

## **EFFECTO DE LA PRESIÓN TRANSMEMBRANA Y VELOCIDAD TANGENCIAL SOBRE LOS CAMBIOS EN EL FLUJO DE PERMEADO Y TURBIDEZ DEL JUGO DE MANGO (*Mangifera indica L*) MICROFILTRADO**

TONNY GARCIA-RUJANO<sup>1</sup>, ALEXIA TORRES<sup>2</sup>, ELBA SANGRONIS<sup>2</sup>, JUAN FERNÁNDEZ<sup>3</sup>, JOSÉ MARTÍNEZ<sup>3</sup>,  
ELBA GARRIDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Control de Calidad, Decanato de Agronomía, UCLA, Lara - Venezuela, Teléfono: (0251) 2591630, tonnygarcia@ucla.edu.ve.

<sup>2</sup> Departamento de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Programa de Doctorado en Ciencias de Alimentos, Universidad Simón Bolívar USB, Caracas – Venezuela.

<sup>3</sup> Programa Ciencias del Agro y del Mar, UNELLEZ-San Carlos, estado Cojedes, Venezuela

Recibido: junio 2012

Recibido en forma final revisado: agosto 2012

### **RESUMEN**

El aumento de la demanda de alimentos, con mínimo proceso por parte de los consumidores, los cuales se encuentren libre de aditivos y se mantengan estables durante el almacenamiento, sugiere la necesidad de explorar otros tratamientos físicos como posibles alternativas para los procesos de calor. La microfiltración tangencial (MFT) es un proceso no térmico que se utiliza para clarificar jugos o bebidas elaborados a partir de frutas. Sin embargo, estos sistemas presentan problemas por el decrecimiento del flujo de permeado ( $J_p$ ) con la consecuencia inmediata de la disminución progresiva del permeado, afectando el rendimiento a nivel industrial. En esta investigación se analizó el efecto de la presión transmembrana (PTM) y velocidad tangencial en un sistema piloto, con membranas de Polivinildenedifloride (PVDF) y diámetro de poro de 0,22  $\mu\text{m}$ , para detectar los cambios en el  $J_p$  y la turbidez del jugo de mango clarificado. El jugo clarificado se circuló por el sistema a PTM de 0,5; 0,8 y 1,1  $\cdot 10^5$  Pa y velocidad tangencial de 4; 5 y 6 m/s. El ensayo fue montado bajo un diseño factorial  $3^2$ . La velocidad tangencial, incrementó linealmente el  $J_p$  y disminuyó valores de turbidez en el permeado del jugo de mango, mientras que la PTM presentó un efecto lineal, aumentando el  $J_p$  y disminuyendo la turbidez.

*Palabras clave:* Microfiltración, Polivinildenedifloride, Clarificación, Pretratamiento, Tangencial.

## **EFFECT OF TRANSMEMBRANE PRESSURE AND CROSS-FLOW CHANGES PERMEATE FLOW AND TURBIDITY MANGO JUICE (*Mangifera indica L.*) MICROFILTRATION**

### **ABSTRACT**

Increased demand for food with minimal processing by consumers, which are free of additives and remain stable during storage, suggesting the need to explore other physical treatments as alternatives to heating processes. The tangential microfiltration (MFT) is a non-thermal process used to clarify juices or drinks made from fruit. However, these systems present problems for the decrease in permeate flux ( $J_p$ ) with the immediate consequence of the progressive decrease of the permeate, affecting industrial performance. In this study we examined the effect of transmembrane pressure (TMP) and tangential velocity in a pilot system with Polivinildenedifloride membranes (PVDF) and pore diameter of 0.22 microns, to detect changes in turbidity and  $J_p$  clarified mango juice. The clarified juice was circulated through the system at TMP of 0.5, 0.8 and 1.1  $\cdot 10^5$  Pa and tangential velocity of 4, 5 and 6 m/s. The trial was mounted under a factorial design  $3^2$ . Tangential speed, increased and decreased linearly  $J_p$  turbidity values in the permeate of mango juice, while the TMP had a linear effect, increasing and decreasing the turbidity  $J_p$ .

*Keywords:* Microfiltration, Polivinildenedifloride, Clarification, Pretreatment, Tangential.

