

Estudio de las Condiciones Óptimas de Operación para la Obtención de Jugo Clarificado de Granadilla (*Passiflora Ligularis* L.) a través de la Microfiltración Tangencial

B. Brito (1), L. Picho (1,2), E. Vera (2), F. Vaillant (3)

(1) INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad, Panamericana Sur km 1, Casilla 17-01-340, Teléfono (593)23007134. Quito, Ecuador.

(2) Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología, Ladrón de Guevara E11-253, Teléfono: (593)22507138. Quito, Ecuador,

(3) Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD), Convenio CITA-UCR/CIRAD-FLHOR. Teléfono: (506)2073596. San José, Costa Rica,

(1) bbrito@uio.satnet.net, (2) veraedwi@mail.epn.edu.ec, (3) fabrice.vaillant@cirad.fr

Resumen

Se estudió la obtención del jugo clarificado de granadilla mediante la microfiltración tangencial. Se empleó como pre-tratamiento la liquefacción enzimática y la centrifugación. Se realizó un ensayo preliminar con un cóctel enzimático comercial seleccionado, se establecieron las condiciones óptimas para el tratamiento enzimático de la materia prima. Sensorialmente se determinó la temperatura que no altere las características organolépticas propias de la pulpa de la granadilla. El tratamiento óptimo se logró con 50 ppm de Rapidasse TF a 30° C, durante 30 minutos y centrifugación a 481 G.

La materia prima obtenida para alimentar el módulo de microfiltración tiene 2,01 % de sólidos insolubles en suspensión y 1,38 cSt de viscosidad cinemática. Se determinaron las condiciones óptimas de operación del equipo con una membrana de 0,5 μ , las cuales fueron: presión transmembranaria de 2 bar, factor de reducción volumétrica de 7 y el flujo del permeado de 50 L.h⁻¹.m². Habiéndose obtenido el jugo clarificado de granadilla de calidad sensorial y nutricional similar a la fruta original y estabilizado en frío.

El análisis económico a escala de planta piloto, determinó el precio de venta del producto en US \$ 4,22 el litro.

Palabras claves: granadilla, microfiltración tangencial, tratamiento enzimático, jugo clarificado, membranas inorgánicas.

Abstract

To obtain clarified of granadilla juice a technological study was realized by crossflow. An enzymatic liquefaction and centrifugation were used like a pre-treatment. A preliminary essay was used with the commercial enzymatic cocktail, and with this result an optimum condition was created for granadilla pulp. Sensorially the temperature of the enzymatic treatment was determined to don't alter the organoleptics characteristics of the granadilla pulp. The concentration and the enzymatic treatment were optimized; the best treatment was achieved with 50 ppm of Rapidasse TF to 30 °C, for 30 minutes and the centrifugation to 481 G.

The matter it prevails obtained to feed the micro filtration module has 2,01 % of insoluble solids in suspension and 1,38 cSt of viscosity kinematics. The best operations conditions for crossflow was determinated, using a membrane of 0,5 μ m. The good conditions were a PTM of 2 bar, a factor of volumetric reduction of 7 and the flow of the permeated of 50 L.h⁻¹.m². Clarified of granadilla Juice of similar and nutritional quality was obtained to the original fruit and stabilized in cold.

The economical analysis was realized to scale of pilot plant, this determined the sale price of the product in USD 4,22 per liter.

Keywords: granadilla, cross flow, enzymatic treatment, clarified juice, inorganic membranes

1. Introducción

La granadilla, que proviene de Ecuador y Colombia, es reconocida por su calidad organoléptica y nutricional, el contenido de vitaminas y minerales contribuye a fortalecer el sistema inmunológico. Por su aroma, se utiliza la flor de la granadilla en la elaboración de perfumes, que representa un mercado

importante. No obstante, el estancamiento tecnológico está ocasionando al país la pérdida de posicionamiento en el mercado; entre las causas identificadas podemos citar la falta de alternativas de consumo y de nuevas formas de presentación, que logren captar la atención de mayor número de consumidores, pues los sabores y aromas de las frutas tropicales, son muy apetecidas en los mercados

internacionales. Sin embargo, en muchas ocasiones estas frutas no llegan a su destino en buenas condiciones debido a la falta de sistemas de acondicionamiento y almacenamiento apropiados [1].

