



## Sinergismo entre el cloruro de sodio, sacarosa y fosfato tricálcico en la deshidratación osmótica de oca (*Oxalis tuberosa*) con y sin recubrimiento de Quitosano

## Synergism between sodium chloride, sucrose and tricalcium phosphate in the osmotic dehydration of oca (*Oxalis tuberosa*) with and without chitosan coating

José Arroyo Portal<sup>1</sup>, Hubert Arteaga Miñano<sup>2</sup>, Raúl Siche Jara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AgribRANDS Purina Perú S.A., Carretera Pimentel Km. 3.5, Chiclayo, Perú.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agroindustriales, Universidad Nacional de Trujillo, Avda. Juan Pablo II s/n Trujillo Perú.

Recibido 29 junio 2010; aceptado 16 setiembre 2010

### Resumen

Se investigó el efecto sinérgico de tres solutos (cloruro de sodio, sacarosa, y fosfato tricálcico) en distintas combinaciones de concentración, sobre la humedad, ganancia de sólidos y ganancia de calcio en la deshidratación osmótica de oca (*Oxalis tuberosa*) con y sin recubrimiento de quitosano (CR y SR). En ambos casos se aplicó un diseño de mezclas Simplex con Centroide Ampliado. Se utilizaron cilindros de oca de 0.9 cm de diámetro y 3.4 cm de longitud. Se evaluó la cinética de la humedad, ganancia de sólidos y ganancia de calcio durante 48 horas. Se determinó la difusividad efectiva del agua, sólidos y calcio. Se encontró que en muestras CR hay mayor pérdida de agua y menor ganancia de sólidos comparado con las muestras SR, principalmente cuando el cloruro de sodio o sacarosa participa independientemente, en tanto que para la ganancia de calcio, en todos los casos, las muestras CR ganan mayor cantidad de calcio que las muestras SR. Las difusividades efectivas encontradas fueron: para el agua,  $1.19\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras CR y  $1.34\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras SR; para los sólidos,  $3.67\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras CR y  $5.43\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras SR; y, para el calcio  $3.32\text{E}-11 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras CR y  $1.57\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  en muestras SR.

**Palabras clave:** Oca, osmodeshidratación, sinergia, quitosano.

### Abstract

We investigated the synergistic effect of three solutes (sodium chloride, sucrose, tricalcium phosphate) in different combinations of concentration, on the moisture, solid gain and calcium gain in oca (*Oxalis tuberosa*) with and without chitosan (CR and SR). In both cases applied the Simplex with Extended Centroid mixture design. Were used cylinders of oca of 0.9 cm of diameter and 3.4 cm of length. The kinetics of moisture, solid gain and calcium gain for 48 hours was evaluated. The effective diffusivity of water, solids and calcium was determined. We found that in samples CR is greater loss of water and less solid gain compared with SR samples mainly as sodium chloride or sucrose participate independently, while for the gain of calcium, in all cases, the CR samples gain more of calcium than SR samples. The effective diffusivities found are: water,  $1.19\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  in samples CR and  $1.34\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  in SR samples; for solid,  $3.67\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  in samples CR and  $5.43\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  in SR samples; and, for calcium  $3.32\text{E}-11 \text{ m}^2/\text{s}$  in samples CR and  $1.57\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  in SR samples.

**Keywords:** Oca, osmotic dehydration, synergy, chitosan.

\* Autor para correspondencia.

E-mail: josea@agribRANDS.com (J. Arroyo)

## 1. Introducción

En la actualidad se hace más importante para el consumidor ingerir alimentos que además de los beneficios originales que éste le pueda aportar, le ayude en el mantenimiento de su salud y en la prevención de enfermedades; es así que actualmente un buen porcentaje de la producción mundial de frutas está siendo utilizada en procesos de producción de alimentos funcionales (Milacatl, 2003). Los tubérculos andinos que constituyeron la base alimenticia del poblador andino no pueden escapar de esta tendencia y podrían ser revalorizados utilizando una tecnología adecuada para darle un valor agregado. Uno de estos tubérculos es la oca, la cual tiene un gran potencial de transformación en productos procesados; sin embargo, no se ha hecho mucho en este sentido, a pesar de que este cultivo presenta valor nutritivo considerable (70 - 80% de humedad, 11 - 22 % de hidratos de carbono, hasta 9% de proteína con un buen balance de aminoácidos esenciales, como triptófano y valina, 1% de grasa, fibra y ceniza respectivamente).

Por otro lado, la deshidratación osmótica (DO) es una técnica que aplicada a productos hortofrutícolas permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50 - 60% en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles. Si bien el producto obtenido no es estable para su conservación, su composición química permite obtener, después de un secado con aire caliente o una congelación, un producto final de buena calidad organoléptica, esta técnica ha cobrado gran interés debido a las bajas temperaturas de operación usadas (20 - 50 °C), lo cual evita el daño de productos termolábiles, además de reducir los costos de energía para el proceso (Masseo *et al.*, 2006).

