

# OPTIMIZACION DE LA CONCENTRACION POR EVAPORACION OSMOTICA DEL JUGO DE MARACUYA (*Passifora edullis*)

## OPTIMIZATION OF THE CONCENTRATION BY OSMOTIC EVAPORATION OF PASSION FRUIT JUICE (*Passifora edullis*)

FREDDY FORERO LONGAS

*Candidato Doctor Ingeniería de Alimentos, Escuela Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, freddy.forero@correounivalle.edu.co*

CARLOS ANTONIO VÉLEZ PASOS

*Profesor Titular, Escuela Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. carlos.velez@correounivalle.edu.co*

Recibido para revisar Marzo 16 de 2012, aceptado Febrero 2 de 2013, versión final Marzo 21 de 2013

**RESUMEN:** Frutos de maracuyá cosechados en Gigante, Huila (Colombia) fueron seleccionados y caracterizados fisicoquímicamente, el jugo fue ultrafiltrado en un sistema Pellicon 2<sup>®</sup> con membranas planas (10 kDa) y área 0.5 m<sup>2</sup>. Para la optimización se aplicó un diseño experimental tipo superficie de respuesta, estudiando el efecto de 3 factores (caudal jugo, caudal salmuera y temperatura) sobre el flux y sólidos solubles. El evaporador osmótico fue un módulo de fibras huecas hidrófobas (MD020CP2N<sup>®</sup>) con área 0.104 m<sup>2</sup> y salmuera de CaCl<sub>2</sub> 45% p/v como solución extractora. El concentrado presentó excelentes características de calidad, la ultrafiltración fue efectiva en evitar la colmatación en la membrana de evaporación al disminuir la viscosidad y turbiedad del jugo. Se encontraron como condiciones óptimas de operación: temperatura 31 (°C), caudal salmuera 242 (ml/min), caudal jugo 146 (ml/min), con las que se alcanzó una concentración final de 52.25 ± 0.36 °Brix y un flux de 0.52 (kg/m<sup>2</sup>h).

**PALABRAS CLAVE:** Concentración, Evaporación osmótica, Ultrafiltración, Membranas, jugos frutas.

**ABSTRACT:** Passion fruits were harvested in Gigante, Huila (Colombia), selected and characterized physicochemically, the juice was ultrafiltered in a Pellicon2<sup>®</sup> system with flat membranes (10 kDa) and area 0.5 m<sup>2</sup>. For optimization was used an experimental design kind response surface, studying the effect of 3 factors: juice flow rate, brine flow rate and temperature, over the flux and final soluble solids. The osmotic evaporator was a hydrophobic hollow fiber module (MD020CP2N<sup>®</sup>) with area 0.104 m<sup>2</sup> and brine 45% w/v (CaCl<sub>2</sub>) as stripping solution. The concentrated presented excellent quality characteristics, ultrafiltration was effective in preventing fouling in evaporation membrane, by lowering viscosity and turbidity of juice. Were found to be optimal operating conditions: temperature 31 (°C), brine flow 242 (ml/min), flow juice 146 (ml/min), with which it reached a final concentration of 52.25 ± 0.36 °Brix and a flux of 0.52 (kg/m<sup>2</sup>h).

**KEYWORDS:** Concentration, Osmotic Evaporation, Ultrafiltration, Membranes, fruit juices.

### 1. INTRODUCCION

La evaporación osmótica ha surgido como una potencial técnica para ser aplicada en la industria alimentaria, química, cosmética y farmacéutica. Esta operación ha despertado bastante interés en el área de la concentración de jugos de frutas [1], [2],[3] y otros productos sensitivos al calor, debido a que puede realizarse a presión atmosférica, temperatura ambiente y condiciones casi isotérmicas, eliminando las reacciones de pardeamiento no enzimático, la degradación de color, sabor, disminuyendo la pérdida de aromas, y sumado a esto, un bajo consumo energético [4],[5]. Estos sistemas utilizan membranas hidrófobas para separar la solución de extracción (salmuera) del líquido

a concentrar; la diferencia en actividad de agua entre las soluciones se traduce en una diferencia de presiones de vapor, convirtiéndose en la fuerza impulsora para el transporte de agua en forma de vapor [6].

La evaporación osmótica se ha usado para concentrar jugos de diferentes frutas. En el caso de la naranja [7], se encontró que el concentrado presentó una composición similar de ácidos orgánicos y azúcares al jugo inicial, con una pérdida de 20% en vitamina C, posiblemente por fenómenos de oxidación; según Vaillant y colaboradores, el jugo de melón concentrado conservó su contenido de glucosa, fructosa, sacarosa, y vitamina C iniciales, sin degradación del color, con una reducción de los compuestos fenólicos en 30% y

un pH inferior a 4, adecuado para conservación por largos períodos [8]. De acuerdo con Hongvaleurat [9], el jugo de piña no presentó cambios fisicoquímicos significativos, el color fue preservado y no hubo pérdida detectable de aromas. Este comportamiento fue muy similar al del kiwi [10] y camu - camu [11], donde los principales factores de calidad fueron la pérdida de vitamina C y el cambio de color.

Colombia cuenta con una amplia variedad de frutas, dentro de las cuales el maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*), es de gran importancia económica en muchas regiones del país, consumiéndose principalmente en fresco, o exportándose en forma de jugo concentrado a 50 °Brix, el cual es obtenido por evaporación tradicional. Sin embargo, las propiedades del jugo son extremadamente sensibles a cambios producidos por los tratamientos térmicos, induciendo pérdidas de calidad [12].

