et al.*, 2005).

Entre las películas comestibles de común uso están la pectina de bajo metoxilo debido a su capacidad para formar geles fuertes y el almidón, (Lević *et al.*, 2008; Ferrari *et al.*, 2013). Este trabajo busca aplicar D.O. usando diferentes concentraciones de sacarosa y

cloruro de sodio a láminas de olluco con y sin previo recubrimiento de almidón y pectina, para evaluar el rendimiento de las coberturas en la pérdida de agua y ganancia de sólidos así también determinar la proporción correcta de los agentes osmóticos para optimizar el proceso de osmodeshidratación.

2. Materiales y métodos

Deshidratación osmótica

Se adquirió olluco (*Ullucus tuberosus*) variedad Ckello chuccha proveniente del distrito de Otuzco (La Libertad), libre de daños mecánicos y fitosanitarios. Se seleccionaron considerando criterios de homogeneidad en las características de color, apariencia y tamaño; se lavó con abundante agua para eliminar la tierra impregnada. Se escaldaron a 60°C durante 20 s para ablandar los tejidos e inactivar enzimas responsables del pardeamiento. Luego fueron cortados con la ayuda de un molde laminar para obtener láminas de 0,5 cm de espesor; para el recubrimiento se prepararon dos tipos de hidrocoloides en disolución al 2% consistente en almidón nativo comercial de maíz (marca “Maizena”; pectina cítrica comercial de bajo metoxilo (marca “Dropaksa”).

Las láminas fueron separadas en tres grupos de 180 láminas. Se sumergió a un grupo de 180 láminas en una solución de pectina al 2% y a otro grupo en una solución de almidón al 2%, ambos por 30 segundos. Al tercer grupo no se le aplicó cubierta. A continuación, las muestras con recubrimiento fueron sumergidas en una solución de cloruro de calcio al 1% con el fin de tener una mejor fijación de coberturas (Arroyo *et al.*, 2010). Luego del tratamiento las muestras fueron secadas por 30 min a temperatura ambiente y 30 min adicionales a 40 °C en la estufa para permitir la solidificación de las cubiertas. Las muestras fueron sometidas a deshidratación osmótica a

temperatura ambiente (22°C) en soluciones de cinco litros de volumen para cada tratamiento consistentes en diferentes combinaciones de sacarosa, cloruro de sodio y agua (Tabla 2). Se hicieron tres repeticiones de cada tratamiento, las cuales fueron retiradas de las soluciones después de 20 min, 40 min, 1 h, 2 h, 5 h, 48 h para determinar la difusividad efectiva del agua y sólidos.

Cálculos cinéticos

Humedad (%) y ganancia de sólidos (%): se determinaron por el método de estufa hasta masa constante (AOAC, 1995), aplicándose la ec. (1) para la humedad, y la ec. (2) para la ganancia de sólidos.

$$\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

$$GS(\%) = \left(\frac{Ms_t - Ms_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde %H: Porcentaje de humedad; M_1 : masa de muestra (g); M_2 : masa de muestra seca (g); M_0 : masa inicial de la muestra (g); Ms_0 : masa seca inicial (g); y Ms_t : masa seca del producto en un tiempo t (g).

Difusividad efectiva: Se determinó mediante el modelo de Crank en la solución de la ley de Fick para lámina semi-infinita en volumen de solución osmótica muy grande (ec. 3-7) (Crank, 1975).

Tiempos elevados:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8}{\pi^2(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 Fo}{4} \right] \quad (3)$$

$$Fo = \frac{D_e t}{l^2} \quad (4)$$

Si $Fo > 0.20$

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 Fo}{4} \right] \quad (5)$$

Tiempos cortos:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 2(Fo)^{0.5} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \text{ferc} \left(\frac{n}{Fo} \right) \right] \quad (6)$$

Si $Fo > 0.20$

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 2 \sqrt{\frac{Fo}{\pi}} \quad (7)$$

Donde M_0^j : masa total inicial (g); M_t^j : masa total a un tiempo t (g); M_∞^j : masa total en el equilibrio (g); Fo : número de Fourier; D_e : difusividad efectiva; t : tiempo de secado; l : espesor del material que se seca y ferc : integral de la función complementaria.