## INTRODUCCION

La MFT consiste en la separación de componentes de un fluido alimentado, el cual se puede mover frontal o tangencialmente a la superficie de la barrera (membrana). Es decir, cuando la alimentación y la presión están orientadas en el mismo sentido contra la membrana se denomina microfiltración frontal. En el caso de que la alimentación se mueva paralelamente a la superficie de la membrana se llama microfiltración tangencial (MFT), la cual es la más usada por presentar ventajas en el arrastre o barrido en el retenido, trayendo como consecuencia la minimización en la acumulación de partículas rechazadas y posterior formación de torta sobre la superficie de la membrana (Pandolfi, 2008).

La MFT está basada en la teoría de la filtración descrita por la ley de Darcy, en la cual el flujo de permeado es función de la presión transmembrana (PTM) y de una resistencia total. En condiciones ideales, únicamente la configuración de la membrana (forma y tamaño de poros y espesor de la membrana) daría una resistencia intrínseca ( $R_m$ ).

Uno de los grandes problemas del uso de sistema de membranas en la clarificación de jugos de frutas pulposas, es el decrecimiento del flujo de permeado con la consecuencia inmediata, del incremento de la resistencia de la membrana y una disminución progresiva del permeado, este fenómeno es conocido como ensuciamiento, lo cual ocasiona paradas en el proceso para realizar limpieza o remoción de esta torta. En tales casos se hidrolizan los polisacáridos mediante enzimas, para mejorar el filtrado. A pesar de esto se presentan dificultades en la operación y disminución en el rendimiento del equipo (Vélez *et al.* 2007).

La selección del sistema enzimático o preparación enzimática adecuada, que trabaje de forma sinérgica con procesos mecánicos, ayuda a obtener extractos de calidad, estables, completamente naturales y a maximizar la eficiencia del equipo utilizado en los tratamientos (Brito *et al.* 2010).

Por lo antes expuesto, la MFT se ha convertido en una tecnología emergente en la industria del procesamiento de frutas debido a la simplificación y eliminación de varias operaciones unitarias. Sólo se deben tener en cuenta variables intrínsecas como lo son: velocidad tangencial, presión transmembrana, temperatura del fluido, composición del fluido a microfiltrar, entre otras.

En la presente investigación del efecto de la presión transmembrana y velocidad tangencial sobre los cambios

en el flujo de permeado y la turbidez del jugo de mango clarificado, se encontró que al aumentar de manera gradual la PTM de trabajo, el  $J_p$  varió de 89 a 93,8 L/h\*m<sup>2</sup>, este comportamiento ocurre a cualquier velocidad tangencial en el rango de 4 – 6 m/s.

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

### Obtención del jugo de mango microfiltrado

El jugo clarificado se procesó de acuerdo a García *et al.* (2012) a partir de la pulpa de mango tipo bocado almacenada, previo descongelado, se adicionó agua en una relación (p/p) 2:1 (agua: pulpa de mango) y se incorporó enzima comercial Pectinex Ultra SP-L, en concentración de 664 mg de enzima/kg de jugo, durante 115 min con agitación y temperatura constante de 8 RPM y 30°C, respectivamente. Luego se centrifugó (2000 RPM por 5 min) y se separó el precipitado del sobrenadante mediante decantación.

El sobrenadante o jugo clarificado que se obtuvo en el paso anterior, representó el fluido de alimentación en el proceso de MFT, el cual se llevó a cabo en un sistema de filtración de flujo tangencial modelo Cogent™ M marca Millipore, con membranas de PVDF y diámetro de poro de 0,22 µm, con un área efectiva de filtrado de 0,1 m<sup>2</sup>.

### Efecto de la PTM y velocidad tangencial sobre los cambios en el $J_p$ y turbidez en el permeado

El jugo clarificado se colocó en el tanque balanza del microfiltrador y se hizo circular por el sistema a PTM en un rango de 0,5 – 1,1 bar y velocidad tangencial de 4 – 6 m/s (a modo concentración). Las combinaciones o tratamientos fueron fijadas de acuerdo a un diseño factorial para dos factores a tres niveles de experimentación, en la Tabla 1 se presenta la matriz de diseño. El ensayo se repitió dos veces, para un total de 27 unidades experimentales.