Con el fin de buscar alternativas de procesamiento no térmico para la concentración del jugo de maracuyá, en este trabajo se aplicó la metodología de superficie de respuesta, para profundizar en los mecanismos de transferencia que rigen el desempeño del proceso de evaporación osmótica, esto con el fin de optimizarlo en cuanto a las condiciones de operación, buscando hacerlo más eficiente y robusto, frente a la variabilidad fisicoquímica que presenta el jugo de maracuyá.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Caracterización fruta

Se recolectaron y seleccionaron frutos de maracuyá amarillo (*Passiflora Edullis*), provenientes de cultivos comerciales del municipio de Gigante, Huila, Colombia (02°25'54.5" N 075°30'31.5" O, 950 msnm), descartando los que presentaban deterioro o señales por ataque de insectos y/o hongos, se desinfectaron por inmersión en solución de hipoclorito sodio al 1% (v/v) durante tres minutos, retirando el exceso con agua destilada y papel absorbente. A una muestra de 30 frutos se le determinó largo y ancho con un calibrador digital (500-197-20B ± 0.02 mm, Mitutoyo, USA); peso de fruto, pulpa, cáscara y semilla (310M ± 0.1g, Precisa Instruments, Suiza) para estimar los rendimientos. El jugo fue analizado para sólidos solubles a 20 ± 0.01

°C, con un refractómetro digital (Rx7000 ± 0.1°Brix, Atago, Japon); pH con un potenciómetro (Handylab ± 0.01 pH, Schott, Alemania) previamente estandarizado a 20 ± 0.1 °C con soluciones buffer pH 7 y 4, contenido de sólidos totales (920.151 AOAC), viscosidad a 25 ± 0.5 °C (DvIII Ultra ± 0.1 cP, Brookfield, USA) y turbiedad (2100N ± 0.2 NTU, Hach, USA).

### 2.2. Ultrafiltración

Se aplicó un pretratamiento del jugo de maracuyá, 30 litros fueron sometidos a un proceso de clarificación, inicialmente se prefiltró con una malla estándar # 70 en acero inoxidable con diámetro de poro 210 µm, seguidamente el jugo fue ultrafiltrado en una unidad Pellicon2® (Millipore, USA), que contiene un cassette de membranas planas Biomax® de polietersulfona modificada, dispuestas en paralelo y separadas por pantallas de polipropileno, la membrana tiene un corte molecular de 10 kDa y un área de filtración de 0.5 m<sup>2</sup>, el proceso se llevó a cabo con recirculación total del retenido, con el uso de una bomba peristáltica con flujo de 4 l/min, se trabajó bajo temperatura ambiente controlada de 28 °C, el permeado y retenido se sometieron por triplicado a pruebas fisicoquímicas de sólidos solubles (SS), pH, viscosidad, sólidos totales (ST) y turbiedad.

### 2.3. Plan experimental

Buscando optimizar el proceso de evaporación osmótica, se estableció un diseño experimental tipo superficie de respuesta central compuesto con bloques incompletos y aleatorios [13]. Se estudió el efecto de 3 factores, caudal jugo, caudal salmuera y temperatura con mínimos y máximos (20-40 ml/min), (10-30 ml/min) y (30-40 °C), respectivamente. En la tabla 1 se presentan los niveles codificados de los factores ensayados para un total de 17 tratamientos; las variables respuesta fueron el flux de agua evaporada (kg/hm<sup>2</sup>) y los sólidos solubles (°Brix), la duración de cada corrida fue de 8 horas; los factores, variables y duración de tratamiento, fueron establecidos basados en la experiencia de trabajo y reportes en literatura científica [14], [15]. Los modelos se obtuvieron al estudiar las relaciones de las variables respuesta mediante análisis de regresión lineal múltiple, para lo cual se utilizó el paquete estadístico Design Expert 8 trial® (Stat-Ease,

USA). El análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo a través de la prueba F con una probabilidad de 95%; este software también se usó para encontrar las condiciones óptimas de proceso (máximo flux de evaporación y contenido de sólidos solubles finales).

## 2.4. Evaporación osmótica

En la figura 1 se muestra el esquema del sistema de evaporación osmótica utilizado. Se concentraron osmóticamente 1.5 litros de jugo ultrafiltrado según las condiciones de cada tratamiento, en un módulo MD020CP2N® (Microdyn, Alemania) provisto de una membrana hidrofóbica de polipropileno de 0.104 m<sup>2</sup>; esta unidad posee 40 capilares con diámetro exterior (2.8 mm) y diámetro interno (1.8 mm), tamaño promedio del poro de 0.2 μm. Se usaron bombas peristálticas para la salmuera (carcasa) y el jugo (fibras), la salmuera tenía una concentración de 45% p/v de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) y actividad de agua 0.33 ± 0.02 (Aqualab 4TE, Decagon, USA). La relación jugo:salmuera fue 1:7 (litros), la concentración de la solución salina se mantuvo constante por medio de saturación con cloruro de calcio nuevo y la temperatura fue 28 ± 0.5 °C; controlada con un baño termostático (CW05G, Jeiotech, Corea) y un condensador de doble chaqueta, verificándose este parámetro en tiempo real con un termopar tipo J (800024, SperScientific, USA), el flux de evaporación fue calculado como la pérdida de peso del jugo cada 15 minutos; el concentrado final fue analizado de forma similar que en la ultrafiltración.