Diseño Estadístico

Se utilizó el Diseño Simplex con Centroide Ampliado que corresponde a un diseño de mezclas de la metodología de superficie respuesta (Thompson y Miers, 1968). El diseño corresponde a un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezcla, que para el caso de la deshidratación osmótica de láminas de olluco con y sin recubrimiento existen restricciones para cada componente siendo para el cloruro de sodio un rango que va de 0,25% al 30% al igual que la sacarosa, y de 67,5% a 95% para el agua. Son diez los tratamientos que resultaron de la aplicación de este diseño cada cual con una combinación determinada de cada componente.

El análisis estadístico realizado para evaluar el porcentaje de ganancia de sólidos y porcentaje de humedad (Tabla 2) consistió en determinar los coeficientes de regresión para los modelos lineal, cuadrático y cúbico respectivamente, y el análisis de varianza ($\alpha=0,05$), para cada uno de los modelos que sirvió para elegir el modelo más significativo y con mejor ajuste con el cual se construyó las superficies de respuesta correspondientes. El análisis se realizó con el programa Statistica for Windows Software, versión 6.0 (Statsoft USA, 2004).

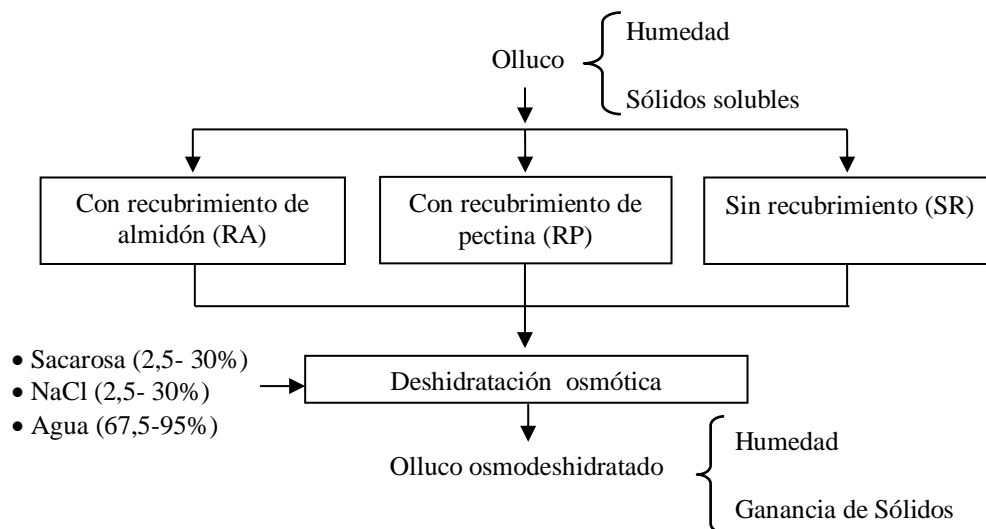


Figura 1. Esquema experimental para la deshidratación osmótica del olluco.

3. Resultados y discusión

Caracterización del olluco

En la Tabla 1 se muestran algunas características fisicoquímicas del olluco variedad Ckello chuccha determinadas en esta investigación.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del olluco

Característica	Valores
Humedad (%)	90,67 ± 0,07
Sólidos Solubles (°Brix)	3,12 ± 0,02
pH	5,9 ± 0,1

*resultados promedio de tres repeticiones.

La humedad del olluco detectada de (90,67%) representa un valor elevado en comparación con lo obtenido por Ayala (2004) de 83,7% de humedad; sin embargo Surco (2004) reportó como promedio un valor de 85,9% de humedad, así como también King y Gershoff (1987) mencionaron que el contenido de humedad del olluco varía entre 86% y 86,2% siendo valores que son más cercanos a lo obtenido; cabe mencionar que, la variación en el contenido de sus componentes químicos es muy grande ya que depende de la variedad y la zona de cultivo de este tubérculo (Álvarez y Repo, 1999).