Se buscó una alternativa tecnológica para la granadilla, ya que algunos expertos indican que: "No existe mucha tecnología para las frutas tropicales, por lo tanto hay que buscar nuevas opciones de proceso", con el fin de ofrecer alternativas competitivas y sostenibles, para el acondicionamiento y la transformación, que permitan posicionarla en el mercado y darles mayor valor agregado.

Se tomó en cuenta el interés del consumidor hacia productos innovadores, económicos y saludables, junto con el incremento de la demanda de productos derivados de frutas que conserven las propiedades organolépticas originales [2] [3].

Dentro de la industria de alimentos y bebidas, la separación de partículas es cada vez más importante en la producción de zumos de frutas, cerveza y muchos productos lácteos [4].

Por lo tanto, la filtración por membranas es la tecnología moderna que facilita esta operación y que es usada en casi todos los jugos de frutas. Con el uso de membranas se obtienen jugos clarificados de alta calidad organoléptica y nutricional, que se asemejan a la fruta natural, libre de microorganismos, sin el empleo de tratamientos térmicos, como son la pasteurización en frío [5] [6].

La microfiltración tangencial (MFT) es un proceso físico de separación, con el uso de una membrana, que permite remover los constituyentes de una mezcla líquida en función del tamaño de las partículas, que se basa en un mecanismo de filtración, en el que la mezcla líquida fluye bajo presión sobre la superficie de la membrana. Como resultado de la presión aplicada y debido a que poseen un tamaño molecular menor al de las porosidades de la membrana, el solvente y ciertos solutos pasan a través de ella; mientras que, otros solutos, cuyo tamaño sea superior a $0,10\ \mu\text{m}$, que corresponde a bacterias, levaduras, partículas finas y coloides, son retenidos. Se consigue un permeado libre de sólidos en suspensión y estéril [7] [8].

Estudios realizados sobre el uso de las enzimas como tratamiento previo en las materias primas a utilizarse en la MFT, señalan que clarificar los jugos pulposos es muy tedioso, debido a la alta concentración de sólidos en suspensión en el jugo, los cuales se concentran en el retenido durante el proceso de MFT. Los sólidos suspendidos, usualmente responsables de estas molestias son polisacáridos que vienen de las paredes celulares de las frutas, como pectinas insolubles, celulosas, hemicelulosas y lignina [6] [9].

La alta concentración de estas macromoléculas en la superficie de la membrana produce una capa dinámica que, en algunos casos, forma una capa impermeable como gel. Para limitar molestias en la

membrana en un sistema MFT, el jugo usualmente se trata previamente con enzimas [10].

El efecto de la hidrólisis enzimática del jugo de frutas previo al tratamiento de filtración es muy importante con el objeto de mejorar los flujos de permeado y por lo tanto disminuir el efecto de colmataje [11].

La selección del sistema enzimático o preparación enzimática adecuada, que trabaje de forma sinérgica con los procesos mecánicos (pulverización, prensado, filtración etc.), ayuda a obtener extractos de calidad, estables, completamente naturales y a maximizar la eficacia del equipo utilizado en los tratamientos. Por tal razón, la caracterización química de la pared celular de las frutas, permite seleccionar de mejor manera el tipo de cóctel enzimático comercial [12].

De allí, que la clarificación de jugos de frutas mediante microfiltración tangencial son cada vez más aplicados en la industria alimenticia debido a sus múltiples ventajas, como la simplificación y/o supresión de varias operaciones unitarias; al ser un proceso continuo, disminuye significativamente el tiempo y los costos de energía [6].

En este trabajo se estudió la eficiencia y los parámetros de producción aplicables a escala industrial para la elaboración de jugo clarificado de granadilla, a través de la MFT.