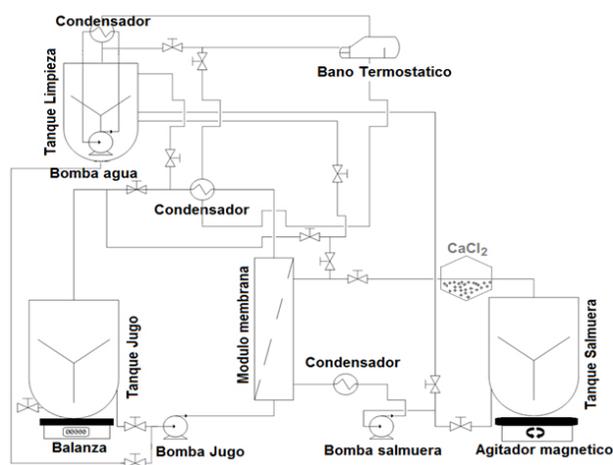


Figura 1. Sistema de evaporación osmótica.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Caracterización fisicoquímica

Se encontró que para el maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*) analizado, la relación largo/ancho fue 1.16 ± 0.06, siendo frutos de forma ovalada con un largo ligeramente superior, el peso promedio fue de 137.54 ± 12.07 g, los rendimientos fueron 34.53 ± 6.34% jugo, 33.32 ± 5.84% cáscara y 10.12 ± 1.45% semilla. El contenido de sólidos solubles fue 15.29 ± 1.08 °Brix y el pH 3.97 ± 0.33. Estos valores corroboran las excelentes características fisicoquímicas del jugo y están de acuerdo con lo reportado por otros autores [16], la alta viscosidad (9.15 ± 0.72 cP) y turbiedad (2365 ± 74 NTU) se deben a la gran cantidad de arilos desintegrados provenientes del despulpado [17].

### 3.2. Ultrafiltración

El proceso de prefiltrado fue útil para evitar la rápida colmatación de la membrana de ultrafiltración, al retirar las partículas más grandes del jugo inicial que son predominantemente paredes celulares que no fueron desintegradas por el despulpado. La remoción de estas partículas, provoca una gran reducción de la viscosidad, lo que redundó en un mejor desempeño del posterior proceso de evaporación osmótica. Este beneficio ha sido reportado anteriormente [18].

Para el jugo ultrafiltrado los valores de pH disminuyeron ligeramente por esta operación hasta 3.14 ± 0.09. Los sólidos totales, como se esperaba, aumentaron significativamente en el retenido (24.17 ± 0.78 g/100g) y bajaron en el permeado (15.25 ± 0.06 g/100g); la viscosidad también se redujo en el jugo filtrado final (1.30 ± 0.05 cP), acercándose a la del agua, un indicativo de la efectividad de la ultrafiltración para retirar material particulado insoluble. Los sólidos solubles disminuyeron en el permeado (14.11 ± 0.11 °Brix), algo poco deseable y que podría deberse a una incompleta reducción de componentes hemicelulósicos que son retirados por el ultrafiltro; la turbiedad se redujo significativamente (1.70 ± 0.2 NTU) observándose un jugo de color amarillo claro, translucido, sin partículas suspendidas. Este comportamiento es similar al descrito para jugos ultrafiltrados de piña [19] y kiwi [20].

**Tabla 1.** Diseño experimental utilizado y respuestas generadas para cada tratamiento

Tratamiento	Tipo punto	Factores codificados			Respuestas	
		A: Salmuera (ml/min)	B: Jugo (ml/min)	C: Temp (°C)	Flux (kg/hm <sup>2</sup> )	SS (°Brix)
1	Centro	0.00	0.00	0.00	0.346	38.5
2	Factorial	1.00	1.00	1.00	0.538	56.0
3	Factorial	1.00	1.00	-1.00	0.504	54.4
4	Centro	0.00	0.00	0.00	0.351	39.0
5	Axial	0.00	0.00	-1.60	0.138	35.5
6	Centro	0.00	0.00	0.00	0.345	38.7
7	Factorial	1.00	-1.00	-1.00	0.114	32.8
8	Axial	0.00	-1.70	0.00	0.337	36.2
9	Factorial	-1.00	1.00	-1.00	0.414	42.6
10	Axial	0.00	0.00	1.60	0.654	58.1
11	Factorial	-1.00	-1.00	-1.00	0.054	30.5
12	Factorial	1.00	-1.00	1.00	0.135	35.3
13	Axial	1.70	0.00	0.00	0.446	43.2
14	Axial	0.00	1.70	0.00	0.506	53.0
15	Axial	-1.70	0.00	0.00	0.056	30.8
16	Factorial	-1.00	-1.00	1.00	0.441	43.1
17	Factorial	-1.00	1.00	1.00	0.488	46.2

