

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



***TESINA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA DE  
ALIMENTOS***

***JUGO CLARIFICADO DE PITAHAYA OBTENDIO POR  
MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL***

**Autor: Indiana Dávila Prado**

**Tutor: Dr. Fabrice Vaillant**

**Dra. Ana Mercedes Pérez**

**Diciembre 2005**

# ÍNDICE GENERAL

| <b>CONTENIDO</b>          | <b>PÁGINA</b> |
|---------------------------|---------------|
| RESUMEN                   | 3             |
| I. JUSTIFICACIÓN          | 4             |
| II. OBJETIVOS             | 7             |
| 2.1 Objetivo general      | 7             |
| 2.2 Objetivos específicos | 7             |
| III. MARCO TEÓRICO        | 8             |
| IV. METODOLOGÍA           | 19            |
| v. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 24            |
| VI. CONCLUSIONES          | 48            |
| VII. RECOMENDACIONES      | 49            |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA        | 52            |
| IX. ANEXOS                | 56            |

## RESUMEN

La pitahaya presenta unas características que hacen que su comportamiento sea un poco diferente a las demás frutas, es por eso que el rendimiento de la operación de despulpado después de realizar el tratamiento enzimático fue de 45,51% con malla de 0,125 pulgadas en donde las semillas atravesaron la malla y de 18,15% con malla de 0,06 pulgadas con retención de semillas. Con la operación de prensado el rendimiento fue de 88% con retención total de semillas

El comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya con semillas, sin semillas y pulpa tratada enzimáticamente con rapidase liq plus y proteasa a 25 y 45°C reflejaron un comportamiento pseudoplástico, ya que al incrementar el esfuerzo cortante que se les imprime para que fluyan se vuelven menos viscosos. Por lo tanto el tratamiento enzimático es efectivo para disminuir la viscosidad de la pulpa de pitahaya y facilita el desprendimiento de las semillas.

Con la microfiltración tangencial de la pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático se logró un flujo de permeado promedio en la fase estable de 32 l/hm<sup>2</sup>, con la enzima proteasa de 17 l/hm<sup>2</sup>, con rapidase liq plus de 15 L/hm<sup>2</sup> y 12 L/hm<sup>2</sup>; valores que son considerados muy bajos y no serían viables industrialmente ya que se requieren flujos mínimos de 50 L/hm<sup>2</sup>.

Las características del jugo de pitahaya clarificado obtenido sin tratamiento enzimático fue de 4,5 °brix, 3,5 de pH, 10 cp de viscosidad y 0,25 mg/g de betacianina. Para el jugo tratado con proteasa y rapidase liq plus fue de 12 cp, 3,7 de pH, 6,5-7,5 de °brix y de 0,23-0,35 mg/g de betacianina.

En relación al pigmento de la pitahaya éste no es retenido por la membrana puesto que pasa al jugo clarificado y al retenido, encontrándose mayores valores en muestras tratadas con proteasa y rapidase liq plus con 0,35 mg/g.

## I. JUSTIFICACIÓN

La región centroamericana ha sido tradicionalmente generadora de productos de origen agrícola y el escenario ha cambiado poco en los últimos veinte años. La superficie cultivada de granos básicos ha pasado de ocupar el 41% del área cultivada en 1970 al 30% en 1999. Los llamados productos tradicionales de exportación pasaron de ocupar el 22% al 16% de la superficie cultivada, en el mismo período. Mientras que el resto de productos conocidos como no tradicionales (piña, pitahaya, melón entre otros), pasaron del 37% en 1970 al 54% en 1999. Los llamados productos no tradicionales suelen ser más intensivos en capital, tecnología y mano de obra calificada, generando más beneficios (OIRSA, 2002).

Por siglos la pitahaya ha sido conocida como fruta comestible en Nicaragua. Cuantitativamente comienza a haber una mayor producción por los productores a través del esfuerzo hecho por el proyecto CEE-ALA 86/30 en San Marcos Carazo en 1986 para llevar a cabo la comercialización de los productos al mercado internacional (Westerop, 1995).

La pitahaya roja es una fruta relativamente desconocida, no solo por el hecho de que su consumo es incipiente, a excepción de Nicaragua donde es ampliamente conocida y consumida, sino que no se tiene información integral sobre toda la gama de posibilidades que ofrece, que de aprovecharse contribuiría a la generación de valor agregado a la fruta (Roses, 1999).

La experiencia acumulada a lo largo de 1991 a 1994 en la producción de pitahaya ha dado como resultado que pequeños, medianos y grandes productores de este cultivo en Nicaragua tomen en cuenta técnicas de manejo del material vegetativo (Morales & Matamoros, 1999). En 1993 como punto de referencia se cultivaron para exportación 245 manzanas y en 1996 se cultivaron 600 manzanas, teniendo un sustancial crecimiento del 144%. Para 1997 se registraron 700 manzanas y en 1998 alrededor de 800 manzanas (560 hectáreas) manteniéndose una tendencia promedio de incremento del 16% anual (Morales & Matamoros, 1999).

Es importante mencionar que se tienen potencialmente aptas para este cultivo en todo el territorio nicaragüense aproximadamente 1000 manzanas. Por lo tanto con base en las cifras mencionadas anteriormente se estima que la producción nacional en 1999 fue de 3080 toneladas de fruta fresca, dicha producción ocurre en años normales en el período comprendido de mayo a noviembre (Morales & Matamoros, 1999).

La mayor cantidad de productores de pitahaya se concentra en el departamento de Masaya (54.2%), seguido por Managua y Estelí (10.1% cada uno) y Carazo (8.8%), departamentos en los que predominan fincas con áreas menores a 3.8ha, representado a la vez el 70.1% del total de productores (OIRSA, 2004), (figura 30).

La pitahaya se exporta como fruta fresca y pulpa congelada con semillas. La demanda en el mercado internacional obedece a que en Europa es considerada una fruta exótica que cada día va siendo más conocida. Entre los países consumidores de pitahaya destacan Estados Unidos, Europa, Japón y Canadá, quienes, según estadísticas, tienen una demanda semanal de aproximadamente 50, 30, 20 y 20 toneladas, respectivamente (Roses, 1999).