Humedad y sólidos después de la deshidratación osmótica

En la Tabla 2 se pueden observar los valores de humedad y ganancia de sólidos en cada tratamiento, para muestras de olluco RA, RP y SR. Las muestras RA y SR presentaron similar humedad y similar ganancia de sólidos las que fueron mayor y menor respectivamente en referencia a la humedad y ganancia de sólidos de las muestras RP en todos los tratamientos; acerca de la composición de cada solución osmótica se puede notar al comparar los tratamientos T2, T3 y T6 (contienen la misma proporción de agua en la solución) que se obtiene una menor humedad y una regular ganancia de sólidos utilizando las mismas cantidades de soluto (T6), mientras que cuando predomina el NaCl la ganancia de sólidos es máxima (T3), y cuando predomina la sacarosa existe una menor ganancia de sólidos sin embargo la humedad alcanzada es superior (T2) situación que es similar a los pares de tratamientos T4 y T5, T9 y T10. Lo mencionado podría ocurrir porque la sacarosa limita la entrada de iones de NaCl al alimento (Lenart y Flink, 1984).

Tabla 2. Humedad, ganancia de sólidos en muestras de olluco con y sin cobertura de pectina y almidón tras la deshidratación osmótica

N°	Sacarosa	NaCl	Agua	Recubrimiento				Sin Rec.	
				Almidón		Pectina		%H	%GS
				%H	%GS	%H	%GS		
T ₁	0,0250	0,0250	0,9500	82,56	1,10	83,37	0,73	82,52	1,13
T ₂	0,3000	0,0250	0,6750	68,15	6,89	70,28	5,73	68,08	6,93
T ₃	0,0250	0,3000	0,6750	64,79	12,13	67,02	10,85	64,78	12,15
T ₄	0,1625	0,0250	0,8125	74,89	4,81	76,51	4,15	74,77	4,88
T ₅	0,0250	0,1625	0,8125	72,24	8,46	73,84	7,19	72,24	8,53
T ₆	0,1625	0,1625	0,6750	63,76	10,44	66,02	9,19	63,72	10,50
T ₇	0,1167	0,1167	0,7667	69,85	8,73	71,45	7,47	69,65	8,81
T ₈	0,0708	0,0708	0,8583	75,30	5,41	77,35	4,57	75,29	5,46
T ₉	0,2083	0,0708	0,7208	68,09	8,35	70,37	7,34	67,96	8,40
T ₁₀	0,0708	0,2083	0,7208	65,60	10,80	67,80	9,57	65,52	10,93

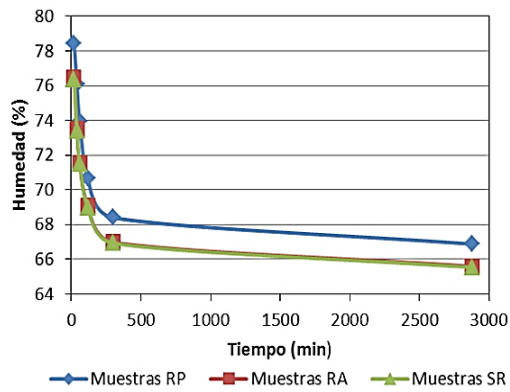
N°: número de tratamiento. %H: humedad. %GS: ganancia de sólidos.

Según Torreggiani y Bertolo (2001), el tipo de agente utilizado, afecta la cinética de la DO, ya que el aumento del peso molecular del soluto provoca un decrecimiento en la ganancia de sólidos y una mayor remoción de agua del producto, favoreciendo la pérdida de peso.

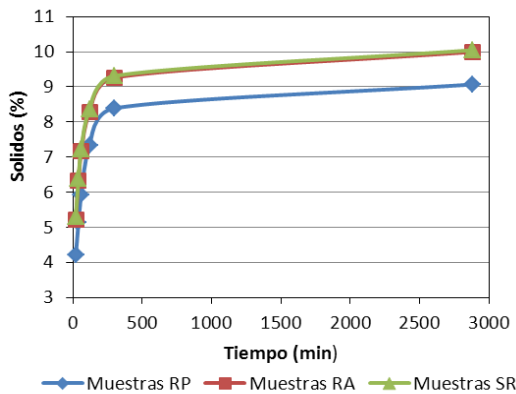
Por otro lado agentes deshidratantes de bajo peso molecular favorecen la ganancia de sólidos, ocasionando una mayor impregnación de solutos en la muestra. Lo mencionado concuerda parcialmente con lo ya observado de la Tabla 2, sin embargo no se encontró una menor humedad en los tratamientos con soluciones de mayor proporción de sacarosa (T₂, T₄ y T₉), esto debido que en otros tratamientos la alta concentración de NaCl (T₃, T₅, T₁₀) generaba un aumento tan elevado de sólidos que al determinar el porcentaje de humedad de las muestras estas arrojan valores menores que las muestras tratadas con mayor proporción de sacarosa; por lo que se supone que si se usaba una proporción alta de sacarosa o una proporción baja de NaCl lo

mencionado en la bibliografía se cumpliría totalmente. También se observa en general que la transferencia de masa es favorecida por el aumento de la concentración de solutos en la solución deshidratante y esto provoca un efecto mayor en la pérdida de agua del producto, reduciendo la pérdida de solutos hidrosolubles como vitaminas y sales minerales debido a la formación de una capa de soluto alrededor del alimento, impidiendo la salida de esas sustancias (Ferrari, 2005).