En este trabajo se aplicó la deshidratación osmótica en cilindros de oca con y sin recubrimiento de quitosano, utilizando como solución osmótica una mezcla constituida por cloruro de sodio, sacarosa y calcio buscando evaluar si estos compuestos tienen efectos

sinérgicos positivos en la salida de agua, ganancia de sólidos y ganancia de calcio para así determinar la combinación correcta de estos compuestos para optimizar el proceso de osmodeshidratación; todo esto con la finalidad de revalorar una materia prima autóctona de nuestro país, como es la oca, y a partir de ella obtener un producto con mayor contenido de calcio que con una deshidratación convectiva se podría obtener harina con alto contenido en calcio, el cual podría ser mezclado con otra harina rica en Vitamina D (colecalciferol) para tener un alimento mucho más completo y beneficioso para la salud humana.

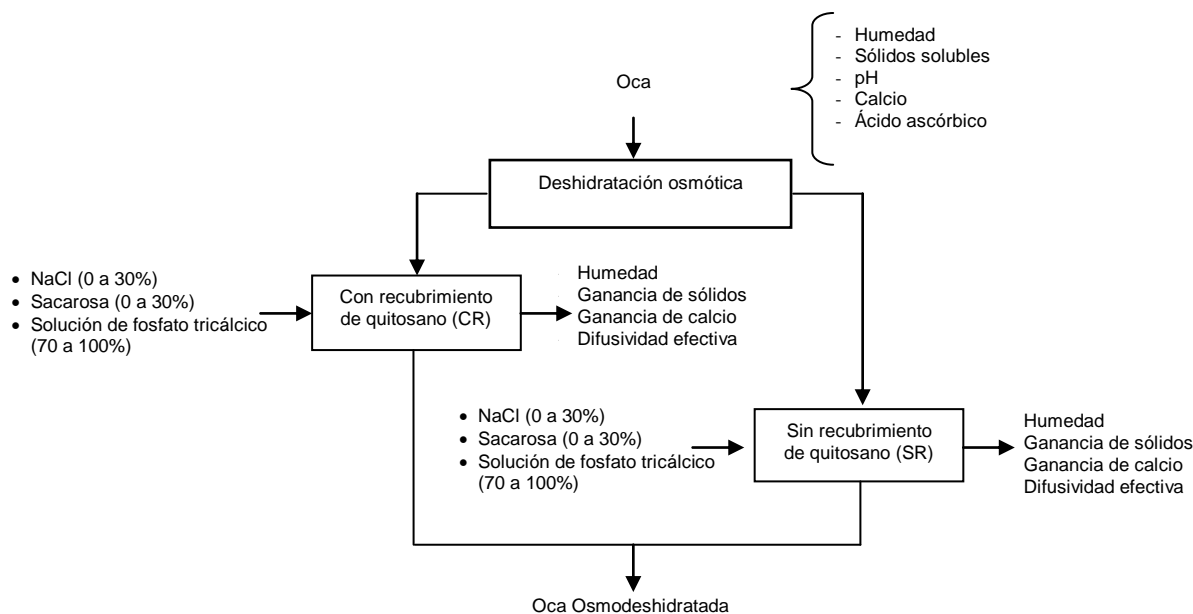
## 2. Materiales y métodos

### Deshidratación osmótica

Se utilizó Oca (*Oxalis tuberosa Mol.*) variedad amarilla proveniente del distrito de Otuzco, la cual pasó por una selección y clasificación, eliminando aquellas que presentaron signos de mal estado y considerando como criterios de calidad, el color (amarillo) y geometría (diámetro y longitud); la oca seleccionada y clasificada, pasó por lavado y pelado para posteriormente ser escaldado a 60 °C por 20 s con la finalidad de ablandar el tejido e inactivar enzimas responsables del pardeamiento, posteriormente se realizó cortes con la ayuda de un molde cilíndrico para tener 0.9 cm de diámetro y 3.4 cm de longitud. Los cilindros de oca fueron sumergidos en solución de quitosano (1 g de quitosano en 100 ml de solución conteniendo 2.5% de ácido cítrico y 0.5% de ácido oleico) por 30 s, luego fueron secados a temperatura ambiente por 30 min y 30 min adicionales a 40 °C. A continuación los cilindros de oca con y sin recubrimiento se sometieron a deshidratación osmótica a 40°C con las soluciones preparadas para cada tratamiento consistente en diferentes combinaciones de cloruro de sodio (sal de mesa iodada), sacarosa y solución de fosfato tricálcico (este último preparado con 2.7% de fosfato tricálcico diluido en agua destilada)

(Figura 1). La relación oca/solución osmótica fue de 1/5. Se cuantificó para cada tratamiento la humedad, ganancia de sólidos, ganancia de calcio, difusividad efectiva de agua,

difusividad efectiva de sólidos y difusividad efectiva de calcio tras 20 min, 40 min, 1 h, 2 h, 5 h y 48 h de operación.