### Flujo de permeado ( $J_p$ )

Se calculó de acuerdo a lo sugerido por Ushikubo *et al.* (2007). Colocando un vaso de precipitado como recolector de permeado sobre una balanza electrónica (con precisión de 0,001 g), la medición se realizó en intervalos de tiempo de 5 minutos. La masa del permeado fue controlada aplicando el factor de concentración (FC) de 2, el cual se calculó mediante la ecuación 1:

$$FC = mf / (mf - mp) \quad (1)$$

donde:  $m_f$  es la masa total en la alimentación y  $m_p$  es la masa de permeado, en un tiempo  $t$  determinado.

Para calcular el flujo de permeado se utilizó la ecuación 2:

$$J_p = m_p / (t \cdot A) \quad (2)$$

donde:  $A$  es el área efectiva de filtrado de la membrana,  $t$  es el tiempo donde se toma el valor de  $m_p$ .

### Turbidez

Fue determinada usando un turbidímetro modelo 2100P USA, y los resultados se expresaron en las Nephelometric Turbidity Units (NTU).

Al finalizar cada ensayo, se realizó un ciclo de lavado, que comprende una limpieza con solución de ácido fosfórico a 0,1N, con períodos de enjuague de 30 min, en los que se utilizó agua desmineralizada hasta alcanzar la permeabilidad inicial de la membrana de 223,12 L/h·m<sup>2</sup>.

Los datos obtenidos bajo diseño estadístico se analizaron mediante análisis de varianza, análisis de regresión y graficas de superficies de respuestas y contornos en el software STATDISTICA V7.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores experimentales de turbidez y  $J_p$  por efecto de la velocidad de microfiltrado y PTM se muestran en la Tabla 1.

### Análisis de varianza

En la Tabla 2 se muestra el resumen del grado de significancia de cada efecto o término del modelo poblacional para las respuestas  $J_p$ , y turbidez, y se aprecia que existe un efecto altamente significativo en los tratamientos. Así mismo se observó la implicación en los cambios, ocurridos en  $J_p$  y turbidez, por efectos de los factores velocidad tangencial y PTM; de igual manera se encontró un efecto de interacción de ambos factores sobre las respuestas estudiadas.

**Tabla 1.** Matriz de tratamientos y valores experimentales obtenidos por efecto de la velocidad de microfiltrado y PTM sobre el  $J_p$  y la turbidez del jugo de mango clarificado

UE	Variables independientes		Variables dependientes	
	PTM (x10 <sup>5</sup> Pa (bar))	Velocidad Microfiltrado (m/s)	Flujo de permeado (L/m <sup>2</sup> ·h)	Turbidez (NTU)
1	0,8	6	93,05	4,65
2	1,1	4	93,70	3,85
3	0,5	4	88,15	6,75
4	1,1	5	94,31	3,78
5	1,1	6	95,23	3,45
6	0,5	5	90,00	6,10
7	0,5	6	90,10	5,38
8	0,8	4	91,15	5,80
9	0,8	5	92,15	4,00
1	0,8	6	93,55	4,73
2	1,1	4	94,12	3,88
3	0,5	4	89,70	7,00
4	1,1	5	95,23	3,75
5	1,1	6	96,70	3,50
6	0,5	5	90,50	6,13
7	0,5	6	90,93	5,40
8	0,8	4	92,12	6,10
9	0,8	5	92,83	4,23
1	0,8	6	93,75	4,70
2	1,1	4	93,98	3,50
3	0,5	4	89,54	6,80
4	1,1	5	94,34	3,80
5	1,1	6	96,56	3,51
6	0,5	5	90,45	6,21
7	0,5	6	90,15	5,45
8	0,8	4	90,25	6,00
9	0,8	5	92,68	4,18

En el  $J_p$  no se manifestaron efectos significativos de los términos cuadráticos, lo cual es indicativo de modelos que tiende a mostrar linealidad. En cuanto a la turbidez, el término cuadrático de la velocidad tangencial, presentó un efecto de segundo orden, el cual produce un valor mínimo o máximo en la turbidez del jugo de mango, cuando se trabaja con valores intermedios de la velocidad tangencial.