### 3.3. Evaporación osmótica

#### 3.3.1. Análisis estadístico

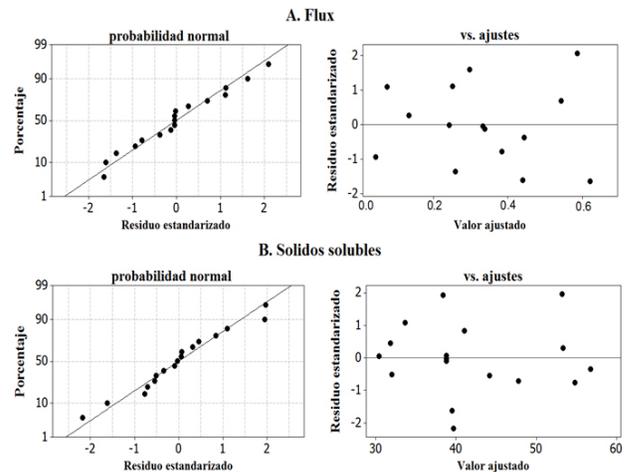
En función de la prueba *F* del análisis de varianza (Tabla 2) para un nivel de confianza de 95%, los valores de 4.61 y 8.80 indican que los modelos generados para la predicción del flux y sólidos solubles son estadísticamente significativos; adicionalmente, los factores A (salmuera), B (jugo), C (Temperatura) tiene un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) sobre las 2 variables respuesta seleccionadas. Estos resultados corresponden con los reportados por otros autores [21], [22].

**Tabla 2.** Análisis de varianza para el diseño experimental de superficie de respuesta

	Factor	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Prob > F
Flux	Modelo	0.320	3	0.110	6.40	0.0068
	A- Salmuera	0.023	1	0.023	1.35	0.0466
	B- Jugo	0.161	1	0.160	9.62	0.0084
	C- Temperatura	0.142	1	0.140	8.22	0.0132
Sólidos Solubles	Modelo	880.75	3	293.58	10.45	0.0009
	A- Salmuera	100.32	1	100.32	3.57	0.0451
	B- Jugo	537.47	1	537.47	19.14	0.0008
	C- Temperatura	242.94	1	242.97	8.65	0.0115

Se efectuó un análisis de los residuales para comprobar si se cumple la hipótesis de distribución normal, mediante un gráfico de probabilidad, que permite comparar la función de distribución observada en la muestra, con la función de distribución normal [23]. En la figura 2, se observa que la distribución de los residuos es normal, tanto para el flux como los solidos solubles, porque dichos valores son aproximadamente iguales y en consecuencia, los puntos del gráfico están situados

sobre la recta que pasa por el origen con pendiente igual a 1. En los gráficos de residuos vs ajustes estimados, si el modelo que se emplea es correcto, los residuos deberían carecer de estructura y lucir simplemente como ruido, pues toda la señal contenida en los datos ha sido explicada por el modelo, comportamiento evidenciado en los gráficos generados para el flux y sólidos solubles (figura 2).



**Figura 2.** Residuales de probabilidad normal y ajustes estimados, para Flux y Sólidos solubles

Las superficies de respuesta son representaciones graficas de funciones complejas y sirven con una guía visual del comportamiento de las variables analizadas, en la tabla 3 se presentan los modelos matemáticos, que sirven como base para la construcción de las superficies 3D, los coeficientes de correlación múltiple ( $R^2$ ) encontrados presentan un buen grado de ajuste (>88%) para la predicción del flux de evaporación y sólidos solubles. Estos modelos se convierten en herramientas valiosas para el seguimiento, control y optimización del proceso de evaporación osmótica del jugo de maracuyá.

**Tabla 3.** Parámetros de los modelos de regresión en términos de factores reales

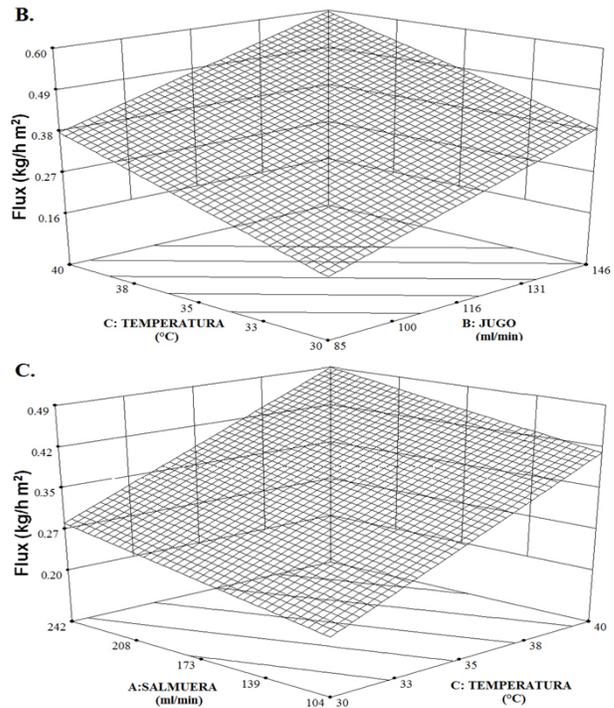
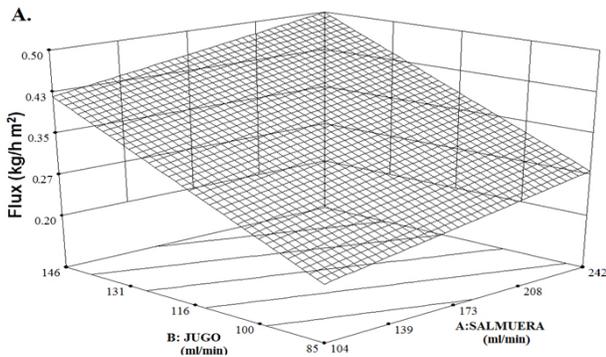
Respuesta	Tipo Modelo	Factores	Coefficiente	Error estandar	R <sup>2</sup>	Desviacion estandar
Flux	Lineal	Intercepto	-0.8807	0.0110	0.89	0.09
		A- Salmuera	0.0005	0.0001		
		B- Jugo	0.0035	0.0004		
		C- Temperatura	0.0204	0.0024		
Sólidos Solubles	Lineal	Intercepto	-18.5443	1.183	0.91	2.19
		A- Salmuera	0.0391	0.002		
		B- Jugo	0.2047	0.011		
		C- Temperatura	0.8606	0.052		