**Figura 1.** Esquema experimental para la deshidratación osmótica de oca.

### Cálculos cinéticos

**Humedad:** La humedad se determinó por el método de estufa hasta peso constante, aplicándose la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde: %H = Porcentaje de humedad;  $W_1$  = Peso de muestra (g) y  $W_2$  = Peso de muestra seca (g).

**Ganancia de sólidos:** En la ganancia de sólidos, fueron considerados los sólidos totales y la ganancia se calculo con la ecuación 2.

$$SG(\%) = 100 \frac{(ms_t - ms_o)}{M_o} \quad (2)$$

Donde %SG: Ganancia porcentual de sólidos respecto a la masa inicial;  $ms_o$ : materia seca inicial (g);  $ms_t$ : materia seca en un tiempo  $t$  (g) y  $M_o$ : masa del producto en el tiempo inicial (g).

**Calcio:** La cuantificación del calcio se llevó a cabo por el método de precipitación con oxalato (Henrickson y Robinson, 1979).

**Difusividad efectiva:** Se usó el método propuesto por Crank en la solución de la ley de Fick para un cilindro (Crank, 1964), según las ecuaciones 3 y 4.

$$Y = \frac{z_s^t - z_s^e}{z_s^0 - z_s^e} \quad (3)$$

$$1 - Y = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{1}{L} + \frac{2}{t} \right) \sqrt{De * t} \quad (4)$$

Donde  $Z_s^t$  = sólidos en el tiempo  $t$ ,  $Z_s^e$  = sólidos en el equilibrio,  $Z_s^0$  = sólidos en el inicio,  $Y$  = fuerza impulsora,  $De$  = difusividad efectiva,  $t$  = tiempo,  $r$  = radio del cilindro y  $L$  = altura del cilindro.

## Diseño y Análisis estadístico

Se utilizó el Diseño Simplex con Centroides Ampliado que corresponde a un diseño de mezclas de la metodología de superficie respuesta. El diseño corresponde a un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezcla, que para el caso de la deshidratación osmótica de cilindros de oca con y sin recubrimiento de quitosano existen restricciones para cada componente siendo para el cloruro de sodio (sal de mesa iodada) un rango que va de 0 a 30% al igual que la sacarosa, y de 70 a 100% para la solución de fosfato tricálcico. 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 la pérdida de agua, ganancia de sólidos y calcio consistió en determinar los coeficientes de regresión para los modelos lineal, cuadrático y cúbico respectivamente, y el análisis de varianza 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.

## 3. Resultados y discusión

### Caracterización de la Oca

En la Tabla 1 se muestran algunas características fisicoquímicas de la oca variedad amarilla determinada en esta investigación.

**Tabla 1**

Características fisicoquímicas de la oca.

Característica	Valor	Unidades
Humedad	88.03	%
Sólidos Solubles	6.00	%
pH	6.10	--
Cálcio	21.0	mg/100g
Acido Ascórbico	37.80	mg/100g

La oca fresca sin procesar presentó una humedad del 88%. Según Rivera (1995) la oca alcanza un 83% de humedad promedio, si bien es cierto no menciona la variedad, el contenido de humedad está razonablemente cerca al valor encontrado aquí. Por otro lado, Ayala (2004) reporta para la oca un contenido en ácido ascórbico de 38.40 mg/100g de material húmedo. Según el INIA-Ecuador, (1995) la oca tiene un contenido de ácido ascórbico entre 27.89 a 39.81 mg/100g de materia fresca. Para el TDRI (1987) la oca tiene un contenido de ácido ascórbico de 37mg/100g de material. Los valores referenciados concuerdan con el valor encontrado en esta investigación. El contenido de calcio para la oca, según el TDRI (1987), es de 4mg/100g, valor muy bajo comparado con el encontrado en este trabajo que es de 21 mg/100g; sin embargo es cercano al reportado por Ayala (2004) (22 mg/100g material fresco).

### Humedad, sólidos y calcio en muestras de oca con y sin recubrimiento de quitosano después de la deshidratación osmótica

En la Tabla 2 se pueden observar los valores de humedad, ganancia de sólidos y de calcio en cada tratamiento, para muestras de oca con y sin recubrimiento de quitosano. Las muestras con recubrimiento pierden mayor cantidad de agua, por lo que la humedad es menor comparado con las muestras sin recubrimiento (considerando que la humedad inicial de las muestras de oca fue de 88.03%). Estos resultados concuerdan con lo reportado por García *et al.* (2010), quienes precisan que el recubrimiento con quitosano ayuda a la mayor pérdida de agua. Sin embargo, en los tratamientos T4, T7, T8 y T9, en los cuales existe participación de NaCl y Sacarosa en la solución, la pérdida de agua es menor, por lo que la humedad es más alta. Esto se cumple sobre todo cuando hay participación relevante y en la misma concentración de NaCl y Sacarosa (T4 y T7) y menor cuando la

participación de estos compuestos esta desbalanceada, es decir, en concentraciones distintas (T8 y T9), estos hechos explican el efecto sinérgico que tiene una mezcla de NaCl y sacarosa en solución en el retraso de la salida de agua del producto.