El consumo de jugos de frutas y néctares en Europa ha ido en aumento y los consumidores exigen productos de buena calidad que se asemejen al máximo posible a los “jugos procesados naturalmente”. La apariencia del jugo, su sabor, su textura y su valor nutricional son características de calidad que deben de ser lo más cercanas posible a las del jugo fresco. Por esto, los procesos de fabricación son ahora más eficaces con el fin de producir a gran escala, a menor costo y lo más rápidamente posible jugos en los cuales se preserven sus características originales. La filtración tangencial es un elemento muy importante para lograr estos nuevos objetivos (Decloux, 1999).

La clarificación de jugos de frutas mediante microfiltración tangencial es una opción interesante de utilizar en la industria alimentaria por la simplificación de la operación y supresión de varias operaciones unitarias por un proceso continuo disminuyendo significativamente el tiempo y los costos de energía por ser un proceso en frío (Villarreal *et al.*, 1999). Es así que al trabajar a bajas temperaturas (30°C- 35°C) evita la pérdida de compuestos volátiles, oxidaciones y la formación de diversos compuestos que alteran notablemente el sabor original de la materia prima (Vaillant *et al.*, 1999b).

En la elaboración de jugos se realizan operaciones previas a la pulpa tales como pretratamientos del jugo para disminuir fenómenos de colmataje en la operación de filtración posterior. Entre los pretratamientos está la decantación, centrifugación y los pretratamientos enzimáticos (Girard & Fukumoto, 2000).

Durante la maceración se añaden a las frutas mezclas de pectinasa, hemicelulasa y celulasa derivadas de *Aspergillus niger*, *Rizhopus spp.* o *Trichoderma spp.* para mejorar la extracción del zumo, color, aroma y sabor, suplementando la acción de las enzimas endógenas presentes en las frutas, así como para reducir el tiempo requerido para la fermentación y clarificación (González & Pérez, 1996).

Se ha observado que la hidrólisis enzimática previa hace más eficiente los procesos de filtración tangencial de los jugos de frutas. Esto se debe a la hidrólisis de los principales polisacáridos solubles responsables de la alta viscosidad y a la licuefacción de los polisacáridos insolubles de la pared celular. En algunos casos basta con una sola presencia de pectinasa, en otras se requiere de una acción sinérgica entre dos tipos de enzimas como en el caso de maracuyá donde las pectinasas trabajan mejor junto con las celulasas (Vaillant *et al.*, 1999a)

En vista de la importancia que ha adquirido para Nicaragua la pitahaya como fruta de exportación no tradicional y como fruta exótica en el mercado internacional es necesario dirigir esfuerzos y recursos hacia la investigación de los diversos usos de la pitahaya y las posibilidades de industrialización del fruto. Esto permitirá brindar mayores opciones a los productores y generar mayor valor agregado.

Asimismo dado que los estudios realizados en Nicaragua sobre la pitahaya han estado enfocados en el cultivo principalmente, se conoce muy poco de las características físicas y químicas de las variedades cultivadas, por lo que se requiere estudiar las variedades que son utilizadas industrialmente (rosa, lisa y cebra). Debido a las características que presentan las semillas al estar recubiertas de un mucílago que hace difícil su eliminación (APRONOT, 2003), es importante estudiar la composición de la pared celular para aplicar preparados enzimáticos que permitan obtener una pulpa de pitahaya sin semilla que es una de las demandas actuales del mercado internacional.

Finalmente tomando en consideración que el mercado de los jugos de frutas representa aproximadamente unos 4 billones de US dólares (Dornier *et al.*, 1999), la aplicación de tecnologías innovadoras como la microfiltración tangencial a la pulpa de pitahaya para la obtención de un jugo clarificado representaría un potencial, ya que permitiría la disminución de las pérdidas post-cosecha y una oferta de productos procesados de alta calidad, no sólo en la industria alimentaria (bebidas refrescantes, bebidas alcohólicas, productos derretidos, jugo concentrado, reconstitución de jugos clarificados, entre otros), sino también en la industria cosmética (cremas, champú), lo que conllevaría al desarrollo de la industria nicaragüense.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudiar el proceso de producción para la obtención de jugo clarificación de pitahaya aplicando tratamiento enzimático y microfiltración tangencial.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar el rendimiento de la operación de despulpado a través de la viscosidad y la consistencia de la pulpa tratada enzimáticamente.
2. Estudiar el comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya y pulpa de pitahaya tratada enzimáticamente.
3. Aplicar microfiltración tangencial a la pulpa de pitahaya con y sin tratamiento enzimático para la obtención de jugo clarificado de pitahaya.
4. Caracterizar el jugo clarificado de pitahaya.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FAMILIA CACTACEAE

La familia *Cactaceae* comprende cerca de 1500 a 2000 especies. Se desarrollan en hábitat muy variados, especialmente en regiones desérticas. Los frutos a menudo poseen formas globosas, esféricas o de clavo, pueden presentar diversos colores como púrpura y escarlata, los hay lisos o con brácteas escamosas y glabras (sin pelos), con areolas provistas de gloquídeos, de aguijones o de mechones de pelo, además de poseer una sustancia mucilaginosa. Generalmente, son bayas jugosas o carnosas, dehiscentes o indehiscentes, compuestas del endocarpio, el mesocarpio (pulpa) y pericarpio. La pulpa puede ser blanquecina, verdosa o rojiza, dulce o ligeramente ácida (Rivas, 1996).

El éxito ecológico de las *cactaceae* es en gran parte un reflejo del patrón diario de la toma del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la pérdida de agua, los cuales ocurren principalmente en la noche. La apertura de estomas durante la noche significa que la toma de  $\text{CO}_2$  ocurre en la oscuridad, por lo que ellas tienen un metabolismo conocido como CAM (metabolismo del ácido crasuláceo). Las plantas CAM tienden a ser nativas de regiones áridas y semiáridas o de microhábitats que son secos periódicamente incluyendo playas, sitios rocosos y lugares tropicales donde cactus epífitos crecen en árboles (Barbera *et al.*, 1999).

#### 3.2. PITAHAYA

La pitahaya se conoce desde antes de la conquista: El conquistador Gonzalo de Oviedo, fue el primero en hacer una descripción completa de la pitahaya en Nicaragua en el año de 1527. Es una planta perenne que requiere soporte, pues su arquitectura le impide sostenerse así misma. Las plantas cultivadas son terrestres trepadoras, independientemente de que parte de sus raíces adventistas aéreas se dirijan al suelo. Tradicionalmente se cultivó en las faldas del volcán Masaya a orillas del cráter humeante del Santiago. Actualmente, la producción se ha extendido en todo el pacífico de Nicaragua y en la región central y norte del país (OIRSA, 2000).