**Tabla 2.** Resumen del ANAVAR para las respuestas  $J_p$  y turbidez del jugo de mango bocado por efecto de la velocidad de microfiltración y PTM

Fuente de variación	JP Valor Fo	Turbidez Valor Fo
Tratamientos	98,337**	28,286**
Regresión	156,119**	42,189**
Velocidad de microfiltrado ( $X_1$ )	91,341**	27,736**
PTM ( $X_2$ )	684,530**	171,00**
$X_1^2$	0,214ns	2,134*
$X_2^2$	0,178ns	0,638ns
$X_1 * X_2$	4,331*	6,604*
Falta de ajuste	2,044ns	5,019*
Repetición	1,075ns	0,164ns

\*\* Altamente significativa ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ( $p < 0,05$ )

n.s. No significativo ( $p > 0,05$ )

### Análisis de regresión de los modelos ajustados

El resumen de los coeficientes estimados para cada modelo poblacional de las respuestas  $J_p$  y turbidez, se observa en la Tabla 3. Se denota que el factor velocidad tangencial presenta un coeficiente regresor ( $\beta_1$ ) de incremento lineal (primer orden) sobre  $J_p$  y disminuye los valores de turbidez en el jugo de mango clarificado. El incremento es del orden de 0,956 sobre el flujo de permeado y el decrecimiento es de -0,445 para los cambios en la turbidez del jugo, respectivamente. Esta tendencia se estima por cada unidad de aumento en el factor velocidad tangencial. Igual efecto lineal mostró el coeficiente ( $\beta_2$ ) de la PTM, ya que a medida que se incrementó el factor se aumento el  $J_p$  (5,593) y disminuyó la turbidez (-4,111).

Las interacciones de los dos factores en estudio mostraron efecto significativo ( $p < 0,05$ ) en el  $J_p$  y la turbidez del jugo microfiltrado, es decir que existió un efecto sinérgico entre la velocidad tangencial ( $X_1$ ) y la PTM ( $X_2$ ), para aumentar los valores de  $J_p$  y turbidez en el jugo de mango clarificado. Este comportamiento de la interacción entre la PTM y la velocidad resulta lógico debido a que cuando se incrementan los valores de estas variables, existe un aumento en el flujo del permeado con la consecuencia inmediata de un incremento en los sólidos insolubles del permeado, lo cual se traduce en un aumento de los NTU finales del microfiltrado. Watanabe et al. (2006) en jugos clarificados de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) por MFT, publicaron resultados semejantes usando los mismos factores e intervalos, éstos hallaron mayores  $J_p$  para jugos

más turbios, cuando trabajaron en los niveles superiores de velocidad tangencial (6 m/s) y PTM ( $1,1 * 10^5$  Pa) del ensayo.

El término cuadrático del factor velocidad tangencial, incrementó la turbidez de manera significativa, cuando se trabajó o se aumentó la velocidad de 4 a 6 m/s. Vera (2009) reportó comportamiento asintóticos en la turbidez de aguas depuradas cuando trabajó a velocidad tangencial superior a los 3 m/s. No se registró efecto cuadrático a consecuencia de la variación de la PTM en el rango de 0,5 a  $1,1 * 10^5$  Pa, en las dos respuestas estudiadas.

**Tabla 3.** Resumen de los coeficientes estimados del modelo poblacional planteado, para las respuestas estudiadas

Coefficiente Estimado	$J_p$	Turbidez
$\beta_0$	82,349**	10,471**
$\beta_1$	0,956**	-0,445**
$\beta_2$	5,593**	-4,111**
$\beta_{11}$	-0,069 ns	0,338**
$\beta_{22}$	-0,846 ns	-0,333ns
$\beta_{12}$	0,806 *	-0,986**

\*\* Altamente significativa ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ( $p < 0,05$ )

n.s. No significativo  $p > 0,05$

### Efecto de la velocidad tangencial y PTM

Las superficies de respuesta y contornos de  $J_p$  y turbidez del jugo de mango clarificado, se presentan en las Figuras 1 y 2, respectivamente. En las mismas se observa un comportamiento lineal o casi lineal, lo cual concuerda con lo encontrado en la Tabla 3 donde no se halló efecto en la curvatura del modelo, adicionalmente no se observan óptimos matemáticos sino regiones operativas. Esta observación es análoga a la registrada por Watanabe et al. (2006) al filtrar jugo de tamarindo en una membrana de polipropileno, donde se presentó efecto lineal de los factores velocidad y PTM sobre el  $J_p$  y la turbidez. Brito et al. (2010) lo observaron en la clarificación de Granadilla (*Passiflora ligularis* L) cuando varió la PTM de 0,5 a 2 bar y, por último, Laverde (2010) manifestó que existe una relación lineal entre el  $J_p$  y la PTM cuando se trabaja entre 1 – 3 bar, ya que se encontró una correlación de 0,99 del  $R^2$ .