Se realizaron las siguientes actividades: Se determinó el mejor pre-tratamiento enzimático de la pulpa de granadilla, la concentración del cóctel enzimático comercial seleccionado y la velocidad de centrifugación. Se optimizó las condiciones de trabajo en la MFT para la pulpa de granadilla tratada enzimáticamente con y sin centrifugación. Se estudió la MFT, para la obtención de los mejores rendimientos del jugo clarificado de granadilla. Se realizó una evaluación económica del producto.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Materia prima. El estudio se realizó con granadilla del ecotipo Colombiana, cosechada en la Granja Experimental Tumbaco del INIAP y de las plantaciones comerciales en Patate, provincia de Tungurahua. Con las frutas completamente maduras, de acuerdo con el viraje de color de la epidermis, conforme a la norma colombiana [13]. Se lavó con agua con 50 ppm de cloro, se cortó y despulpó en un equipo industrial, la pulpa se almacenó en tanques de 20 L, en un cuarto de congelación a $-18\ ^\circ\text{C}$.

2.1.2. Equipos y accesorios. Se usaron los siguientes equipos y accesorios: Unidad piloto de MFT/UFT, de $0,24\ \text{m}^2$, adaptado para membranas cerámicas de micro y ultra filtración de marca Membralox® modelo P-19-40. Cuarto de congelación y conservación, marca Zanotti. Balanza, KEIN modelo 60K20NL. Balanza electrónica SHIMADZU modelo

LIBROR EB-3200H. Refractómetro manual ATAGO modelo HSR-500. Viscosímetros Cannon Instrument Company, 200 D675, 100 N226. Cronómetro Thomas Scientific. Viscosímetro, marca Brookfield Engineering Laboratories, Inc TC-501D. Termómetro digital, Control Company. Baño maría, marca Cole Parmer, modelo 1266-02. Centrifuga, marca WIFUG Original X3. Ultracentrifuga, marca International Equipment Company IEC B-22. pHmetro de electrodo, marca ORION modelo EA-940. Medidor de color Tec-PCM™. Reflectómetro MERCK modelo RQ FLEX 16970. Mesa de acero inoxidable. Ollas de acero inoxidable.

2.2. Métodos

La investigación se llevó a cabo en dos fases. En la primera se seleccionó el cóctel enzimático comercial y la velocidad de centrifugación óptima. En la segunda fase se determinó las condiciones de operación para la MFT, la cual se desarrolló con el mejor tratamiento seleccionado en la primera fase.

2.2.1 Selección de parámetros y condiciones de proceso. Fase I

Unidad experimental. Se realizó a escala de laboratorio, con un lote de 30 kg de pulpa de granadilla.

Tratamientos. Para la determinación de los tratamientos, se utilizó un plan de experiencias esférico de 10 puntos, con 8 observaciones y 2 puntos centrales, que permitieron obtener una mayor precisión. El plan de experiencias sirvió para optimizar la organización de las pruebas, a partir del cual se obtuvo el máximo de información, con el mínimo necesario de experiencias [14]. Se llegó a determinar los tratamientos para el tiempo del tratamiento enzimático y para la concentración con la velocidad de centrifugación.

Selección de variables de estudio

a) Temperatura del tratamiento enzimático. En la selección de la temperatura óptima, se realizaron dos ensayos preliminares para establecer el cóctel enzimático y el efecto de la temperatura sobre los cambios sensoriales de la pulpa de granadilla.

Para comprobar si existen cambios sensoriales en la pulpa por efecto de la temperatura, se realizó un análisis sensorial duo-trío. La evaluación sensorial de los jugos se llevó a cabo con un panel de 20 catadores y con muestras de jugo tratadas a 30, 35, 40 y 45 °C, durante una hora, contra un testigo tratado a 18 °C. Los resultados se analizaron estadísticamente con la ecuación descrita por Meilgaard, 1990 [15]

b) Tipo de cóctel enzimático comercial. Mediante un ensayo comparativo entre los cócteles enzimáticos Rapidasse TF y Klezyme 150, y las concentraciones

seleccionadas (50, 90, 175, 260 y 300 ppm), se confirmó la preparación enzimática comercial óptima para esta pulpa, y la temperatura óptima.

c) Tiempo del tratamiento enzimático. Para definir el tiempo óptimo del tratamiento enzimático con el cual se alcance una reducción significativa de los Sólidos Insolubles en Suspensión (SIS), se realizó un ensayo preliminar con un plan de experiencias para la concentración del cóctel enzimático entre 50 a 300 ppm y el tiempo en un rango de 0 a 90 minutos, a la temperatura óptima seleccionada.