“Pitahaya” o “pitaya” son palabras de origen antillano que significan “fruta escamosa”: Existe mucha variación entre las denominadas pitahayas que se cultivan en México, Colombia y Nicaragua en cuanto al fruto, colores del fruto y de la pulpa, períodos de fructificación y tamaño, forma y consistencia de los esquejes, todo lo cual indica, además de la influencia ambiental, la existencia de importantes diferencias genéticas entre las plantas (Rodríguez, 1997).



El nombre científico de la pitahaya es *Hylocereus spp*, pertenece a la familia de las cactáceas, es una planta perenne que crece de forma silvestre sobre árboles vivos, troncos, piedras y muros. Su centro de origen parece ser el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica y el norte y oeste de México. Es una planta suculenta con muchas espinas y se adapta bien a zonas de baja a mediana precipitación. En Nicaragua se han identificado tres tipos de pitahaya *Hylocereus trigonus* con tallos de tres aristas, *Hylocereus tetragonus* con tallos de cuatro aristas e *Hylocereus pentagonus* con tallos de cinco aristas. El tipo más conocido y cultivado es el de tres aristas (López, 1996).

La pitahaya puede crecer en diferentes tipos de suelo y es resistente a la sequía y suelos pobres, con hábito epífita, hemiepífita ó parásita. Tiene una vida postcosecha alrededor de 10 días, dependiendo de la variedad y manejo. Es una planta propia de zonas calientes. Posee características que la hacen resistente a la sequía. Se desarrolla bien en todas las zonas de Centroamérica, aun donde las lluvias no sean abundantes. La temperatura óptima para su desarrollo es de 26 °C; aunque puede sembrarse con éxito donde la temperatura varía de 21 a 35 °C. (Castillo *et al.*, 1996).

En Nicaragua la producción de esta fruta la hacen principalmente pequeños productores, que tienen plantaciones de un cuarto a tres manzanas. Aunque existen productores que tienen áreas comerciales mayores. La tecnología utilizada en este cultivo se ha venido mejorando en los últimos años, especialmente en Colombia y Nicaragua, donde nuevamente ha cobrado interés a nivel nacional, regional e internacional, porque representa una buena opción para la agricultura debido a su alto potencial productivo y económico (OIRSA, 2004).

El cultivo de Pitahaya, su mayor producción actualmente se presenta en los departamentos de Masaya y Carazo, aunque se puede encontrar en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1200 m; en los últimos años se han incrementado sus áreas de producción, empleándose la tecnología apropiada ante las perspectivas de consumo como fruta fresca y pulpa congelada en países de Europa y Norteamérica, lo que se refleja en un incremento de rendimiento por área y en frutos de mejor calidad (OIRSA, 2004).

La pitahaya roja tiene una pulpa de color rojo violáceo y contiene un sin número de semillas de forma elíptica (oval o en forma de huevo) con dos diámetros distintos de aproximadamente 3 y 1.7 mm y con un grosor de aproximadamente 1mm. El tamaño de la semilla y la cantidad presente por unidad de pulpa hace que la separación de semilla y pulpa sea una tarea difícil, además de estar recubiertas de un mucílago que hace que adquiera una alta viscosidad (Barbeau, 1990b.; Cisneros, 2000). Esta variedad ha captado la preferencia del mercado europeo, básicamente por el atractivo de color en su cáscara y pulpa y en ciertos meses el mercado español ha reconocido un precio mayor por la pitahaya roja que por la amarilla, siendo esta última la que más se cultiva en Nicaragua (OIRSA, 2004).

### 3.2.1. VARIEDADES

En Nicaragua hay algunas variedades, que se diferencian por la característica de los tallos, en la forma, color y tamaño de los frutos, espesor de la cáscara y el grado de desarrollo de las brácteas. Esto ha permitido la identificación de cinco variedades: Rosa, Lisa, Orejona, Cebra y Amarilla (López, 1996).

La tonalidad de colores de las frutas en el caso de Nicaragua varía desde rojo a rojo intenso, morado claro y amarillo claro. El largo de la fruta varía de 8 a 12 cm y su peso va desde 150 hasta 450 g. Al corte transversal la fruta presenta desde afuera hacia adentro una cáscara rígida y fibrosa de unos 5 mm de espesor medio, inmediatamente después se encuentra una capa interior mucilaginoso pero firme, de color rojo. La parte central de la fruta está conformada por la pulpa propiamente dicha, la que es de color rojo púrpura intenso y contiene un sinnúmero de semillas pequeñas negras en forma de pera de 3 a 4 mm de largo (Campos-Hugueney *et al.*, 1986).

### 3.2.2. PRODUCCIÓN DE LAS VARIEDADES

La mayor producción de frutos por planta cultivada la tiene la variedad cebra y el mayor rendimiento en peso la variedad lisa (Roses,1999). La producción de pitahaya inicia a finales del mes de mayo y finaliza a mediados del mes de noviembre (cuadro 1).

**Cuadro 1**  
**Período de producción de variedades de pitahaya**

| <b>Ciclo</b>                   | <b>Cebra</b>          | <b>Lisa</b>           | <b>Orejona</b>                   | <b>Rosa</b>           | <b>Amarilla</b>      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Inicio de maduración de frutos | Finales de mayo       | Mediados de junio     | Mediados de junio                | Tercera semana junio  | Tercera semana junio |
| Final de producción            | Última semana octubre | Última semana octubre | Finales octubre inicio noviembre | Mediados de noviembre | Noviembre            |

Fuente: López, 1996.

### 3.2.3. COMPOSICIÓN DE LA PITAHAYA

Estudios realizados en Nicaragua (Campus-Huguenet *et al.*, 1986) demuestran que la cáscara puede representar hasta el 50% del peso de la fruta. La pulpa tiene la siguiente composición: 88,4% de humedad, 1,4 % de proteína, 13,2% de4 carbohidratos, 0,6 de fibra cruda ,y ácido ascórbico 8 mg/100g

### 3.2.4. PIGMENTOS

La pitahaya y el puré de pitahaya son intensamente coloreados, por lo que pueden ser utilizados como ingredientes en algunos productos con el objeto de obtener un cierto color en el producto final (Barbeau, 1990a).