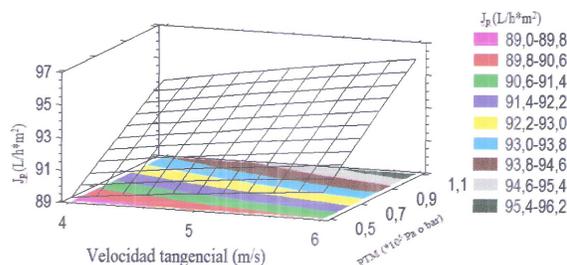
En la Figura 1, se muestra que la velocidad tangencial y PTM podrían ensayarse a intervalos mayores a los presentados en el estudio, para optimizar el  $J_p$ , ya que no mostró una tendencia a maximizar o minimizar. Si se trabaja con 6

m/s de velocidad tangencial, el  $J_p$  se incrementa a medida de que se aumenta la PTM de trabajo. Un rango máximo operativo de 95,4 – 96,2 L/h\*m<sup>2</sup> de  $J_p$ , se obtendría, al combinar velocidad tangencial entre 5 a 6 m/s y PTM de 1,1\*10<sup>5</sup> Pa.

Estos flujos son muy altos comparados con los resultados de Chaverri (2003), quien reporta en jugo pulposo de melón flujos entre los 70L/hm<sup>2</sup> y los 80L/hm<sup>2</sup>, y un factor de reducción volumétrica (FRV) óptimo de 3. Vaillant et al. (1999) en jugo pulposo de maracuyá, obtuvieron flujos cercanos a 40 L/hm<sup>2</sup> y un FRV óptimo de 3. Igualmente, Vaillant et al. (2001) en jugos de mandarina, piña, naranjilla, mora (Castilla) y mango, reportaron flujos de permeado de 50 L/hm<sup>2</sup>, 70 L/hm<sup>2</sup>, 65 L/hm<sup>2</sup>, 70 L/hm<sup>2</sup> y 60 L/hm<sup>2</sup> y valores de FRV óptimos de 3,5; 3,5; 3,2; 3,0 y 1,3 respectivamente.

Por lo tanto, los altos flujos de permeados encontrados es indicativo de que existen bajas concentraciones de partículas depositadas en la membrana durante el procesamiento de microfiltración del jugo de mango bocado, ya que estos depósitos fueron disminuidos fácilmente mediante el uso del tratamiento enzimático realizado a la mezcla pulpa-agua y a una etapa de centrifugación que disminuyen los sólidos insolubles en suspensión, tal como lo indican Montero (2008), Brito *et al.* (2010) y Laverde (2010). Adicionalmente, al aumentar la velocidad tangencial mejora la fuerza de corte en la superficie de la membrana, lo que evita los depósitos de partículas y reduce al mínimo la capa polarizada, y conduce a un coeficiente de transferencia de masa superior (Vaillant *et al.* 1999; Ushikubo *et al.* 2007; Furukama *et al.* 2008).

Ciertamente, al incrementar la velocidad tangencial en un fluido se incrementa el  $J_p$ , pero esta variable debe estar limitada por el tamaño de las bombas a utilizar para alcanzar dichos flujos y el costo energético que producen tales velocidades. Así mismo de este factor depende el grado de erosión de la pared de la membrana y flujo turbulento que se produce que afectan significativamente el grado de clarificación de un jugo (Ortiz *et al.* 2008).



**Figura 1.** Superficie de respuestas y contornos estimada para la respuesta  $J_p$  en el microfiltrado de jugo de mango por efecto de la velocidad tangencial y PTM

El efecto que tiene la PTM sobre el  $J_p$  se muestra en la Figura 1. En este estudio se encontró que al aumentar de manera gradual la PTM de trabajo, el  $J_p$  varió de 89 a 93,8 L/h\*m<sup>2</sup>, este comportamiento ocurre a cualquier velocidad tangencial en el rango de 4 – 6 m/s. Muchos autores han reportado un comportamiento lineal entre el  $J_p$  y PTM en ensayos con jugos obtenidos a partir de frutas tropicales (pulposas). Laverde (2010) presentó una relación lineal entre el  $J_p$  y la PTM, cuando ensayó con arazá (Eugenia Stipitapa) con pulpas refinadas y tratadas enzimáticamente. Por otro lado, se debe tener en cuenta que al utilizar altas PTM se produce una compactación de la capa de partículas depositadas en la superficie de la membrana, que se traduce en suciedad y, en consecuencia, contribuye a disminuir del  $J_p$  e incrementar variables de clarificación como el color L y la absorbancia (Gallego, 2011).