Wong *et al.* (1994) manifiesta que las películas en el proceso osmótico permiten una mayor deshidratación que sin recubrimiento. Esta afirmación no se cumple en todos los tratamientos, donde el recubrimiento de pectina muestra un efecto contrario al citado; Khin *et al.* (2005) manifiesta que las coberturas previenen una mayor absorción de sólidos en el alimento. Esta afirmación sólo se cumple para la pectina, donde las muestras RP presentaron una ganancia de sólidos menor; mientras que el almidón no ejerce efecto en la DO.



(a)



(b)

Figura 2. Cinética promedio de los 10 tratamientos en muestras con y sin recubrimiento de pectina y almidón para (a) humedad y (b) ganancia de sólidos

En la Figura 2 se puede observar que la mayor transferencia de masa se da en los primeros horas de la DO coincidiendo con Chenlo *et al.* (2008) y Torres *et al.* (2013) quienes observaron una significativa transferencia de materia en los primeros momentos, que después crece lentamente, en forma asintótica, con el tiempo de proceso, atribuyen es consecuencia de la disminución de la fuerza impulsora, ya que alcanza un estado próximo al equilibrio.

En la Figura 2a se observa que las muestras SR y RA pierden humedad en promedio 1,91% más que las muestras RP a medida que transcurre el tiempo.

Mientras que en la Figura 2b se observa que las muestras RP son las que ganan sólidos en menor porcentaje comparado con las muestras SR y RA en una diferencia promedio de 1,06% durante el proceso.

A partir de los resultados se puede afirmar que el recubrimiento con pectina utilizado en la deshidratación osmótica del olluco tiene un efecto negativo en la pérdida de humedad, pero sí tiene el efecto deseado en la ganancia de sólidos, mientras que el recubrimiento de almidón no ejerce efecto apreciable en la DO por tener similar comportamiento al de las muestras sin recubrimiento.

Arroyo *et al.* (2010) evaluó el rendimiento de quitosano como cubierta determinando que las muestras de oca recubierta hay mayor pérdida de agua y menor ganancia de sólidos comparado con las muestras sin recubrimiento; sin embargo ni el almidón ni la pectina en las condiciones de evaluación mostraron resultados similares esperados en películas para DO.

Ferrari *et al.* (2013) señala que recubrimientos comestibles como la pectina obstaculizan la pérdida de peso del producto, crean una barrera semipermeable para elementos externos, desarrollando un efecto similar a la de almacenamiento bajo atmósfera modificada y por ende estos revestimientos comestibles pueden reducir la pérdida de humedad, lo cual justifica el comportamiento de la pectina observado.

Lević *et al.* (2008) encontró que aplicar un doble recubrimiento de almidón previa a la DO en zanahoria se aumenta el contenido de sólidos en las muestras por más de cuatro veces, lo cual no se observó con la aplicación de una recubierta de almidón para el olluco indicando que para notar efectos se podrían aplicar más capas de almidón.

Análisis de varianza

En la Tabla 3 se presenta un análisis de varianza resumido para modelos de regresión (lineal, cuadrático y cúbico), tanto para la humedad, como para la ganancia de sólidos, para muestras con recubrimiento de almidón (RA), recubrimiento de pectina (RP), y sin recubrimiento (SR).