El color de la pulpa (rojo o violeta) de las frutas *hylocereus*, es debido a la presencia de betalaínas, las que son estables en un rango de pH de 3 a 7. Las betacianinas de *Hylocereus polyrhizus* no sólo son agentes colorantes sino que también poseen un gran potencial antioxidante (Stintzin *et al.*, 2002)

Al igual que las antocianinas, las betalaínas son pigmentos rojos solubles en agua, pero químicamente diferentes y menos abundantes en el reino animal. La principal planta alimenticia en la que aparecen las betalaínas es la remolacha roja. También se encuentran en algunas frutas y flores de cactus. Las betalaínas se degradan por un proceso térmico, pero se encuentran en cantidades tan altas que queda suficiente pigmento para la coloración. Son relativamente estables comparadas con otros pigmentos rojos naturales (Potter & Hotchkiss, 1995).

Las betalaínas tienen varias aplicaciones en alimentos tales como en gelatinas, confitería, productos secos, lácteos y productos cárnicos. La cantidad de pigmento en estado puro requerido en esos grupos de alimentos para obtener el color deseado es relativamente pequeña, cantidades que no exceden de 50 ppm de betalaínas calculado como betacianina (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

En los últimos años ha aumentado el interés por la utilización de colorantes naturales procedentes de uvas tintas, remolacha y arándanos (Potter & Hotchkiss, 1995). Actualmente existe una búsqueda continua de colorantes naturales para ser utilizados como aditivos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos. El colorante obtenido de la remolacha es bien conocido por la presencia de betalaína (el mismo pigmento encontrado en el nopal púrpura). Estudios sobre la extracción, identificación y estabilidad de los pigmentos en el nopal púrpura, encontraron que produce 16 mg de betanina por 100 g de producto fresco (Barbera *et al.*, 1999).

Las betalaínas no tienen un efecto tóxico en el cuerpo humano, esto puede ser deducido del hecho de que ellas están presentes en cantidades considerablemente grandes en ciertos alimentos tales como la remolacha roja, en las frutas de nopal y semillas de amaranto. Por tanto las betalaínas representan una alternativa natural segura para algunos colores sintéticos que están recurrentemente en uso (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

Las betalaínas reagrupan los nombres de los pigmentos contenidos en bebidas rojas. Se distinguen las betacianinas rojas (principalmente betanina e isobetanina) y las betaxantinas amarillas (vulgaxantinas I y II) (Grancher, 1996).

Las betalaínas se clasifican en: Betacianinas (rojo-púrpura), Betaxantina (amarilla), Ácido Betalámico (amarillo) y Neobetamina, las que tienen una longitud de onda máxima de absorción de 535-538, 475-487 y 542 nm respectivamente (Grancher, 1996).

### **3.2.5. COMERCIALIZACIÓN**

Para la comercialización de la pitahaya existen dos tipos de mercado: el local y el internacional. Se considera como mercado local aquel en que el producto es vendido y consumido en el país (Nicaragua) y como mercado internacional aquel en que el producto es vendido interna o externamente pero cuyo destino es para consumir al exterior (OIRSA, 2001).

#### **3.2.5.1. MERCADO LOCAL**

El mercado local incluye los supermercados, los mercados municipales como el oriental y el mayoreo en Managua, los de León, Masaya, Granada y Puerto Cabezas y empresas como APRNOT y Horty Fruit (OIRSA, 2004). Los supermercados pagan mejores precios que los mercados o intermediarios pero son más exigentes en la calidad de la fruta, los mercados son menos exigentes en relación a la calidad de la fruta pero su precio ofertado es más bajo (OIRSA, 2001).

#### **3.2.5.2. MERCADO INTERNACIONAL**

En el mercado internacional existen dos tipos de demanda: como fruta fresca y como pulpa. Para la fruta fresca existen mayores requisitos para su exportación que para la pulpa; la pulpa tiene dos fines para refresco y como colorante (OIRSA, 2001).

Actualmente Nicaragua destina sus exportaciones como producto fresco al mercado de Europa y como pulpa congelada a los Estados Unidos. Este último país restringe la entrada de fruta fresca por considerar a la pitahaya como hospedera de la mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata*.

Por lo anterior la única forma de introducir el producto a Estados Unidos es de forma procesada ya sea como pulpa congelada, seca, deshidratada o enlatada. Actualmente no existen tratamientos (químicos o hidrotérmicos), aprobados por USDA-Aphis para eliminar la mosca del Mediterráneo de la fruta de la pitahaya, un posible tratamiento podría ser con vapor. El mercado de Japón tampoco permite la entrada de pitahaya fresca, por la misma incertidumbre (OIRSA 1999).

La pitahaya en el mercado europeo está comprendida entre las frutas exóticas.

Las exportaciones autorizadas de pitahaya y pulpa de pitahaya según el Centro de Trámites de las Exportaciones (CETREX, 2005) fueron para el año 2003 de 32,866.94 Kg y de enero hasta julio de 2005 de 27,220.66 Kg (cuadro 25).

### **3.2.6. USOS**

Prácticamente todas las partes de la planta de la pitahaya se pueden utilizar para diversos fines (OIRSA, 2004):

El fruto para consumo humano se prepara como dulce, jalea, coctel, licor y colorante.

Las semillas que se consumen con la pulpa contienen un aceite que evita los cólicos y retortijones y por eso ayuda al funcionamiento del estómago.

La cáscara se puede usar como forraje para el ganado.

Del jugo concentrado de los tallos se puede extraer jabón y la savia disuelta en agua caliente sirve para aliviar el cansancio de los pies.

### **3.4. Pretratamientos enzimáticos**

Las enzimas son proteínas que poseen actividad catalítica. Son sintetizadas por las células vivas y actúan en la totalidad de las reacciones químicas de los organismos vivos. Las reacciones catalizadas por enzimas se realizan en muchos alimentos y pueden influir positiva o negativamente sobre su calidad (Pilnik & Voragen, 1991).

Las pectinasas son ampliamente utilizadas en la industria frutícola pues al hidrolizar la pectina, incrementan los rendimientos de extracción, disminuyendo los tiempos de filtración y permitiendo la clarificación en el caso que el jugo así se comercialice. Asimismo los procesos de extracción se ven ampliamente mejorados mediante el uso de celulasas, hemicelulasas, proteasas y pectinasas (López-Munguía, 1986).