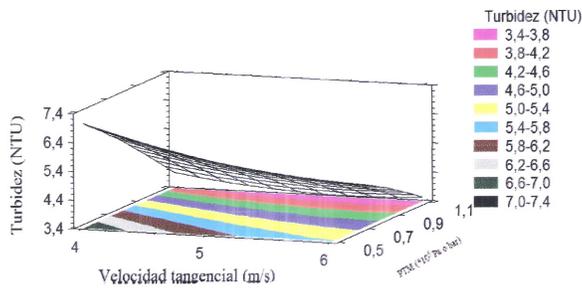
Es bueno mencionar que en este estudio no se encontró tal depósito o suciedad en grado significativo, debido a las características físicas y químicas del jugo de mango bocado previamente tratado con enzimas pectidicas y centrifugado, ya que no se manifestaron disminuciones drásticas sobre el  $J_p$  por efecto PTM, como en otros estudios con frutas tropicales (Ushikubo *et al.* 2007; Mirsaedghazi et al. 2010). Asimismo, se puede atribuir la baja variabilidad del  $J_p$  y la turbidez (Figura 2) a los valores bajo experimentados de PTM en este ensayo (0,5 – 1,1 bar). Aunque sí se obtuvo una variabilidad significativa estadística ( $p < 0,01$ ; Tabla 2) de este factor (PTM) sobre  $J_p$ .

El mínimo operativo de turbidez (3,4 – 3,8 NTU) se logra con alta velocidad tangencial de microfiltrado próximas a 6 m/s y PTM en un valor de 0,5\*10<sup>5</sup> Pa (Figura 2), esta combinación logra un producto final bastante transparente (3,4 NTU), lo cual no beneficiaría la aceptabilidad futura del producto por el consumidor puesto que el mercado está acostumbrado a observar el color característico de la fruta en el producto envasado (Ávila et al. 2010).

Por lo tanto, los valores recomendados de turbidez son los cercanos a 6 NTU (Ávila et al. 2010), esta turbidez puede lograrse en este ensayo al combinar una PTM de 0,5\*10<sup>5</sup> Pa y velocidad de 4 a 5 m/s. Esta combinación de los factores afectará el flujo de permeado, en valores aproximados de 91 L/h\*m<sup>2</sup> (Figura 2), lo cual no se considera significativo ya que un  $J_p$  es aceptable a nivel industrial por encima de 40 L/h\*m<sup>2</sup> (Brito et al. 2010).

## CONCLUSIONES

Se encontró el efecto que causa la variación de la PTM y la velocidad tangencial sobre los cambios ocurridos en un



**Figura 2.** Superficie de respuestas y contornos estimada para la respuesta turbidez en el microfiltrado de jugo de mango por efecto de la velocidad tangencial y PTM

jugo de mango bocado microfiltrado.

La velocidad tangencial incrementa de manera lineal (primer orden) el  $J_p$  y disminuye de la misma forma la turbidez en el jugo de mango clarificado. Igual efecto lineal mostró la PTM, ya que a medida de que se incrementó la PTM aumento el  $J_p$  (5,594) y disminuyó la turbidez (-4,111).

El mínimo operativo de turbidez (3,4 – 3,8 NTU) se logra con alta velocidad tangencial próximas a 6 m/s y PTM en un valor de  $0,5 \cdot 10^5$  Pa, esta combinación logra un producto final bastante transparente (3,4 NTU).

El rango máximo operativo en del orden de 95,4 – 96,2 L/h\*m<sup>2</sup> de flujo de permeado, al combinar velocidad tangencial de microfiltrado en el rango de 5 a 6 m/s y PTM  $1,1 \cdot 10^5$  Pa.

Se debe tener en cuenta que valores muy bajos de turbidez tienden a disminuir el color característico del jugo de mango bocado, por lo tanto los valores recomendados de turbidez están en valores cercanos a 6 NTU, esta turbidez puede lograrse al combinar una PTM de  $0,5 \cdot 10^5$  Pa y velocidad de 4 a 5 m/s. El flujo de permeado, será sacrificado de sus valores máximos a valores intermedios de 91 L/h\*m<sup>2</sup>.