### 3.3.2 Comportamiento de los factores

En la evaporación osmótica la velocidad de flujo en la salmuera es un parámetro relevante, ya que las propiedades de ésta se mantienen constantes durante el proceso. El aumento en la velocidad causa un incremento en el flux de vapor (figuras 3a, 3c) y sólidos finales (figuras 4a, 4c), debido principalmente al aumento del coeficiente de transferencia de masa; este aumento no es indefinido y tiende a estabilizarse por encima de los 2 (m/s) de velocidad tangencial, lo que generalmente se atribuye a la capa de polarización, que limita la transferencia [24].

Además, una alta velocidad de la salmuera, acompañada de mucha turbulencia, resulta eficaz para mantener la superficie de la membrana limpia, con lo que el flux se puede mantener estable durante un buen periodo de tiempo [25]. Otra opción para potenciar el efecto extractor de la salmuera es bajar su temperatura, con lo cual se beneficia el flux de evaporación debido a que se aumenta el gradiente de presiones de vapor en el módulo. Esta temperatura no debería ser menor a 20 °C porque se puede presentar cristalización y precipitación de la sal.

La temperatura del jugo influye directamente sobre el flux de permeado y la concentración final de sólidos solubles, debido a que la presión de vapor del agua presente en el jugo se incrementa con la temperatura, favoreciendo el diferencial frente a la salmuera; en el proceso de evaporación osmótica la transferencia de masa es descrita asumiendo una relación lineal entre el flux de evaporación y las diferencias entre las presiones de vapor a través de la membrana de destilación [26].



**Figura 3.** Efecto de los factores evaluados sobre el flux, siendo constantes: A) Temperatura 35 °C, B) Salmuera 242 (ml/min), C) Jugo 116 (ml/min).

La relación entre la presión de vapor y la temperatura es de tipo exponencial, por lo tanto es de vital importancia el control de la temperatura durante todo el proceso ya que una pequeña variación puede producir un gran incremento o decremento en la presión de vapor [27] y por tanto influye notablemente sobre el flux de evaporación (figuras 3b, 3c).

El análisis de las superficies de respuesta permite evidenciar que al aumentar la temperatura se alcanzan valores finales mas altos en los sólidos solubles, debido a una menor viscosidad del concentrado, lo que repercute en una menor capa limite y mayor difusión del vapor de agua a través de la membrana (figuras 4b, 4c). Sin embargo, es necesario mantener control permanente sobre la temperatura debido a que este calentamiento del jugo, puede afectar su calidad organoléptica.

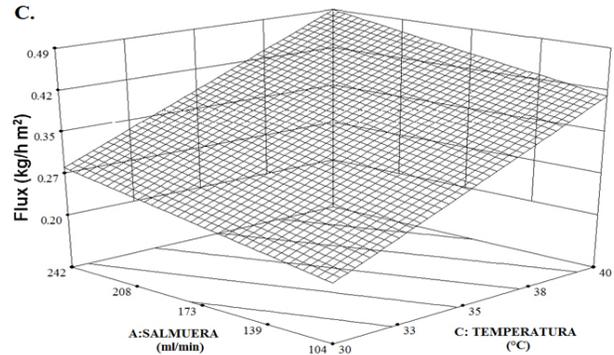
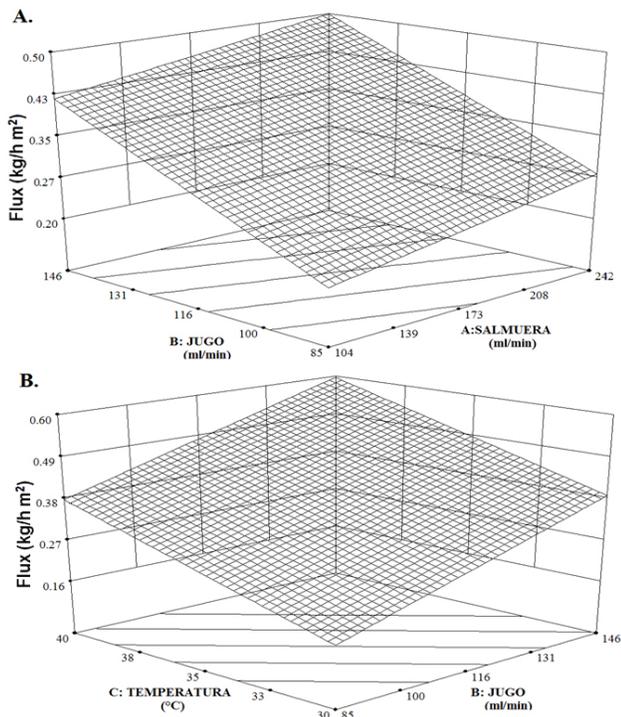
En las primeras etapas del proceso una baja velocidad en el circuito de alimentación (jugo) favorece su tiempo de residencia dentro del módulo de evaporación, con lo cual el tiempo de contacto entre el jugo y la salmuera

es mayor y el flux se va favorecido, pero cuando se alcanzan los 30 °Brix estas bajas velocidades son contraproducentes y el flux decrece a medida que el jugo se va concentrando por efecto del gran aumento de viscosidad y disminución de la actividad de agua, lo que ocasiona el fenómeno de polarización por concentración [28].