Para examinar que tan efectivo fue el tratamiento enzimático existen dos formas de determinarlo, una es la de tomar una muestra y colocarla bajo un microscopio y así observar que las células ya no poseen pared celular, la otra forma de ver la acción de las enzimas es químicamente; al material de las paredes celulares se le realizan análisis de ácidos galacturónicos y de azúcares reductores que están en la parte insoluble en alcohol, para ello también es necesario y conveniente realizar el estudio de la licuefacción sobre la materia insoluble en alcohol, puesto que ello garantiza que sólo se encuentre pectina, hemicelulosa, celulosa, taninos y algunas proteínas, finalmente se debe realizar un test de pectina o test de yodo para verificar la eficiencia de la licuefacción (Pilnik & Voragen, 1991).

### **3.5. TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS**

Las tecnologías de membrana comenzaron a desarrollarse a partir de la ósmosis inversa en 1959. Sin embargo el uso industrial a gran escala de la tecnología de membranas no empezó sino hasta después que se introdujo el sistema de flujo tangencial en los años setenta.

Las tecnologías de membrana son tecnologías propias para la filtración y procesamiento de líquidos exclusivamente. Una membrana es un medio filtrante que separa los componentes de un líquido el cual pasa bajo condiciones específicas de flujo y presión, haciendo que la filtración sea dinámica. Las membranas están compuestas de una a varias capas de diferentes materiales, que pueden ser por ejemplo de cerámica porosa (membranas minerales) o de polisulfona (membranas orgánicas); en ambos casos la estructura es macroporosa, debidamente calibrada para obtener la permeabilidad deseada. El líquido es separado en dos fases: el retenido o concentrado y el filtrado o permeado. El concentrado es continuamente reciclado a través de la membrana hasta alcanzar la concentración deseada, mientras que el permeado es constantemente evacuado fuera de la unidad. El parámetro más importante es el factor de reducción volumétrico (FRV). Las membranas son suplidas en varios tamaños y diámetros y son adaptados en material de soporte resistente a la presión denominados módulos (Mady, 1999).

El sistema de flujo tangencial es más eficiente que el de filtración convencional ya que puede procesar grandes volúmenes en forma continua o en "batch". En la microfiltración tangencial la alimentación fluye tangencialmente a la superficie de la membrana. El mecanismo de separación es complejo y está influenciado por numerosos factores tales como el método de fabricación de la membrana, composición de la membrana, las interacciones químicas entre la corriente de alimentación y la membrana, el flujo y la presión, temperatura y la velocidad de alimentación (Dziezak, 1990).

Las tecnologías de membranas reúnen un conjunto de procesos tales como ósmosis inversa (OI), evaporación osmótica (OE), nanofiltración (NF), ultrafiltración (UF) y microfiltración tangencial (MF) entre otros, donde un líquido normalmente sometido a un diseño de flujo tangencial, es forzado a pasar a través de una superficie filtrante (Mady, 1999).

La microfiltración (MF) permite la separación de macromateriales y sólidos en suspensión en un rango de 0.02-2.0 micrones (este rango se refiere a las partículas más pequeñas que no son capaces de pasar a través de la membrana); las partículas más grandes son removidas por filtración convencional, ejemplo de materiales removidos por MF son: almidón, bacterias, mohos, levaduras y aceites emulsificados (Dziezak, 1990).

### **3.5.1. Microfiltración tangencial (MFT)**

La microfiltración tangencial es una operación que permite separar las partículas de un líquido, esta operación está recibiendo mucha atención en la industria de alimentos por sus numerosas ventajas, entre las cuales destacan: 1) la obtención de permeado libre de bacterias, 2) es una técnica de separación de bajo coste para clarificar y 3) se puede procesar en frío sin pérdida de compuestos volátiles o nutricionales debido al calor (Decloux *et al.*, 1996).

Una de las mayores dificultades durante la filtración tangencial de jugos de frutas pulposas es el fenómeno denominado colmataje de la membrana, esto es debido principalmente a la formación de una capa sobre la membrana, la cual está constituida principalmente de las paredes celulares tales como: pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina (Decloux *et al.*, 1996).

Los sólidos responsables de la colmatación rápida de las membranas son principalmente los polisacáridos procedentes de la pared celular de las frutas. Estos están constituidos principalmente por la pectina soluble e insoluble, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La concentración de estas macromoléculas por efecto de la polarización en la superficie de la membrana crea una capa de colmataje densa poco permeable. En algunas ocasiones la presencia simultánea de una concentración elevada en pectina y ácidos orgánicos provoca la formación de un gel. Dada estas circunstancias, la filtración de los jugos pulposos se debe hacer tangencialmente a la superficie filtrante y con la presencia de enzimas capaces de hidrolizar parte de los polisacáridos de la pared celular. En efecto, se ha reportado que la hidrólisis previa favorece de manera muy significativa el proceso de filtración tangencial de los jugos de frutas (Vaillant, *et al.*, 1999b).

**Cuadro 2: Compuestos colmatantes presentes en los jugos de frutas**

| Compuestos colmatantes            | Contribución al colmataje                   |                                     |   |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---|
|                                   | Interacción física con la membrana          | Interacción química con la membrana | Interacción química entre compuestos            |
| Azúcares                          | –   | –                                   | Indirecta en presencia de pectina               |
| Ácidos orgánicos                  | –   | No                                  | No  |
| Fibras de celulosa o hemicelulosa | Importante                                  | No                                  | No  |
| Almidón                           | Factible dependiendo del tamaño del gránulo | –                                   | –   |
| Taninos, polifenoles              | No  | No                                  | En presencia de proteínas                       |
| Coloides                          | importante                                  | No                                  | No  |
| Minerales                         | No  | No                                  | Indirecta, gel péctico (iones divalentes)       |
| Proteína                          | No  | Importante                          | En presencia de taninos                         |
| Compuestos pécticos               | Importante como causa de la textura del gel | No                                  | Formación de gel en presencia de azúcar y ácido |

Fuente: Vaillant, 2000, citado por Salas, 2003.