Para todas las muestras tanto para humedad como para ganancia de sólidos se aprecia que los modelos lineal y cuadrático tienen efecto estadístico significativo ($p < 0,05$) con valores R^2 muy altos (mayores a 0,7); se eligió el modelo lineal ya que es suficiente para explicar la variable respuesta a la vez que es más sencillo, estableciendo los siguientes modelos:

Muestras RA:

$$H = 66,89 * X + 62,94 * Y + 81,73 * Z \quad (R^2 = 95,7\%)$$

$$GS = 7,70 * X + 13,23 * Y + 2,20 * Z \quad (R^2 = 92,7\%)$$

Muestras RP:

$$H = 69,15 * X + 65,24 * Y + 82,81 * Z \quad (R^2 = 95,8\%)$$

$$GS = 6,60 * X + 11,77 * Y + 1,67 * Z \quad (R^2 = 93,4\%)$$

Muestras SR:

$$H = 66,77 * X + 62,91 * Y + 81,68 * Z \quad (R^2 = 95,6\%)$$

$$GS = 7,76 * X + 13,30 * Y + 2,25 * Z \quad (R^2 = 92,5\%)$$

Dónde %H: humedad, %GS: ganancia de sólidos, X: %sacarosa, Y: %NaCl y Z: % agua.

Análisis por superficie de respuesta

En la Figura 3 (a, c, e) se observa las concentraciones óptimas que se necesitan para minimizar el contenido de humedad. En cuanto a las muestras RA (Figura 3a) la humedad es mínima (64%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 23,1% a 30%, la concentración de sacarosa esta ente 2,5% a 9,4% y el agua está entre 67,5% a 69%.

Las muestras RP (Figura 3c) minimizan el contenido de humedad (66%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 26% a 30%, sacarosa en un 2,5% a 6,9% y agua en un 67,5% a 68,6%. Las muestras SR (Figura 3e) minimizan el contenido de humedad (64%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 23,2% a 30%, sacarosa entre un 2,5% a 9,7% y agua en un 67,5% a 68,9%.

De lo presentado podemos notar que las muestras RA y SR alcanzan una humedad mínima de 64% con concentraciones semejantes de solutos y agua; por otro lado para las muestras RP la humedad mínima alcanzada es mayor (66%) y se puede obtener con un rango de concentraciones de solutos y agua similar aunque más estrecho respecto a las otras muestras.

Tabla 3. ANVA para la humedad y ganancia de sólidos de los tratamientos

Variable de respuesta	Muestras	Tipo de modelo					
		Lineal		Cuadrático		Cúbico	
		p	R2	p	R2	p	R2
Humedad	RA	0	0,957	0,014	0,993	0,633	0,992
	RP	0	0,958	0,002	0,997	0,434	0,997
	SR	0	0,956	0,012	0,994	0,505	0,993
Ganancia de sólidos	RA	0	0,927	0,005	0,994	0,14	0,996
	RP	0	0,934	0,008	0,992	0,271	0,994
	SR	0	0,925	0,004	0,994	0,109	0,997