García *et al.* (2010) manifiesta que el recubrimiento con quitosano disminuye la incorporación de sólidos en la muestra. Esta afirmación no se cumple en los tratamientos T1, T2, T5 y T6, en los cuales se presenta mayor ganancia de sólidos en las muestras con recubrimiento que las sin recubrimiento. Se observa que en estos tratamientos, tanto el NaCl como la sacarosa participan independientemente en la solución; solamente en los tratamientos donde el NaCl y la sacarosa actúan en conjunto, el recubrimiento disminuye la incorporación de sólidos mostrando nuevamente el efecto sinérgico que tienen estos dos compuestos.

En relación al calcio se observa que en todos los tratamientos las muestras con

recubrimiento de quitosano presentan mayor ganancia que calcio que muestras sin recubrimiento. En este caso se cumple lo indicado por García *et al.* (2010) en torno a la ganancia de sólidos. Este comportamiento es una gran ventaja en un procedimiento de enriquecimiento con calcio utilizando una solución osmótica para productos deficientes en este mineral.

Casp y Abril (1999) manifiestan que la adición de sustancias de bajo peso molecular, tales como cloruro sódico, ácido málico, ácido clorhídrico y cloruro de calcio en concentraciones de 1 a 5% a soluciones de azúcar mejora el proceso de deshidratación osmótica. Sin embargo Raoult-Wack (1994) precisan que un soluto de mayor peso molecular (caso de la sacarosa) favorece la pérdida de agua en desmedro de la ganancia de sólidos, mientras que un soluto de bajo peso molecular (como el NaCl), favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de agua.

## Tabla 2

Humedad, ganancia de sólidos y de Ca en muestras de oca con y sin recubrimiento de quitosano tras la deshidratación osmótica.

N°	NaCl	Sacarosa	Solución de calcio	Humedad (%H)		Ganancia de sólidos (%GS)		Ganancia de Calcio (%GCa)	
				CR	SR	CR	SR	CR	SR
T1	0.300	0.000	0.700	72.46	79.11	26.75	15.31	2.2124	0.6692
T2	0.000	0.300	0.700	73.01	76.90	25.76	17.10	2.3333	0.6802
T3	0.000	0.000	1.000	80.25	81.56	19.45	20.46	3.8462	0.6654
T4	0.150	0.150	0.700	80.01	75.24	19.74	24.76	2.5455	0.6647
T5	0.000	0.150	0.850	83.03	85.50	17.04	14.50	1.2000	0.6765
T6	0.150	0.000	0.850	82.55	85.67	15.76	15.34	1.0714	0.6839
T7	0.100	0.100	0.800	80.85	78.75	16.69	20.00	1.1538	0.6791
T8	0.050	0.200	0.750	80.55	80.22	17.01	19.78	1.3043	0.6833
T9	0.200	0.050	0.750	82.70	82.50	16.43	20.11	1.1538	0.6932
T10	0.050	0.050	0.900	80.14	81.65	17.54	42.72	1.3043	0.6981

N: Número de tratamiento; CR: con recubrimiento; SR: Sin recubrimiento.