d) Tiempo de Centrifugación. Debido a que la pulpa de granadilla es ligera (no es espesa), se estableció en dos minutos el tiempo de centrifugación, valor confirmado por la literatura para procesos industriales.

e) Concentración del cóctel enzimático comercial. Es importante definir una concentración que logre una reducción del contenido de SIS, sin incrementar significativamente los costos de producción.

f) Velocidad de centrifugación. Se usa como alternativa para conseguir la máxima remoción del porcentaje de SIS. En la tabla 1, se presenta el plan de experiencias para la concentración del cóctel enzimático y la velocidad de centrifugación. Con base a los resultados se seleccionaron las condiciones óptimas que se utilizaron en la Fase II.

Tabla 1. Plan de experiencias para la concentración del cóctel enzimático y la velocidad de centrifugación

Tratamientos	Concentración (ppm)	Velocidad de centrifugación (G)
1	50	331
2	90	190
3	90	472
4	175	132
5	175	530
6	175	331
7	175	331
8	260	472
9	260	190
10	300	331

Condiciones: temperatura óptima, 30 min

Selección de parámetros de optimización

El tratamiento que se seleccionó estuvo integrado por la concentración del cóctel enzimático y la velocidad de centrifugación, que proporcionó los mejores resultados relacionados con la disminución de la viscosidad y el menor porcentaje de SIS.

Condiciones del proceso

El plan de experiencia con los 10 tratamientos establecidos, que se presentan en la tabla 1, se sometió al proceso de enzimación y posteriormente a una centrifugación, con la dosis de cóctel enzimático, temperatura y tiempo seleccionados. En cada tratamiento se tomaron muestras de pulpa tratada

enzimáticamente y centrifugada, para medir el porcentaje de SIS, viscosidad y rendimiento de la centrifugación.

Análisis estadístico

Para el análisis de varianza y las pruebas de Tukey al 5 %, se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 4.0. Los paquetes estadísticos Sigma Plot® 2001 y JMP® versión 5.1, se utilizaron para determinar las ecuaciones y la aceptabilidad de los resultados.

Los valores para los indicadores estadísticos se consideró que cuando R^2 debe ser igual o mayor a 0,75, la probabilidad de que uno de los factores sea nulo debe ser inferior a 0,05 y la probabilidad de que la falta de ajuste (P_{fit}) sea nula debe ser mayor a 0,1.

2.2.2 Selección de parámetros y condiciones del proceso. Fase II

Unidad experimental. La unidad experimental se conformó por dos lotes de pulpa de granadilla, uno con 15 kg de pulpa tratada enzimáticamente y otro con 50 kg de pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada. Se trabajó con un módulo de MFT construido en acero inoxidable AISI 304 L, que contiene en su interior una membrana de cerámica con diámetro de poro de 0,5 μm .

Selección de parámetros fijos

La temperatura de operación, es la misma que se seleccionó para el proceso de enzimación en la Fase I, la cual se mantuvo constante en el módulo MFT, por medio del intercambiador tubular (refrigerante). La velocidad tangencial, se utilizó la establecida en el manual del equipo que es de 5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Condiciones del proceso

a) Modo recirculación. Inicialmente en la Fase II, se efectuaron ensayos en modo recirculación con pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada a FRV 1, con el fin de seleccionar la PTM de operación para todos los ensayos. En este modo, todo el permeado recircula al tanque de alimentación.

b) Modo concentración. Se realizaron ensayos con pulpa con tratamiento enzimático y con pulpa a las condiciones que se optimizaron la Fase I, se trabajó en modo concentración, donde el permeado extraído no recircula y existe una alimentación continua de la pulpa, por medio de una bomba, que permite el control manual de la PTM. La extracción del permeado se efectuó hasta alcanzar el FRV deseado.

c) Ensayo en modo concentración y recirculación. Con el tratamiento óptimo aplicado a la pulpa, se inició el ensayo en modo concentración y una vez alcanzado el FRV deseado, se operó en modo recirculación. Se varió la PTM entre 0,8 y 2,5 bar.