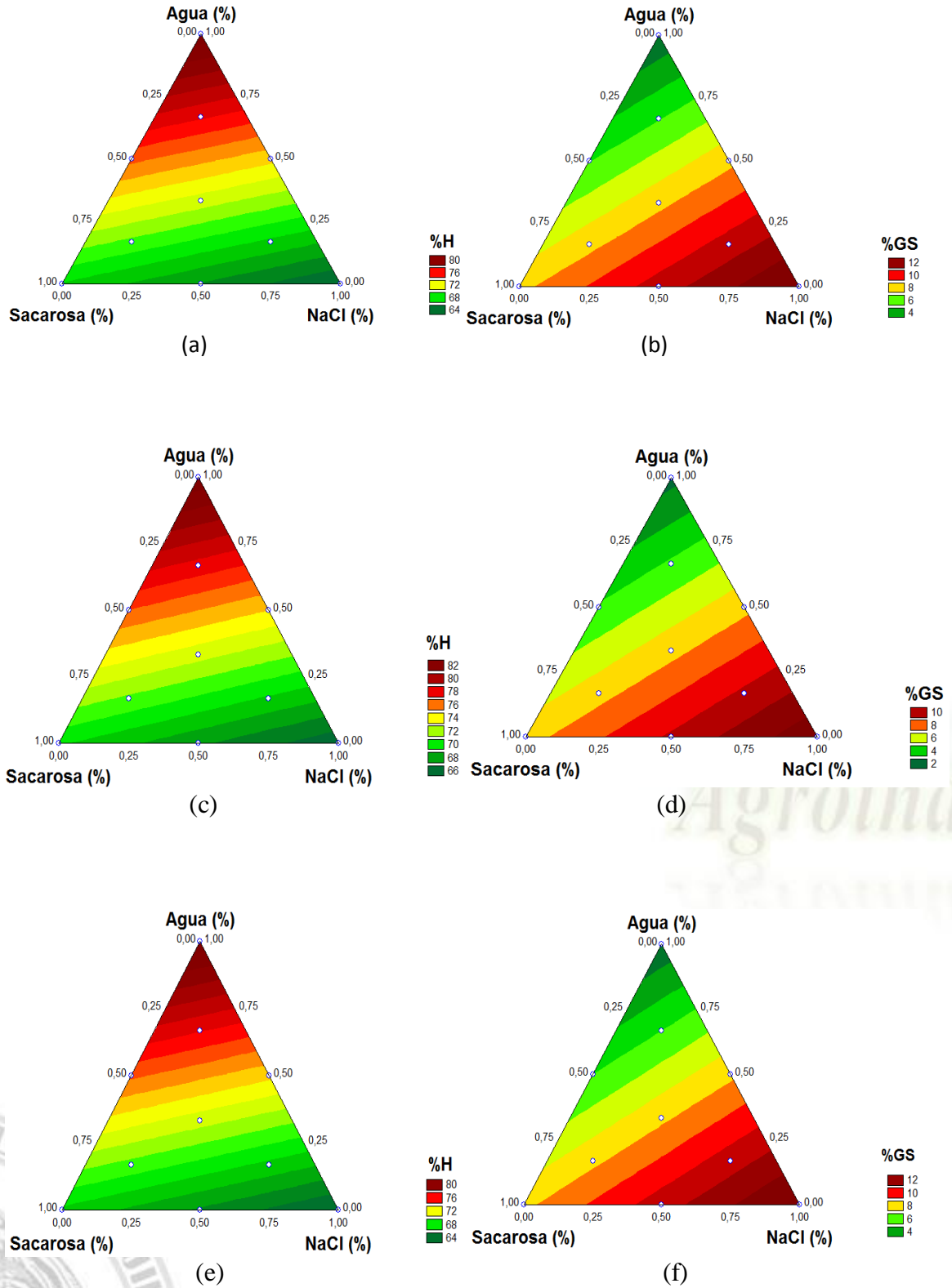


Figura 3. Superficies de respuesta para el contenido de Humedad (%H) de las muestras RA (a), muestras RP (c), muestras SR (e); y superficies de respuesta para la ganancia de sólidos (%GS) de las muestras RA (b), muestras RP (d), muestras SR (f).

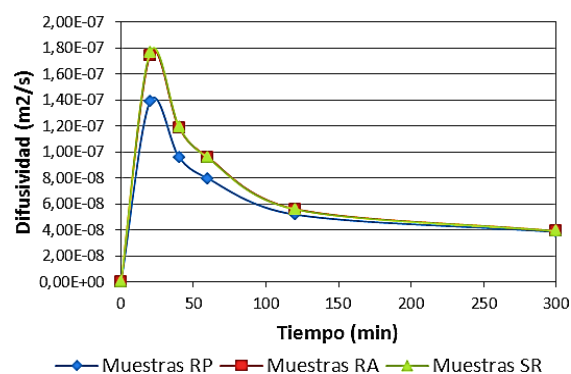
En las Figura 3 (b, d, f) se observa los valores de las concentraciones requeridas para minimizar la ganancia de sólidos. En cuanto a las muestras RA (Figura 3b) la ganancia de sólidos es mínima (4%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 2,5% a 4,7%, la concentración de sacarosa esta entre 2,5% a 5,8% y el agua está entre 92,8% a 95%. Las muestras RP (Figura 3c) minimizan la ganancia de sólidos (2%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 2,5% a 3,6%, sacarosa en un 2,5% a 4,2% y agua en un 93,4% a 95%. Las muestras SR (Figura 3e) minimizan la ganancia de sólidos (4%) cuando: las concentraciones de NaCl están entre 2,5% a 4,2%, sacarosa entre un 2,5% a 5,8% y agua en un 93,1% a 95%. De lo mencionado podemos notar que las muestras RA y SR tienen una ganancia mínima de 4% con concentraciones semejantes de solutos y agua; por otro lado para las muestras RP la ganancia de sólidos mínima alcanzada es menor (2%) y se puede obtener con un rango de concentraciones de solutos y agua similar aunque más estrecho respecto a las otras muestras.