Se han diseñado diversas técnicas para disminuir los fenómenos de colmataje de la membrana, por ejemplo: promover la turbulencia en los alrededores de la superficie de la membrana, flujos intermitentes entre otros. En otros casos se busca aplicar un pretratamiento al jugo para disminuir al máximo los componentes colmatantes como ejemplo: la decantación, la centrifugación, tamizaje, adición de coadyuvantes y tratamiento enzimático (Girard & Fukumoto, 2000).

La clarificación de jugos de frutas mediante microfiltración tangencial es cada vez más aplicada por la simplificación de la operación y supresión de varias operaciones unitarias por un proceso continuo disminuyendo significativamente el tiempo y los costos de energía por ser un proceso en frío, con el fin de mejorar los flujos de jugo clarificado, se estudia la aplicación de enzimas en microfiltración (Villareal *et al.*, 1999).

La microfiltración garantiza esterilidad comercial, si se usan membranas con poros iguales o menores a 0.2  $\mu\text{m}$ , esto implicaría un ahorro energético considerable con respecto a una pasteurización y evita las pérdidas en compuestos termosensibles, aromáticos y nutricionales que se producen en los jugos tratados térmicamente (Vaillant *et al.*, 2001).



### 3.5.2. Configuración de las membranas

Las configuraciones de la membrana proporcionan el soporte y contenido de la membrana, existen varios, entre ellos están:

- **Módulos espirales:** Es el más popular para las separaciones en la industria, este incorpora muchas capas de membranas, material de soporte y mallas en un tubo colector de permeado, todos ellos envueltos dentro de un portador de cartucho. El flujo alto y el largo de la superficie los caracterizan y los espacios promueven la turbulencia, el cual mantiene la membrana limpia. Estos módulos están disponibles para MF (microfiltración), UF (ultrafiltración) y OI (ósmosis inversa) (Dziezak, 1990).
- **Fibra hueca:** Los cartuchos contienen centenares de fibras con diámetros pequeños a lo largo de la longitud del cartucho. En ultrafiltración y microfiltración, las fibras tienen diámetros interiores que van desde 0.02 a 0.04 pulgadas, la corriente de alimentación fluye a través del centro de las fibras y el permeado es recolectado fuera de las fibras (Dziezak, 1990).
- **Tubulares:** La membrana se encuentra en el interior de un soporte tubular poroso, un módulo completo consiste de uno a 20 tubos dotado de una camisa externa (similar a un intercambiador de calor tubular sencillo), los tubos miden 0.5-1 pulgada de diámetro y 5-20 pies en longitud, todos alineados en el interior con la membrana y materiales de soporte (Dziezak, 1990; Bimbenet & Granier, 1977).

El líquido a tratar circula a velocidades elevadas (varios metros por segundo) en régimen generalmente turbulento a lo interior del tubo y el permeado es recuperado en el exterior (Bimbenet & Granier, 1977).

- **Placa y bastidor:** Usados en ultrafiltración y ósmosis inversa, consisten en láminas de membrana apiladas alternativamente con platos de soporte porosos. Los platos proporcionan un espacio de una pulgada sobre la membrana para los canales de alimentación y permeables (Dziezak, 1990).
- **Cartucho plegado:** Esta consiste en una membrana plana, que se pliega para aumentar el área de superficie, luego es envuelta alrededor de un tubo poroso. Es usado en microfiltración y ultrafiltración para filtrar soluciones con baja concentración de solutos (Dziezak, 1990).

### 3.5.3. Materiales de las membranas

En la MF el módulo debe de satisfacer las normas de la industria concernientes a limpieza, aspectos sanitarios, facilidad de desmontaje e inspección. Los materiales que entran en contacto con los líquidos tratados también deben ser autorizados (Bimbenet & Granier, 1977).

Los filtros de las membranas están constituidos por ésteres de celulosa, fluoruro de polivinilideno, etc. (Ceinzano & Madrid, 1993). Los materiales de las membranas del tipo celulósico como acetato de celulosa, pueden utilizarse a pH entre 2-4 y a temperaturas de 52°C, mientras que los no celulósicos como poliacrilonitrilo pueden emplearse a pH entre 1-10 y temperaturas de 60°C. La polisulfona se puede usar a pH de 1.3-13 y temperatura de 60°C entre otras (Bimbenet & Granier, 1977).

### 3.5.4. Principales variables de control en los procesos de microfiltración tangencial (MFT)

- Acumulación de los solutos contra las membranas (**polarización**). En la filtración clásica las partículas se acumulan sobre la superficie filtrante mientras que en la ósmosis inversa y ultrafiltración las moléculas tienen la tendencia a acumularse en las cercanías de la membrana (Bimbenet & Granier, 1977), fenómeno conocido como “polarización de la concentración”, formándose en la vecindad de ésta una zona de elevada concentración de sólidos la que actúa como una membrana dinámica que incrementa la resistencia al paso del líquido filtrado (Real Del Sol & Cerezal, 1995).

El incremento del flujo de alimentación al equipo aumenta el grado de turbulencia y disminuye la intensidad del fenómeno de polarización y el espesor de la capa de alta concentración de sólidos en la cercanía de la membrana, además con el incremento de la temperatura disminuye la viscosidad del jugo y se favorece la velocidad de traslación y la turbulencia del sistema (Real Del Sol & Cerezal, 1995).

- **Presión transmembranaria.** La diferencia de presiones existentes entre la zona de permeado y la zona de circulación calculadas como presiones medias se define como presión transmembranaria y en la práctica deberá disminuirse al máximo (aumentando la presión del permeado), mientras el caudal del permeado se mantenga dentro de los límites tolerables (Anónimo, 2003).

- **Factor de reducción volumétrica (FRV).** La búsqueda del FRV lo más elevado posible responde a la preocupación de los industriales que consideran que el retenido es un desecho o un subproducto con poco valor comercial; por lo que en efecto el valor del FRV está directamente relacionado con el rendimiento de la operación. El FRV se estima a través de la relación de el volumen total de jugo que ha alimentado el circuito y el volumen total de permeado recolectado.

$$FRV = V_j / (V_j - V_p)$$

Donde  $V_j$  representa el volumen total de jugo que se ha alimentado en el circuito y  $V_p$  el volumen total del permeado (Vaillant *et al.*, 1999b).

## **IV. METODOLOGÍA**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE PITAHAYA ROJA POR TRATAMIENTO ENZIMÁTICO Y MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL**

##### **4.1.1. Materia prima**

La materia prima que se utilizó fue pulpa de pitahaya roja elaborada en la empresa APRONOT de Nicaragua.