Cada minuto se tomaron los datos experimentales del flujo del permeado (F_p), valor que dividido para el área de la membrana sirve para obtener el J_p ; así

como de la presión de entrada (P_e), la presión de salida (P_s) y la temperatura (T). Cada dos minutos se determinó el volumen del permeado (V_p). Se controló la calidad física y química en las muestras de permeado y de retenido.

Al finalizar cada ensayo, se realizó un ciclo de lavado, que comprende una limpieza con solución básica y ácida, con períodos de enjuague en los que se utilizó agua desmineralizada, hasta obtener valores correspondientes a la permeabilidad inicial de la membrana de 232,38 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Selección del parámetro para la variable en estudio

Presión transmembranaria (PTM). Se realizaron ensayos en modo recirculación a FRV 1 y a valores de PTM de 0,5 - 1 - 1,5 y 2 bar. Se realizaron ensayos en modo concentración hasta alcanzar el colmataje de la membrana, para la pulpa con tratamiento enzimático y la pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación, con el fin de conocer el efecto del contenido de los SIS sobre el J_p .

Selección de parámetros de optimización

Flujo. Para los ensayos de pulpa con tratamiento enzimático, con y sin centrifugación, se midió el flujo del permeado cada dos minutos. Los datos se tomaron para los ensayos en modo concentración y recirculación y se utilizaron para la obtención del J_p óptimo.

Factor de Reducción Volumétrica. El ensayo en modo concentración se realizó al alcanzar el FRV óptimo, a una PTM de 2,0 bar. Se calcularon con los resultados del J_p obtenidos cada dos minutos.

Obtención de jugo clarificado de granadilla. Para obtener el permeado o jugo clarificado de granadilla, se trabajó con las condiciones experimentales optimizadas. Se procedió a clarificar la pulpa con el mejor pre-tratamiento y cuando se alcanzó el FRV óptimo y el J_p correspondiente, se determinó el flujo del retenido (F_r).

Caracterización físico-química. Se caracterizó el producto que se obtuvo a las mejores condiciones de operación del equipo MFT. En el retenido y el permeado, se analizó: sólidos solubles, pH, vitamina C, viscosidad cinemática, % SIS, color y turbidez. Además se incluyeron en la caracterización las muestras de la pulpa y el residuo de la centrifugación.

Análisis estadístico. Los resultados de los ensayos se analizaron con los paquetes estadísticos Sigma Plot® 2001 y JMP® versión 5.1, los mismos se utilizaron para determinar las ecuaciones y la aceptabilidad de los resultados.

Análisis económico. Se realizó una estimación de los costos de producción para el jugo clarificado de granadilla a las condiciones optimizadas, se determinó el costo unitario de producción y el precio de venta a escala de planta piloto. Se consideraron los costos directos, de depreciación de maquinarias, equipos y utensilios requeridos, de suministros de producción y de personal.

3. Resultados y discusión

3.1. Fase I.

El tratamiento optimizado se obtuvo al tratar la pulpa con 50 ppm de Rapidasse TF a 30 °C, durante 30 minutos. La ecuación que se ajusta y describe el efecto de la concentración de la enzima (C_1), sobre los SIS se presenta a continuación:

$$\% \text{ SIS} = 20,71 - 0,0061C_1 \quad \text{Ec. 1}$$

Se obtuvo la mejor combinación para el tratamiento enzimático, a las condiciones establecidas del pretratamiento de la pulpa y la centrifugación a 481 G. A estas condiciones, la materia prima obtenida para alimentar el módulo de MFT se obtuvo un rendimiento del 84 % en el sobrenadante de la pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada, con 2,01 % de SIS y 1,38 cSt de viscosidad cinemática.

Con los resultados obtenidos, la ecuación que describe el efecto de la concentración de enzima (C_1) y la velocidad de centrifugación (VC) sobre los sólidos insolubles en suspensión es:

$$\% \text{ SIS} = 3,3 + (-0,0122) * C_1 + (-0,0003) * VC \quad \text{Ec. 2}$$

3.2. Fase II

Se determinaron las condiciones óptimas de operación del MFT, los mejores resultados, se obtuvieron al emplear pulpa con tratamiento enzimático y centrifugada, empleando un flujo del retenido (Fr) de 1,80 L.h⁻¹, el factor de reducción volumétrico (FRV) de 7, se obtuvo jugo clarificado de granadilla a un flujo del permeado por unidad de área de la membrana (J_p) de 50 L.h⁻¹.m⁻².