Durante esta etapa final es conveniente incrementar la velocidad tangencial (figuras 3a, 4a), teniendo en cuenta que se aumentan el consumo energético, erosión en la membrana y mas importante aun la presión, la cual nunca deberá superar el parámetro conocido como “presión de penetración”, establecido por la ecuación de Cantor-Laplace, que establece el limite máximo teórico que puede repeler la fuerza hidrófoba de la membrana, antes que el jugo la atravesie y entre en contacto con la salmuera [29].

### 3.3.3 Optimización y validación

Una vez comprobadas las bondades de ajuste, predicción de los modelos matemáticos generados y analizados el comportamiento de los factores sobre el flux y los sólidos solubles, se procedió a realizar una optimización multiobjetivo de la operación; para ello, se establecieron dos parámetros en esta etapa:



**Figura 4.** Superficies de respuesta para el efecto sobre los sólidos solubles, siendo constantes: A) Temperatura 35 °C, B) Salmuera 242 (ml/min), C) Jugo 116 (ml/min).

el objetivo (maximizar o minimizar) y el peso o importancia que varia desde 1 a 5, siendo cinco el mas importante. Estas restricciones se aplicaron a los factores y respuestas de la siguiente forma: Caudal salmuera (maximizar, 3), Caudal jugo (maximizar, 3), Temperatura (minimizar, 4), Flux (maximizar, 4), Sólidos solubles (maximizar, 5), para una operación de 8 horas. En problemas como este caso, es raro encontrar que las soluciones den lugar a que todas los parámetros cumplan con su valor óptimo, para este estudio se aplicó la función de deseabilidad (0 a 1), con el fin de seleccionar aquella combinación en la que esta fuera mayor, en la tabla 4 se presenta un resumen de las mejores combinaciones de factores, de un total de 16 opciones obtenidas del proceso de optimización por medio del software Design Expert 8®.

**Tabla 4.** Optimización de los factores de operación en la concentración osmótica del jugo de maracuyá

Combinacion	Salmuera (ml/min)	Jugo (ml/min)	Temperatura (°C)	Flux (kg/hm²)	SS (°Brix)	Deseabilidad
1	242	146	31	0.48	49.3	0.802
2	242	146	33	0.44	48.1	0.764
3	240	143	33	0.40	47.5	0.741
4	238	140	34	0.38	45.7	0.718
5	230	135	34	0.35	44.2	0.707

Al efectuar la etapa de validación bajo las condiciones óptimas de operación: temperatura 31 (°C), caudal salmuera 242 (ml/min) y caudal jugo 146 (ml/min), se alcanzó una concentración final de 52.25 ± 0.36 °Brix, lo que representa un 5.6% de diferencia con la predicción de la optimización; después de 8 horas el flux de evaporación se ve muy reducido (figura 5), lo cual hace técnicamente difícil continuar el proceso más allá de estas concentraciones, para las condiciones de trabajo establecidas.

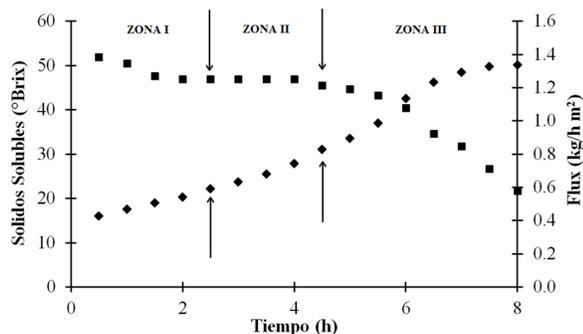
Al analizar los parámetros fisicoquímicos del jugo concentrado (tabla 5), se aprecia que el pH final disminuyó alrededor de un 20% respecto al inicial, explicado esto por el aumento en la proporción de los ácidos orgánicos presentes, comportamiento similar al de la viscosidad (15 veces mayor) y turbiedad, todos debido principalmente a la fuerte eliminación de agua, el color se movió hacia tonalidades amarillo oscuro, básicamente por la concentración de los pigmentos, la apariencia fue homogénea, finalmente se observó que el concentrado se disuelve totalmente en agua al efectuar su reconstitución.