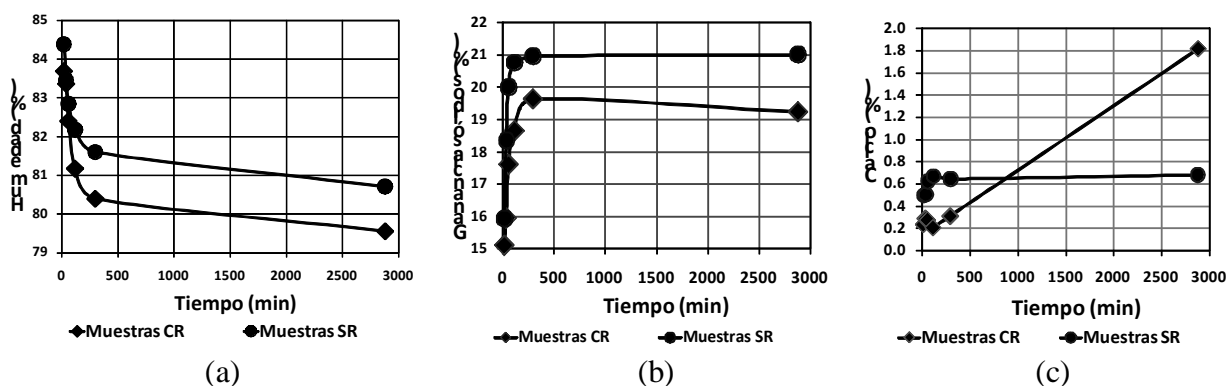
En esta investigación se comprobó que cuando participan independientemente el NaCl como la sacarosa para muestras sin recubrimiento se favorece la pérdida de agua siendo mayor cuando el soluto es sacarosa, y hay mayor ganancia de sólidos cuando el soluto es NaCl (T1, T2, T5 y T6). Sin embargo la mayor ganancia de sólidos se da en el tratamiento T10 donde hay una participación mínima de NaCl y sacarosa. Esto podría ocurrir por la baja viscosidad que presenta la solución, lo que facilita la impregnación de sólidos en la muestra (Arreola y Rosas, 2007). Los iones de NaCl pueden impedir la formación de una capa de azúcar alrededor del trozo del alimento. El azúcar a su vez limita la entrada de iones (Lenart y Flink, 1984). Si se aumenta levemente el peso molecular de los solutos (por ejemplo reemplazar NaCl por azúcar) es posible disminuir la ganancia de sólidos para una misma pérdida de agua (Collignan y Raoult-Wack, 1994), como es comprobado en los tratamientos T7 y T8 para muestras sin recubrimiento. Raoult-Wack *et al.* (1992) recomiendan realizar la DO en dos etapas, usando una solución con solutos de alto peso molecular (impregnación) y luego una solución con solutos de bajo peso molecular, lográndose un mejor control del proceso.

En la Figura 2a se muestra el comportamiento de la humedad en función del tiempo como

promedio de los 10 tratamientos. Se observa que las muestras van perdiendo humedad a medida que transcurre el tiempo, las muestras CR presentaron mayor pérdida de humedad en hasta 1.15% menos que las muestras SR.

En la figura 2b se muestra el comportamiento de la ganancia de sólidos en función del tiempo como promedio de los 10 tratamientos. Se observa que las muestras van ganando sólidos conforme transcurre el tiempo. Las muestras CR son las que ganan sólidos en menor porcentaje comparado con las muestras SR, siendo 1.8% más de sólidos. Estos resultados comprueban que el recubrimiento de quitosano utilizado en deshidratación osmótica de oca tiene un efecto positivo en la pérdida de humedad, y negativo en la ganancia de sólidos.

Algo interesante se observa en el comportamiento de la ganancia de calcio (Figura 2c). Mientras las muestras CR en las primeras 2 horas mantienen su contenido de calcio en aproximadamente 0.2%, en las muestras SR aumentan su contenido de calcio hasta aproximadamente 0.6%. Por encima de las 2 horas, la ganancia de calcio en muestras SR permanece constante, en cambio en muestras CR, aumentan su contenido de calcio desde 0.2% hasta llegar aproximadamente a 1.8%.



**Figura 2.** Cinética promedio de los 10 tratamientos en muestras con y sin recubrimiento para a) humedad b) ganancia de sólidos y c) ganancia de calcio.

El Ca tiene mayor efecto en muestras CR, influenciando una mayor impregnación de calcio en la oca. En tanto en muestras SR, debido al mayor ingreso de sólidos (sacarosa o NaCl) hay una menor impregnación de calcio.

El incremento en el tiempo de contacto de la solución con las muestras da como resultado una deshidratación más efectiva. Generalmente, al inicio, la ganancia de sólidos es alta y a partir de la adición de sales de calcio a la solución osmótica, la pérdida de agua aumenta ligeramente y disminuye la ganancia de soluto. Este efecto se atribuye a una asociación de calcio (que penetra en la oca) con las pectinas de las paredes celulares, lo que se fortalece la textura de la fruta y se crea un enlace tipo "unión cruzada" capaz de atenuar la difusión de azúcares hacia la fruta debido a un aumento de la tortuosidad y de la viscosidad local (Schwartz, 1999).

**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, ganancia de sólidos y ganancia de calcio, para muestras CR y SR.

Para muestras SR, se aprecia en todos los casos que los modelos no tienen efecto

estadístico significativo ( $p > 0.05$ ) y junto a valores de  $R^2$  ajustados ( $R^2_{ajust}$ ) muy bajos, inviabilizan un análisis de superficie de respuesta en este caso.