Los resultados encontrados de PTM y velocidad tangencial, pueden ser aplicados a cualquier fruto tropical del tipo pulposo, siempre que se realice previamente a la microfiltración, una etapa de centrifugación para disminuir los sólidos insolubles.

## REFERENCIAS

ÁVILA, D., ESTÉ, O., GARCÍA-RUJANO, T. (2010). Microfiltración para mejorar la calidad de jugos tropicales. Trabajo especial para optar al título “Ingeniero

Agroindustrial. UNELLEZ-Cojedes, Venezuela. 58 pág.  
BRITO, B., PICO, L., VERA, E., VAILLANT, F. (2010). Estudio de las condiciones óptimas de operación para la obtención de granadilla (*Passiflora Ligularis* L.) a través de la microfiltración tangencial. ESPOL – RTE. 23 (2): 49 -55.

CHAVERRI, M. (2003). Elaboración de un jugo de melón clarificado por medio de microfiltración tangencial. Trabajo para optar al título de Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, San José. 105 pág.

FURUKAWA, T., KOKUBO, K., NAKAMURA, K., MATSUMOTO, K. (2008). Modeling of the permeate flux decline during MF and UF cross-flow filtration of soy sauce lees. J Memb Sci. 322: 491–502.

GALLEGO, H. (2011). Factores que influyen en la colmatación de membranas de microfiltración tangencial y representación matemática. ReCiTeIA. 11 (1b): 189 – 203.

GARCIA-RUJANO, T., TORRES, A., FERNANDEZ, J., MARTINEZ, J. (2012). Evaluación del pretratamiento enzimático en el proceso de clarificación de un jugo de mango “bocado”. Enviado para revisión a la Revista Técnica de la facultad de ingeniería de la Universidad del Zulia (LUZ) – Venezuela.

LAVERDE, J. (2010). Estudio de las condiciones óptimas para la obtención de jugo clarificado de arazá (*Eugenia stipitata*) mediante procesos enzimáticos y membranarios. Trabajo para optar al título de ingeniero agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador. 153 pág.

MIRSAEEDGHAZI, H., EMAM-DJOMEH, Z., MOUSAVI, S., AROUJALIAN, A., NAVIDBAKSHI, M. (2010). Clarification of pomegranate juice by microfiltration with PVDF membranes. Desalination. 264 (3): 243 – 248.

MONTERO, M. (2008). Estudio del proceso para la obtención de jugo clarificado de mora por microfiltración tangencial. Trabajo para optar al título de Lic. en tecnología de alimentos. San José – Costa Rica. 78 pág.

ORTIZ, M., VÉLEZ, C., FRANCO, E. (2008). Modelos matemáticos de la colmatación de membrana en microfiltración tangencial. Revista Ingeniería e Investigación 28 (1): 123 – 132.

- PANDOLFI, E. (2008). Aplicación de la tecnología de membranas en el proceso de vinificación. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero civil químico. Universidad de Concepción - Chile. 74 pág.
- USHIKUBO, F., WATANABE, A., VIOTTO, L. (2007). Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. *J. Memb. Sci.* 288: 61–66.
- VAILLANT, F., MILLAN, P., O'BRIEN, G., DORNIER, M., DECLoux, M., REYNES, M. (1999). Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. *J. Food Engin.* 42: 215-224.
- VAILLANT, F., MILLAN, P., DORNIER, M., DECLoux, M., REYNES, M. (2001). Strategy for economical optimization of clarification of pulpy fruit juices using cross flow microfiltration. *J. Food Engin.* 48: 83-90.
- VÉLEZ, C., FRANCO, E., GONZÁLEZ, J. (2007). Nuevos procesos membranarios aplicados a frutas tropicales – Ajuste hacia la fase industrial. Informe final de automatización. COLCIENCIA-UNIVALLE-CIRAD-PASSICOL, Cali.
- VERA, L. (2009). Microfiltración de agua residual depurada. Mejora de flujo de permeado por inyección de gas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero químico. Universidad de la laguna. 131 pág.
- WATANABE, A., USHIKUBO, F., VIOTTO, L. (2006). Evaluation of permeate flux in microfiltration of Tamarind (*Tamarindus indica* L) juice using polypropylene membrane. *Desalination.* 200: 337 – 338.