De la Figura 3 se puede notar que no se puede encontrar una combinación óptima que minimice la humedad y la ganancia de sólidos a la vez, y como es de esperar cuando la concentración de solutos es máxima (predomina efecto del NaCl) se reduce la humedad y aumenta la ganancia de sólidos sin importar el tipo de recubierta.

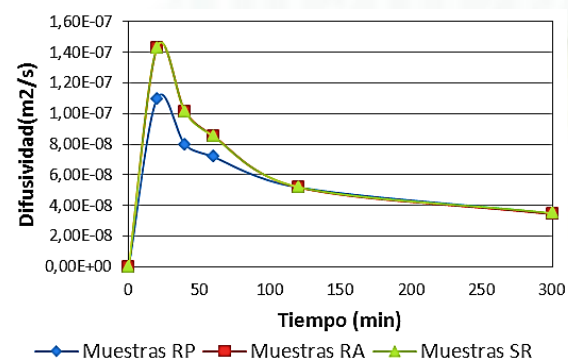
Difusividad efectiva del agua y sólidos en el olluco osmodeshidratado con las mejores condiciones

En la Figura 4a se observa que la difusividad efectiva del agua durante la primera hora de tratamiento, fue menor en muestras RP en comparación con las muestras RA y SR que no tienen diferencia de comportamiento de difusividad efectiva entre ambas.

La misma situación se observa en la Figura 4b para la difusividad efectiva de los sólidos (sal y sacarosa). Según Arreola y Rosas (2007), la difusividad mide la velocidad de transferencia y es inversamente proporcional a la resistencia de la transferencia, por ende se puede afirmar que la pectina ofrece mayor resistencia a la transferencia molecular del agua y de sólidos que las muestras RA y SR.



(a)



(b)

Figura 4. Difusividad efectiva en función del tiempo en muestras con y sin recubrimiento de pectina y almidón para (a) agua y (b) sólidos.

Las difusividades efectivas promedio encontradas para el agua fueron: $8,09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras RP, $9,69 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras RA, y $9,72 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras SR; para los sólidos: $6,96 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras RP, $8,31 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras RA y $8,33 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras SR; estos valores son ligeramente superiores al

rango reportado por Torres *et al.* (2013) donde los trabajos de deshidratación osmótica en alimentos, empleando sacarosa y NaCl como agentes osmóticos, tienen una difusividad efectiva media de orden entre (10^{-9} - 10^{-11}) m^2/s ; esto indicaría que la transferencia de masa se dio a una velocidad superior a lo común y podría deberse principalmente a la geometría empleada (láminas delgadas), las características estructurales y de composición del ulluco que permitieron un alto intercambio de materia y la relación producto/solución osmótica; Amiel y Vásquez (2007), trabajando con yacón y con fructooligosacaridos como agente osmótico reportaron difusividades de orden 10^{-8} , en ese sentido se puede aceptar el valor de difusividad obtenido para alimentos aunque se trate de un agente osmótico no utilizado en este trabajo.

4. Conclusiones

Al recubrir con pectina láminas de ulluco para su deshidratación osmótica, se disminuye la ganancia de sólidos sin embargo las muestras presentan mayor humedad en comparación con las muestras sin recubrimiento y las muestras con recubrimiento de almidón, las que tuvieron un comportamiento similar indicando que el almidón no ejerce efecto en la DO; mientras que la pectina no es un recubrimiento adecuado para deshidratar. Se observó, además, que las soluciones con mayor contenido de NaCl generan mayor deshidratación pero aumentan el contenido de sólidos en las láminas de ulluco, en comparación a la sacarosa.

5. Referencias Bibliográficas

Alcázar, J.; Aldana, G.; Mayta, S. 2004. Plagas y su control. El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú. Capítulo V. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)

3. Editores G. López y M. Hermann. Lima, Perú.

Álvarez, H.; Repo, R. 1999. Desarrollo de productos de papas nativas. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.

Ames, T. 2004. Enfermedades fungosas y bacterianas y principios para su control. El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú. Capítulo IV. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) # 3. Editores: G. López y M. Hermann. Lima, Perú.

Amiel, R.; Vásquez, V. 2007. Influencia de la temperatura en la difusividad efectiva y características sensoriales de cubos de yacón (*Smallantus sonchifolius*) deshidratado osmóticamente. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. p. 76-77.