En muestras CR, para ganancia de sólidos y de calcio, los modelos cuadráticos resultan ser significativos ( $p < 0.05$ ); en tanto para la humedad, pese a que ninguno de los modelos es significativo, un modelo cuadrático se aproxima a serlo ( $p = 0.08$ ). Además los modelos para la ganancia de sólidos (GS) y de calcio (GCa) tienen un  $R^2_{ajust}$  aceptables (mayores a 0.7) por lo que se pudieron establecer los siguientes modelos:

$$GS = 218.42x + 238.99y + 20.08z - 299.19xy - 254.18xz - 288.05yz$$

$R^2_{ajust}: 80\%$

$$GCa = 59.07x + 65.85y + 3.83z - 86.62xz - 95.92yz$$

$R^2_{ajust}: 93\%$

Donde GS: Ganancia de sólidos, GCa: Ganancia de calcio, x: %Sacarosa, y: %Cloruro de sodio y z: %Solución de calcio.

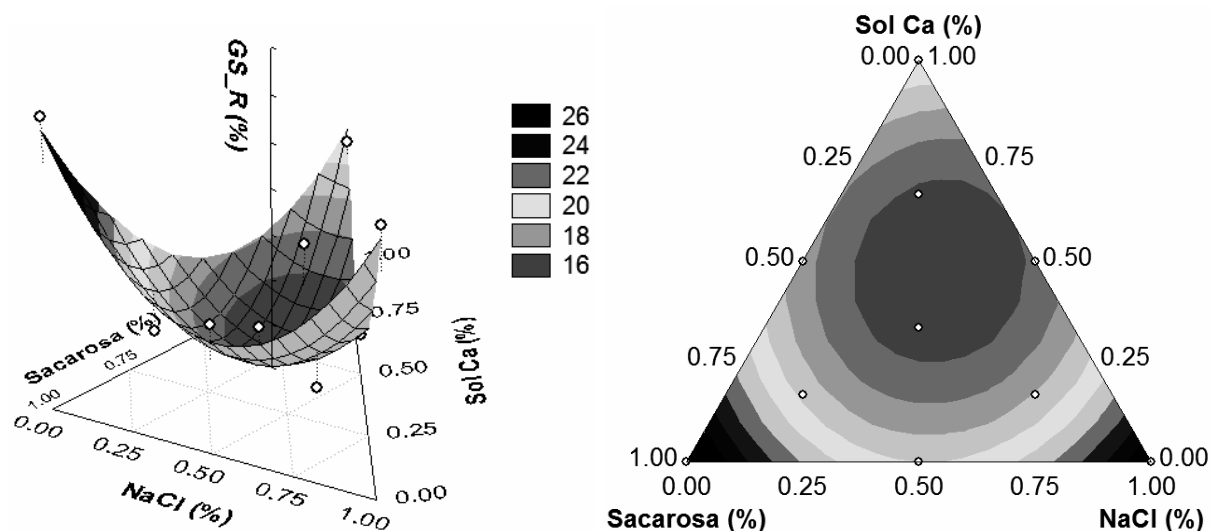
**Análisis por superficie respuesta**

Las superficies de respuesta de los modelos para la ganancia de sólidos y ganancia de calcio se muestran en las Figuras 3 y 4.

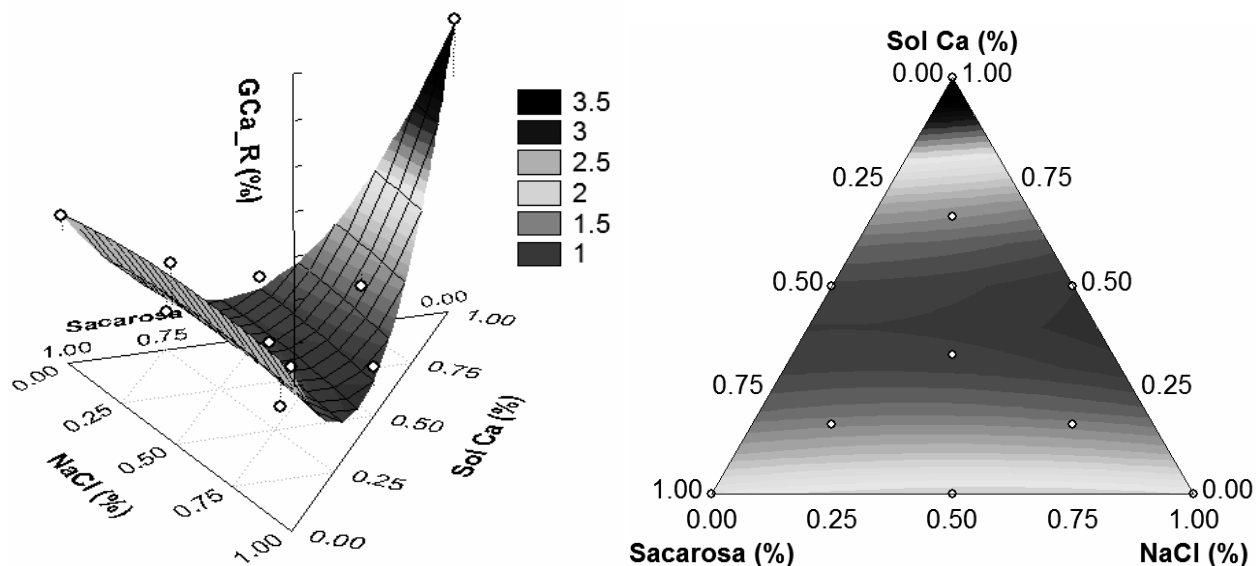
**Tabla 3**

ANVA para la humedad, ganancia de sólidos y ganancia de calcio para muestras con y sin recubrimiento de quitosano.