**Tabla 5.** Características fisicoquímicas del jugo de maracuyá en diferentes etapas de proceso

Jugo	SS (°Brix)	Viscosidad (cP)	pH	ST (g/100g)	Turbiedad (NTU)
Inicial	15.29	9.15 ± 0.72	3.97 ± 0.33	19.50 ± 0.22	2365 ± 74
Prefiltrado	15.01 ± 0.92	6.36 ± 0.30	3.52 ± 0.25	16.41 ± 0.78	1583 ± 52
Ultrafiltrado	14.11 ± 0.11	1.30 ± 0.05	3.14 ± 0.09	15.25 ± 0.06	1.70 ± 0.2
Retenido	20.30 ± 0.55	22.7 ± 0.90	3.55 ± 0.96	24.17 ± 0.78	> 10000
Concentrado*	52.25 ± 0.36	141.2 ± 3.80	3.25 ± 0.06	54.81 ± 0.41	> 10000

± Promedio de tres mediciones \* Bajo condiciones optimizadas

Se observó la presencia de 3 zonas en el proceso de evaporación osmótica (figura 5), en la zona I, el flux de evaporación disminuyó rápidamente desde un máximo de 1.38 kg/m<sup>2</sup>h hasta 1.25 kg/m<sup>2</sup>h en un período de 2.5 horas. Esto puede explicarse por dos razones. La primera, la baja colmatación de la membrana debido a la ultrafiltración previa del jugo, lo que implica bajo contenido de partículas insolubles y la segunda, la baja viscosidad inicial que permite alcanzar mayores coeficientes de transferencia [30], considerándose que la resistencia por los efectos viscosos son despreciables para esta etapa del proceso; la zona II, puede ser considerada como una etapa de transición, donde inicia un periodo de disminución progresivo del flux hasta 1.21 (kg/m<sup>2</sup>h) en un periodo de 2 horas.



**Figura 5.** Evolución de los sólidos solubles (♦) y flux (■) en la concentración osmótica del jugo de maracuyá bajo condiciones optimizadas.

Para la zona III se aprecia la acelerada caída del flux de agua retirada, desde 1.21 a 0.52 (kg/m<sup>2</sup>h) en 3.5 horas, siendo un 8.3 % mayor al flux esperado según la optimización, el significativo aumento de la viscosidad (15.6 a 141.2 cP) por concentración de los sólidos solubles del jugo, ocasiona la formación de una capa límite en la membrana hidrófoba que genera una gran resistencia a la transferencia de masa [31]. Otro efecto que se produce de forma simultánea es la disminución de la actividad de agua y por consiguiente de la presión de vapor del jugo debido a la saturación que generan los sólidos solubles, lo que repercute directamente en el diferencial de presiones que se genera entre la salmuera y el jugo, con lo cual se altera el equilibrio líquido – vapor en las interfases de la membrana hidrófoba tanto del lado del producto como de la salmuera [32].

## CONCLUSIONES

El jugo de maracuyá es una excelente materia prima debido a sus características de calidad organolépticas y fisicoquímicas. La metodología experimental de superficie de respuesta se mostró como una herramienta adecuada en la optimización del proceso de concentración, generando resultados en los se puede evidenciar la influencia directa que ejercen los factores temperatura, caudal salmuera y caudal de jugo sobre el desempeño de la operación. El control permanente sobre la actividad de agua es fundamental para evitar que esta se convierta en un factor de ruido en los modelo y estos pierdan su veracidad, si no se controla adecuadamente puede inferir sobre el rendimiento del proceso debido a que se encuentra implícito en la ecuación del flux de evaporación.

La mejores condiciones de proceso se obtienen cuando los factores de operación se establecen en temperatura 31 (°C), caudal salmuera 242 (ml/min), caudal jugo 146 (ml/min), con los que se logra alcanzar finalmente 52.25 °Brix de sólidos solubles y un flux de 0.52 (kg/m<sup>2</sup>h). La evaporación osmótica es una alternativa para el procesamiento de frutas exóticas, produciendo concentrados que pueden ser usados en la dieta diaria, siendo más cómodo de usar, reduce costo de transporte, aumenta la vida útil; convirtiéndose en una alternativa para las industrias de alimentos, que buscan innovar con nuevos sabores y aromas, en áreas como las de bebidas gaseosas, energizantes, infantiles y funcionales.