##### **4.1.2. Estudio de rendimiento de la operación de despulpado y determinación de viscosidad de la pulpa tratada enzimáticamente**

Este estudio se realizó en las instalaciones del Centro de investigaciones en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica.

Se determinó las características de la materia prima: pH, ° brix y viscosidad a 25°C con eje N° 5 y a 50 rpm. Para el estudio del rendimiento de la operación de despulpado se utilizó 45 Kg de pulpa de pitahaya realizándose el tratamiento enzimático con 500 ppm de rapidase liq plus a 30°C por una hora y se procedió posteriormente a despulpar con un despulpador marca Sterling (con malla n° 0.125 pulgadas y con 0.060 pulgadas) y luego a prensar. Se calculó el rendimiento de la operación.

Se determinó la viscosidad aparente de las pulpas tratadas enzimáticamente y despulpadas y prensada a una temperatura de 30°C con velocidades de 10, 20, 50 y 100 rpm y con eje n°5 y 6; así mismo se determinó la consistencia. La determinación de la consistencia se realizó con un consistómetro a 25°C efectuándose la lectura al finalizar el minuto.

Para la determinación de la viscosidad se utilizó un viscosímetro Brookfield marca RVT realizando las lecturas cada 3 minutos y para la consistencia se utilizó un consistómetro efectuándose la lectura al término de un minuto.

##### **4.1.3. Estudio del comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya**

Se estudió el comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya con semillas y pulpa de pitahaya sin semillas a 25 y 45°C.

También se estudió el comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya con semillas adicionando enzima proteasa y rapidase liq plus a una concentración de 500ppm con temperaturas de 25 y 45°C y efectuándose las lecturas a los 30 y 60 minutos.

Las mediciones se realizaron en el equipo Rapid Visco Analyser marca Newport Scientific. Se pesó 25 g de muestra colocándose en la cubeta del equipo y se programó la velocidad de 50 y de 100 a 1000 rpm, con intervalos de lectura de 30 segundos. La viscosidad aparente se expresó en centipoise. Con los resultados obtenidos se calculó la velocidad de cizallamiento ( $\dot{\gamma}$ ) transformándose las revoluciones por minuto (rpm) a revoluciones por segundo (rps) y se multiplicó por el factor 20,1; luego se calculó la fuerza de cizalla por lo que fue necesario multiplicar el valor de la viscosidad obtenida por 1000 para obtener la viscosidad en Pascal \*segundo (Pa.s), así la fuerza de cizalla es el resultado de la viscosidad ( $V_{app}$ ) por la velocidad de cizalla (Lai *et al.*, 2001). Estos resultados indicaron que el comportamiento de la pulpa de pitahaya es pseudo-plástico.

Así mismo se calculó el índice de consistencia (K) y del índice de comportamiento (n). Para fluidos pseudoplásticos las fórmulas siguientes son las utilizadas para el cálculo de viscosidad aparente. Con el programa Sigma Plot se obtuvo el valor de K y n y el valor de  $R^2$ .

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{y} \quad V_{app} = \tau / \dot{\gamma}$$

$$V_{app} = K \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$$

#### 4.1.4. Diluciones de la pulpa de pitahaya

Se realizó diluciones de la pulpa de pitahaya sin semilla con agua en las siguientes diluciones: 1:05, 1:1, 1:2 y 1:3, para determinar la mejor relación pulpa agua para realizar los ensayos de microfiltración.

#### 4.2. Ensayos de microfiltración

El equipo que se utilizó fue una unidad piloto de microfiltración tangencial (MFT) que consta de un módulo tubular de membrana multicanal de cerámica alúmina Zircon (SCT Francia) con un área efectiva de filtración de 0.22 m<sup>2</sup> y un diámetro de poro promedio de 0.2  $\mu\text{m}$ . El flujo tangencial se logró a través de una bomba centrífuga alimentada por una bomba volumétrica, el control de temperatura durante la filtración se realizó mediante un intercambiador de calor anexo al equipo al cual se le conectó una corriente de agua proveniente del alcantarillado. El mínimo volumen muerto de la unidad 3,6 L que queda retenido en el equipo. La presión interna y externa se midió por medio de dos manómetros y el flujo de permeado por un flujómetro electromagnético.

Para la realización de la microfiltración se utilizó 23 Kg de pulpa, el primer ensayo se hizo sin tratamiento enzimático, utilizando una relación de pulpa de pitahaya:agua de 1:1, la que se despulpó con una malla de 0,060 pulgadas y luego se procedió a realizar la microfiltración tangencial 30°C; posteriormente se hizo un ensayo con la enzima proteasa y dos ensayos con rapidase liq plus utilizando una concentración de enzima de 500 ppm, la temperatura de 45°C. y la relación pulpa de pitahaya: agua de 1:0,5.

El diagrama de proceso que se presenta en la figura 1, fue el que se utilizó para el desarrollo de la microfiltración con tratamiento enzimático.

La pulpa se despulpó con despulpador marca Sterling utilizando una malla de 0,60 pulgadas, el residuo obtenido se sometió a tratamiento enzimático, luego se adicionó el 50% de agua con relación a el peso de la pulpa inicial efectuándose tres despulpados consecutivos.

Para los ensayos de microfiltración se aplicó una presión transmembranaria de 0,5 a 0,6 bar. Se mantuvo constante la velocidad tangencial de  $7 \text{ ms}^{-1}$  y se trató de mantener la temperatura de 45°C.

Las variables que se evaluaron fueron el factor de reducción volumétrica FRV, flujo por área de permeado ( $\text{L/hm}^2$ ) (cada minuto desde 1 a 20 minutos y luego cada 10 minutos hasta finalizar el ensayo) y turbidez de retenido y de permeado.