Variable de respuesta	Muestras	Tipo de modelo					
		Lineal		Cuadrático		Cúbico	
		p	$R^2_{ajust}$	p	$R^2_{ajust}$	p	$R^2_{ajust}$
Humedad	SR	0.23	0.15	0.24	0.43	0.31	0.49
	CR	0.39	0.02	0.08	0.62	0.40	0.62
Ganancia Sólidos	SR	0.73	0.00	0.88	0.00	0.68	0.00
	CR	0.42	0.00	0.02	0.80	0.81	0.74
Ganancia de Ca	SR	0.64	0.00	0.40	0.00	0.45	0.00
	CR	0.84	0.00	0.00	0.93	0.46	0.93



**Figura 3.** Superficie de respuesta para la Ganancia de sólidos de oca revestida con película de quitosano.



**Figura 4.** Superficie de respuesta para la Ganancia de calcio en oca revestida con película de quitosano.

Se observa en la Figura 3 que la ganancia de sólidos se minimiza (16%) cuando las concentraciones de NaCl están entre 14 y 21%, Sacarosa entre 11 y 21% y solución de calcio entre 79 y 90% (2.1 a 2.4% de calcio en la solución). Combinaciones cercanas a 30% de sacarosa o NaCl maximizan la impregnación de sólidos en la muestra (26%).

En la Figura 4 se observa que a mayor participación de calcio (2.7%) en la solución,

mayor es la impregnación de este mineral en las muestras CR (3.5%).

**Difusividad efectiva del agua, sólidos y calcio de la oca osmodeshidratada con las mejores condiciones**

En la Figura 5a se observa que la difusividad efectiva del agua en muestras CR es menor que la difusividad efectiva en muestras SR



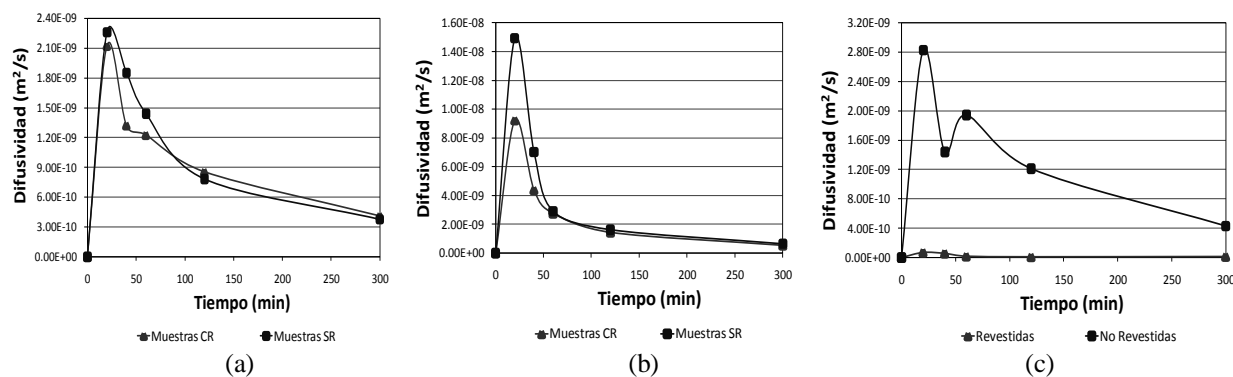
hasta aproximadamente 80 minutos, tiempo a partir del cual esta tendencia cambia. Considerando que la difusividad mide la velocidad de transferencia y es inversamente proporcional a la resistencia de la transferencia (Arreola y Rosas, 2007), se puede afirmar que hasta los 80 minutos del proceso, las muestras SR presentan menor resistencia de transferencia que las muestras CR. A partir de los 80 minutos de proceso, las muestras CR son las que presentan menor resistencia a la transferencia molecular del agua. Esto se explica por dos situaciones: 1°) a partir de los 80 minutos la entrada de sólidos se estabiliza; y 2°) se presenta menor entrada de solutos en las muestras CR que en las muestras SR (Figura 2). Los mismos autores manifiestan que comparaciones de difusividad de agua como de sólidos durante el proceso de deshidratación son difíciles debido a los diferentes métodos y modelos empleados para estimar la difusividad, pero lo más importante son las diferencias en la variación, en la composición y sobre todo en la estructura de los diferentes alimentos empleados.