Debido a las características propias de la granadilla, el rendimiento de la pulpa es bajo, lo cual repercute en el rendimiento del jugo clarificado. El rendimiento para la pulpa con tratamiento enzimático al alcanzar un FRV de 2 es del 50 % y para la pulpa enzimada y centrifugada al alcanzar un FRV de 7 es del 87 %.

En la Figura 1, se ilustra el efecto del contenido de los SIS de la pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación sobre el J_p y el FRV respecto al tiempo de operación.

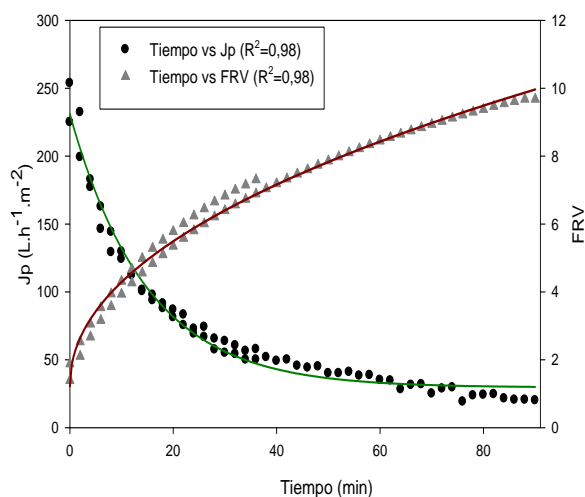


Figura 1. Variación de J_p y FRV en la MFT de pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación

Se observa que el J_p , disminuye con el tiempo mientras que el FRV aumenta. Es decir, que a medida que transcurre el ensayo, se obtiene un mayor volumen del permeado acumulado, y como el volumen del retenido se mantiene constante, aumenta el FRV.

El J_p inicia en 245 L.h⁻¹.m⁻² y disminuye hasta que a los 43 minutos se registra valores de 47 L.h⁻¹.m⁻², con un FRV de 7,3. El J_p se considera aceptable a nivel industrial, ya que no es recomendable operar con valores menores a 40 L.h⁻¹.m⁻². El colmataje de la membrana se produjo a los 90 minutos de operación y se obtuvo un J_p mínimo de 27 L.h⁻¹.m⁻² con un FRV 10.

Las ecuaciones que describen la variación de J_p y el FRV con el tiempo (t), durante la MFT de la pulpa de granadilla, se obtuvieron a partir de los resultados experimentales y son las siguientes:

$$J_p = 29,59 + 201,34(0,9847)^t \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{FRV} = 1,22 + 1,02 t^{0,48} \quad \text{Ec. 4}$$

En la Figura 2, se presenta la relación y el comportamiento, del FRV y J_p , para las pulpas: tratada enzimáticamente, y tratada enzimáticamente y centrifugada.

Se muestra que al aumentar el FRV hasta valores cercanos a 8, el flujo del permeado disminuye por debajo de 40 L.h⁻¹.m⁻², para la pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación y a FRV de 2,5 en el caso de la pulpa solo con tratamiento enzimático.

La ecuación que describe la relación entre el J_p y FRV para las respuestas experimentales en la pulpa con tratamiento enzimático es la siguiente:

$$J_p = 1,58 + 126,72(0,615)^{\text{FRV}} \quad \text{Ec. 5}$$

La ecuación que describe la relación entre el J_p y FRV para la pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación es la siguiente:

$$J_p = -4,95 + 402,82(0,76)^{FRV} \quad \text{Ec. 6}$$

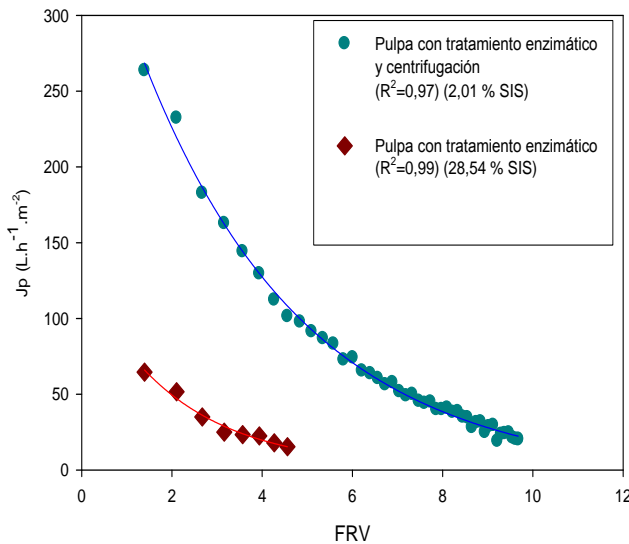


Figura 2. Relación del J_p y FRV para pulpa con tratamiento enzimático, y pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación de granadilla

El alto contenido de los SIS en la pulpa tratada enzimáticamente se relaciona directamente con el bajo valor del FRV durante el proceso. Las ecuaciones encontradas sirven para estimar los J_p de acuerdo al FRV que se establezca en la experimentación. Al usar el tratamiento enzimático para la pulpa, se obtiene una reducción en la viscosidad y el contenido de SIS. Sin embargo, la mayor reducción para estas variables se encontró al realizar una etapa de centrifugación adicional.

La utilización de pulpa con tratamiento enzimático en la obtención del jugo clarificado de granadilla no es viable a escala industrial, debido a que en 4 minutos se alcanza un flujo de $40 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ a FRV 2, por esta razón se recomienda utilizar adicionalmente la centrifugación.

3.3. Caracterización físico química del producto

El proceso para la obtención del jugo clarificado mediante MFT, con pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada, muestra que el pH se mantiene inalterable en todas las muestras. El contenido de los sólidos solubles se incrementa en 3 % durante el proceso, se tiene valores de 15 °Brix en el retenido y 14,6 °Brix en el permeado y en la materia prima que se alimenta al equipo.

Los SIS de la pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada con 2,01 % se incrementan a 4,17 % en el retenido de la MFT. La turbidez se relaciona directamente con el contenido de los sólidos

insolubles en suspensión, ya que de 743 NTU, en la materia prima de alimentación al circuito, sube a 5.633 NTU en el retenido de la MFT y baja a un valor menor de 10 en el permeado. Esto significa que la membrana, de cerámica de $0,5 \mu\text{m}$, retiene al mucílago que proporciona la turbidez del jugo de granadilla.

La viscosidad dinámica para el residuo de centrifugación es de 37,5 cSt a 200 rpm y 25°C .

Se calculó el factor del comportamiento del fluido y se obtuvo un valor de $\eta < 1$, por lo tanto se determina que tiene un comportamiento pseudo plástico, información relevante para su aplicación industrial.

4. Conclusiones

Del análisis sensorial, se concluye que la granadilla es una fruta muy sensible al calor, por lo que es necesario trabajar hasta una temperatura de 30°C , para evitar cambios organolépticos.

Al usar el tratamiento enzimático para la pulpa, se obtiene una reducción en la viscosidad y el contenido de sólidos insolubles en suspensión (SIS). Sin embargo, la mayor reducción para estas variables se encontró al realizar una etapa de centrifugación adicional.

Las condiciones óptimas para el tratamiento enzimático y la centrifugación para la pulpa de granadilla son: 50 ppm de Rapidasse TF, a 30°C , durante 30 minutos, y una centrifugación a 481 G. Con lo que se obtiene 84 % de rendimiento en el sobrenadante con un contenido de 2,01 % SIS.

La utilización de pulpa con tratamiento enzimático en la obtención de jugo clarificado de granadilla no es viable a escala industrial, debido a que en 4 minutos se alcanza un flujo de $40 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ a FRV 2.