AOAC. Official Methods of Analysis. 1995. Association of Official Analytical Chemists, Washington.

Aredo, V.; Arteaga, A.; Benites, C.; Gerónimo, W. 2012. Comparación entre el secado convectivo y osmoconvectivo en la pérdida de vitamina C de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) con y sin pre-tratamiento de NaOH. *Agroind Science* 2: 126-131

Arroyo, J.; Arteaga, H.; Siche, R. 2010. Sinergismo entre el cloruro de sodio, sacarosa y fosfato tricálcico en la deshidratación osmótica de oca (*Oxalis tuberosa*) con y sin recubrimiento de Quitosano. *Scientia Agropecuaria* 1: 197 – 206.

Ayala, G. 2004. Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. En Seminario, J. et al. (Edts). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Pp. 101-112.

Azuara, E.; Beristain, C.; Gutiérrez, G. 1998. A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 31: 317-321.

Camirand, W.; Krochta, J.; Pavlath, D.; Wong, D. 1992. Cole: Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers* 17(1): 39-49.

Chenlo, F.; Moreira, R.; Torres, M.; Ferra, J. 2008. Deshidratación osmótica de castaña en medios estáticos y dinámicos de sal, sacarosa y glucosa. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 6(2) 117-129.

- Crank, J. 1964. *The Mathematics of Diffusion*. University Press: Oxford. USA.
- Ferrari, C. 2005. Estudo da transferencia de masa e qualidade do Melao desidratado osmoticamente em solucoes de sacarosa e maltose, dissertação (Mestre en Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidad Estadual de Campinas. Campinas
- Ferrari, F.; Sarantópoulos, C.; Carmello-Guerreiro, M.; Hubinger, M. 2013. Effect of Osmotic Dehydration and Pectin Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Melon. *Food and Bioprocess Technology* 6(1): 80-91.
- Khin, M.; Zhou, W.; Perera, C. 2005. Development in the combined treatment of coating and dehydration of food. A review *International Journal of Food Engineering*. Vol. 1(1): <http://dx.doi.org/10.2202/1556-3758.1005>.
- King, S.; Gershoff, S. 1987. Nutritional evaluation of three underexploited Andean tubers: *Oxalis tuberosa* (*Oxalidaceae*), *Ullucus tuberosus* (*Basellaceae*) and *Tropaeolum tuberosum* (*Tropaeolaceae*). *Econ. Bot.* 41(4): 503-511.
- Lenart, A.; Flink, J. 1984. Osmotic concentration on potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Science and Technology* 19: 65-89.
- Lević, B.; Koprivica, B.; Mišljenović, M.; Filipčev, V.; Šimurina, D.; Kuljanin, A. 2008. Effect of starch as an edible coating material on the process of osmotic dehydration of carrot in saccharose solution and sugar beet molasses. *Acta periodica technologica* 39: 29-36.
- Masseo, M.; Leon, L.; Hernandez, H.; Guapacha, H. 2006. Deshidratación osmótica de arveja (*Pisum sativum* L.) y habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizando soluciones de glicerol y cloruro de sodio. *Revista Vector* 1(1): 9-28.
- Moyano, P.; Zuniga, R. 2003. Kinetic analysis of osmotic dehydration carried out with reused sucrose syrup. *Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties* 68. 2701-2705.
- Repo, R.; Kameko, J. 2004. *Procesamiento. El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú*. Capítulo X. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) # 3. Editores G. López y M. Hermann. Lima, Perú.
- Surco, A. 2004. Caracterización de almidones aislados de tuberculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Thompson, W.; Miers, R. 1968. Response Surface for Experiments with Mixtures. *Technometrics* 10: 739-755.
- Torreggiani, D.; Bertolo, G. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal Food Engineering* 49(2-3): 247-253.
- Torres, D.; Salvador, D; Baltazar, R.; Siche, R. 2013. Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (*Asparagus officinalis*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Agroindustrial Science* 1: 07 - 18.
- Tupac, A. 2004. *Almacenamiento. El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú*. Capítulo IX. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) # 3. Editores G. López y M. Hermann. Lima, Perú.
- Wong, D.; Camarind, M.; Pavlath, A. 1994. Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. Ed. *Edible Coatings to Improve Food Quality*. Lancaster, PA.