En la Figura 5b se observa la difusividad efectiva de los sólidos (sal, sacarosa y calcio) en muestras CR y SR durante la osmodeshidratación. Las muestras SR presentaron una difusividad de solutos mayor

que en muestras CR, esto significa que para los solutos presentes en la solución osmótica, el recubrimiento actuó proveyendo una mayor resistencia al transporte.

En la Figura 5c se muestra la difusividad efectiva del calcio en muestras CR y SR durante la osmodeshidratación. En este caso, a diferencia de la difusividad del agua y de sólidos, existe una marcada diferencia en la difusividad del calcio entre muestras CR y SR. Las muestras SR presentan valores de difusividad de calcio de hasta 30 veces mayor que en las muestras CR. Esto significa que el recubrimiento ofrece una resistencia significativa al transporte de calcio desde la solución osmótica hasta el seno de las muestras de oca, incluso cuando existe recubrimiento en las muestras pueden perder calcio. Para muestras con recubrimiento, si la finalidad es enriquecer el producto utilizando la osmodeshidratación, se hace necesario altos tiempos de procesamiento (más de 48 horas).

Las difusividades efectivas promedio encontradas son: para el agua,  $1.19\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras CR y  $1.34\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras SR; para los sólidos,  $3.67\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras CR y  $5.43\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras SR y para el calcio  $3.32\text{E}-11 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras CR y  $1.57\text{E}-09 \text{ m}^2/\text{s}$  para muestras SR.



**Figura 5.** Difusividad efectiva en función del tiempo en muestras CR y SR, para a) agua, b) sólidos y c) calcio.

#### 4. Conclusiones

Se comprobó que al recubrir oca con películas de quitosano para la deshidratación osmótica, se favorece la salida de agua y se disminuye la ganancia de sólidos en mayor medida que cuando los cilindros de oca estuvieron sin recubrimiento. Esto se magnifica cuando el cloruro de sodio y sacarosa actúan independientemente junto con el calcio en solución, mostrando así un efecto sinérgico que tiene una mezcla de cloruro de sodio y sacarosa en solución de calcio para retardar la salida de agua y facilitar la ganancia de sólidos. En la ganancia de calcio, el recubrimiento permitió mayor ganancia comparado con las muestras sin recubrimiento independientemente de la presencia individual o conjunta del cloruro de sodio, sacarosa y calcio en solución.

#### Referencias

- Arreola, S.; Rosas, M. 2007. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*). Información Tecnológica 18(2): 43-48.
- 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.
- Casp, A.; Abril, J. 1999. Procesos y conservación de alimentos. Mundi Prensa. Zaragoza- España. 1200 pp.
- Crank, J. 1964. The Mathematics of Diffusion. University Press: Oxford. USA.
- Collignan, A.; Raoult-Wack, A. 1994. Dewatering and salting of Cod by Immersion in concentrated sugar/salt solutions. Lebensm-wiss U. Technol. 27: 259-264.
- García, M.; Díaz, R.; Casariego, A.; Martínez, Y. 2010. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. Food Research International 43: 1656-1660.
- Henrickson, C.; Robinson, P. 1979. Gravimetric determination of calcium as CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>•H<sub>2</sub>O: A tractable, inexpensive experiment for undergraduate quantitative analysis laboratory. J. Chem. Educ. 56(5): 341.
- INIA-Ecuador (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 1995. Adaptación de métodos de análisis y evaluación del contenido de vitamina A y C en 10 líneas promisorias de oca (*Oxalis tuberosa*), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y melloco (*Ullucus tuberosus*). Informe Técnico Anual. pp. 15-19.
- Lenart, A.; Flink, J. 1984. Osmotic concentration of potato. II Spatial distribution of the osmotic effect. J. Food Technol. 19: 85-89.
- 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.
- Milacatl, V. 2003 Cambios en atributos sensoriales y degradación de ácido ascórbico en función de la temperatura en puré y néctar de mango [Trabajo de grado]. Universidad de las Américas. Puebla, México.
- Raoult-Wack, A. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Food Science & Technology 5: 255-260.
- Raoult-Wack A. L.; Lenart, A.; Guilbert, S. 1992. Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions. In: MUJUNDAR A. S. (Ed.) Drying of Solids. New York: International Science Publishers. p. 211-251.
- Rivera, R. 1995. Cultivos Andinos en el Perú. Investigaciones y Perspectivas de su Desarrollo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ministerio de Agricultura. Editorial Minerva- Lima.
- Schwartz, M. 1999. Principios y aplicaciones de métodos de factores combinados en la transformación de frutas. II Congreso Venezolano de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- TDRI - Tropical Development and Research Institute. 1987. Root Crops, Second Edition. London. 380 pp.