Los mejores resultados de la MFT al utilizar una membrana de cerámica de $0,50 \mu\text{m}$, se obtuvo al emplear la pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación, condiciones que fueron optimizadas en este estudio, en el piloto de microfiltración tangencial del INIAP y son el flujo del retenido (Fr) de $1,80 \text{ L.h}^{-1}$, el factor de reducción volumétrico (FRV) de 7, para obtener jugo clarificado de granadilla a un flujo del permeado por unidad de área de la membrana (J_p) de $50 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

El flujo del permeado (J_p) al usar pulpa con tratamiento enzimático y centrifugación, se aumenta al incrementar la presión transmembranaria (PTM), por lo que se seleccionó en 2 bar.

Al finalizar el proceso de MFT, el rendimiento de la pulpa con tratamiento enzimático fue de 50 %, y para la pulpa tratada enzimáticamente y centrifugada de 87 %.

Se calculó el costo de un litro de jugo clarificado de granadilla con precio unitario de US \$ 3,52 y su precio de venta, considerado un 20 % de utilidad, sería de US \$ 4,22.

5. Agradecimientos

Al proyecto FONTAGRO 14-03 “Desarrollo tecnológico para el fortalecimiento del manejo poscosecha de frutales exóticos exportables de interés para los países andinos”, liderado en Ecuador por el INIAP y en Colombia por CORPOICA.

A la Dra. Susana Espin, Responsable del Departamento de Nutrición y Calidad y por su intermedio a los compañeros del INIAP, por la colaboración brindada.

6. Referencias

- [1] FONTAGRO. Informe Técnico Año 2 Proyecto FTG 14-03 “Fortalecimiento del manejo poscosecha de frutales exóticos exportables de interés para los países andinos”, 2007, Quito, p.p. 98-103.
- [2] PROEXANT. Informe para el proyecto FTG 14-03 “Caracterización general y estudio de mercados para tomate de árbol, uvilla y granadilla en el ámbito interno e internacional”, 2007, Quito. p.p. 14, 53-64.
- [3] CIAT. Informe para el proyecto FTG 14-03 “Estudio de mercados en tomate de árbol, uchuva y granadilla, Colombia, Andina y Norteamérica, como fruta fresca y procesada”, 2006, Bogotá. p.p. 128, 129, 146.
- [4] Madrid, A. Nuevo Manual de Industrias Alimenticias. Tercera edición. Madrid. Mundi Prensa, 2001, p.p. 72-73, 314 – 315.
- [5] Quiminet. Microfiltración y Ultrafiltración tangencial, 2007, <http://www.eufic.org-www.quiminet.com.mx>.
- [6] Vaillant, F., Millan, A., Dornier, M. y Decloux, M. “La microfiltración tangencial de los jugos, una nueva estrategia”. Memorias del Simposio Internacional Aplicaciones de Tecnologías de Membranas en la Industria Agro-alimentaria Latinoamericana. Guimar, Quito, 1999, p.p. 39-52.
- [7] Federación panamericana de lechería, Filtración tangencial en la industria láctea, 2006, <http://capacitacion@fepale.org>.
- [8] Sing, P. y Heldman, D., Introduction to Food Engineering. Tercera edición. California. Academic Press., 2001, p. 615.
- [9] Chacón, A. Tecnologías de Membranas en la Industria Láctea. San José. Agronomía Mesoamericana, 17 (2). 2006, p.p. 243-264.
- [10] Boyer, R. Conceptos de Bioquímica. Buenos Aires. Internacional Thomson Editores, S.A., 2000, p.p. 14-146.
- [11] Cheryan, M. Ultrafiltration and Microfiltration. Handbook. Pennsylvania. Technomic, 1998, p.p. 3-9, 293.
- [12] Madrid, A. Nuevo Manual de Industrias Alimenticias. Tercera edición. Madrid. Mundi Prensa, 2001, p.p. 72-73, 314 – 315.
- [13] ICONTEC. 1997. Norma Técnica Colombiana NTC 4101.
- [14] GOUPY, J. Plans d’expériences pour surfaces de réponse. Paris. DUNOUD, 1999, p.p. 3, 165-169.
- [15] Meilgaard, M., Civille, G. y Carr, B., Sensory Evaluation Techniques. Tercera edición. Florida. CRC Press, Inc., 1990, p. 59.