## REFERENCIAS

- [1] Vaillant, F., Jeanton, E., Dornier, M., O'Brien, G. M., Reynes, M. and Decloux, M., Concentration of passion fruit juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation, *Journal of Food Engineering*. 47, pp. 195-202, 2001.
- [2] Valdés, H., Romero, J., Saavedra, A., Plaza, A. and Bubnovich, V., Concentration of noni juice by means of osmotic distillation, *Journal of Membrane Science*. 330, pp. 205-213, 2009.
- [3] Shaw, P. E., Lebrun, M., Dornier, M., Ducamp, M. N., Courel, M. and Reynes, M., Evaluation of Concentrated Orange and Passionfruit Juices Prepared by Osmotic Evaporation, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 34, pp. 60-65, 2001.
- [4] Bailey, A. F. G., Barbe, A. M., Hogan, P. A., Johnson, R. A. and Sheng, J., The effect of ultrafiltration on the subsequent concentration of grape juice by osmotic distillation, *Journal of Membrane Science*. 164, pp. 195-204, 2000.
- [5] Nii, S., Jebson, R. S. and Cussler, E. L., Membrane evaporators, *Journal of Membrane Science*. 201, pp. 149-159, 2002.
- [6] Forero, F. and Velez, C. A., Analysing transfer phenomena in osmotic evaporation, *Revista Ingenieria e Investigacion*. 31, pp. 40-49, 2011.
- [7] Cisse, M., Vaillant, F., Perez, A., Dornier, M. and Reynes, M., The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic evaporation, *International Journal of Food Science & Technology*. 40, pp. 105-116, 2005.
- [8] Vaillant, F., Cisse, M., Chaverri, M., Perez, A., Dornier, M., Viquez, F. and Dhuique-Mayer, C., Clarification and concentration of melon juice using membrane processes, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 6, pp. 213-220, 2005.
- [9] Hongvaleerat, C., Cabral, L. M. C., Dornier, M., Reynes, M. and Ningsanond, S., Concentration of pineapple juice by osmotic evaporation, *Journal of Food Engineering*. 88, pp. 548-552, 2008.
- [10] Cassano, A., Drioli, E., Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation, *Journal of Food Engineering*. 79, pp. 1397-1404, 2007.
- [11] Rodrigues, R. B., Menezes, H. C., Cabral, L. M. C., Dornier, M., Rios, G. M., Reynes, M., Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*), *Journal of Food Engineering*. 63, pp. 97-102, 2004.
- [12] Vera, E., Ruales, J., Dornier, M., Sandeaux, J., Persin, F., Pourcelly, G., Vaillant, F. and Reynes, M., Comparison of different methods for deacidification of clarified passion fruit juice, *Journal of Food Engineering*. 59, pp. 361-367, 2003.
- [13] Montoya, J., Benjumea, P. and Pashova, V., Optimization of the basic ethanolsis of ricin oil using the response surface methodology. *DYNA*, 78(168), pp. 90-97, 2011.
- [14] Cissé, M., Vaillant, F., Bouquet, S., Pallet, D., Lutin, F., Reynes, M., Dornier, M., Athermal concentration by osmotic evaporation of roselle extract, apple and grape juices and impact on quality, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 12, pp. 352-360, 2011.
- [15] Cassano, A., Conidi, C. and Drioli, E., Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum L.*) using membrane processes, *Journal of Food Engineering*. 107, pp. 366-373, 2011.
- [16] Kulkarni, S. G. and Vijayanand, P., Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa L.*), *LWT - Food Science and Technology*. 43, pp. 1026-1031, 2010.
- [17] Florez, L. M., Vaillant, F., Hollander, H. and Ariza-Nieto, M., Passion fruit juice sacs: biochemical characterization and enzymatic treatment, *Tropical Science*. 43, pp. 28-34, 2003.
- [18] Yu, J. and Lencki, R., W. Effect of enzyme treatments on the fouling behavior of apple juice during microfiltration, *Journal of Food Engineering*. 63, pp. 413-423, 2004.
- [19] De Barros, S. T. D., Andrade, C. M. G., Mendes, E. S. and Peres, L., Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration, *Journal of Membrane Science*. 215, pp. 213-224, 2003.
- [20] Tasselli, F., Cassano, A. and Drioli, E., Ultrafiltration of kiwifruit juice using modified poly(ether ether ketone) hollow fibre membranes, *Separation and Purification Technology*. 57, pp. 94-102, 2007.
- [21] Thanedgunbaworn, R., Jiratananon, R. and Nguyen, M. H., Vapour Transport Mechanism in Osmotic Distillation Process, *International Journal of Food Engineering*. 5, pp. 1-19, 2009.

- [22] Ravindra Babu, B., Rastogi, N. K. and Raghavarao, K. S. M. S., Concentration and temperature polarization effects during osmotic membrane distillation, *Journal of Membrane Science*. 322, pp. 146-153, 2008.
- [23] Anderson-Cook, C. M., Borror, C. M. and Montgomery, D. C., Response surface design evaluation and comparison, *Journal of Statistical Planning and Inference*. 139, pp. 629-641, 2009.
- [24] Romero, J., Modeling heat and mass transfer in osmotic evaporation process, *AIChE Journal*. 49, pp. 300-308, 2003.
- [25] Courel, M., Dornier, M., Rios, G. M. and Reynes, M., Modelling of water transport in osmotic distillation using asymmetric membrane, *Journal of Membrane Science*. 173, pp. 107-122, 2000.
- [26] Gostoli, C., Thermal effects in osmotic distillation, *Journal of Membrane Science*. 163, pp. 75-91, 1999.
- [27] Wang, L. and Min, J., Modeling and analyses of membrane osmotic distillation using non-equilibrium thermodynamics, *Journal of Membrane Science*. 378, pp. 462-470, 2011.
- [28] Bui, A. V., Nguyen, H. M. and Joachim, M., Characterisation of the polarisations in osmotic distillation of glucose solutions in hollow fibre module, *Journal of Food Engineering*. 68, pp. 391-402, 2005.
- [29] Courel, M., Dornier, M., Herry, J.-M., Rios, G. M. and Reynes, M., Effect of operating conditions on water transport during the concentration of sucrose solutions by osmotic distillation, *Journal of Membrane Science*. 170, pp. 281-289, 2000.
- [30] Bui, V. A., Vu, L. T. T. and Nguyen, M. H., Modelling the simultaneous heat and mass transfer of direct contact membrane distillation in hollow fibre modules, *Journal of Membrane Science*. 353, pp. 85-93, 2010.
- [31] Martínez-Díez, L., Florido-Díaz, F. J., Vázquez-González, M. I., Study of Polarization Phenomena in Membrane Distillation of Aqueous Salt Solutions, *Separation Science and Technology*. 35, pp. 1485 - 1501, 2000.
- [32] Romero, J., Analysis of boundary layer and solute transport in osmotic evaporation, *AIChE Journal*. 49, pp. 2783-2792, 2003.