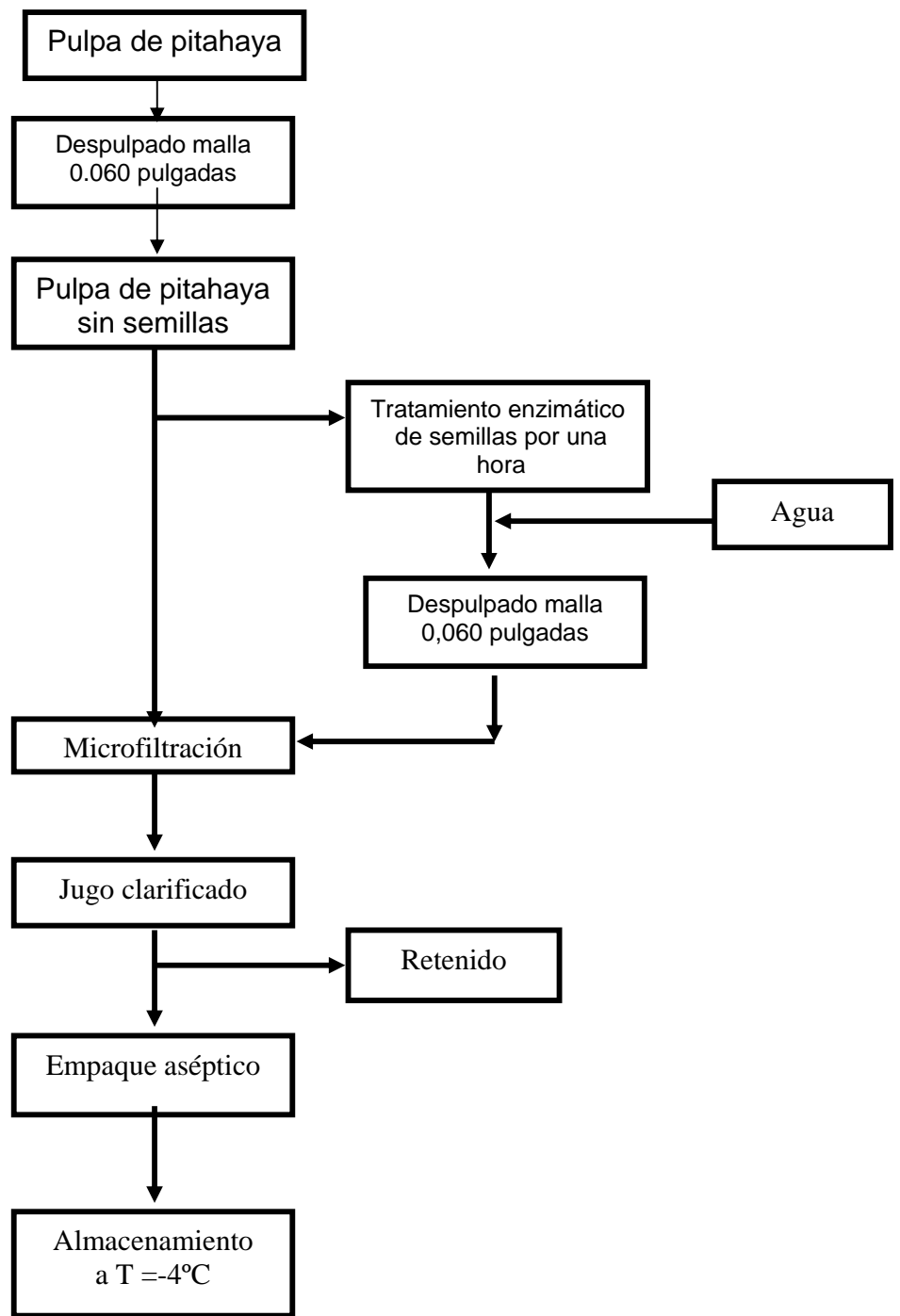


Figura 1:  
Diagrama de proceso para jugo de pitahaya clarificado por microfiltración tangencial

A la pulpa de pitahaya se le determinó: grados Brix y pH. Al jugo clarificado se le determinó: viscosidad, betacianina, grados Brix, color, y turbidez. Al retenido se le determinó grados Brix, pH, viscosidad, betacianina y turbidez.

Para la determinación de turbidez se utilizó el turbidímetro modelo 2100AN, las muestras de permeado se leyeron directamente en el turbidímetro y para las muestras de retenido se midió 10 mL de muestra, se adicionó 20 mL de agua destilada, se centrifugó por 20 minutos a 2500 rpm, para efectuar la lectura, el valor obtenido se multiplicó por 3. Los valores fueron expresados en NTU (unidades nefelométricas de turbidez).

Los grados Brix: se midieron utilizando un refractómetro marca Fisher Scientific escala 0 - 95° brix, efectuándose la lectura a 20°C.

Para la determinación del pH se utilizó un pH-metro con electrodo de vidrio y de referencia marca Orion Research modelo 601 A, el que se calibró con buffer de pH 6.86 y 4.0. Los electrodos, los buffer y las muestras se equilibraron a la misma temperatura, aproximadamente a 25 °C antes de llevar a cabo las mediciones.

Para la determinación de Betacianina se utilizó el método descrito por Saguy, *et al.* (1978). Se pesó un gramo de muestra y se aforó a 10 mL con buffer McIlvaine citrato-fosfato a pH 4. La muestra de retenido se centrifugó por 20 minutos a 2500 rpm y con el sobrenadante se efectuó la lectura. Se leyeron las absorbancias entre los valores comprendidos de 350 a 650 nm con intervalos de 10 nm utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV 1700 B Hama Spect UV visible. Los resultados se expresaron como mg de betacianina. g<sup>-1</sup> de permeado o de retenido.

La medición del color se hizo con muestras de permeado y retenido utilizando el método Saper & Hornstein (1979). Se pesó 1g de muestra diluyéndola en 100 ml de buffer fosfato-cítrico a pH 4, se colocaron posteriormente las muestras en placas de petri para medir el color usando teja blanca de fondo como referencia para la muestra. El color se expresó como L\*a\*b\*, el ángulo hue como  $\tan^{-1} (b^*/a^*)$  y chroma  $c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  utilizando el colorímetro Hunter Lab DP 9000.



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Obtención de jugo clarificado de pitahaya

#### 5.1.1. Estudio de rendimiento de la operación de despulpado y de prensado y determinación de la viscosidad y consistencia de la pulpa tratada enzimáticamente por una hora con rapidase liq plus a 500 ppm.

Las características de la pulpa de pitahaya para la realización del ensayo tenía un pH de 3,86, 12 °Brix y 480 cp de viscosidad, medida con aguja nº5 a 25°C. El rendimiento que se obtuvo en la operación de despulpado después de haber tratado enzimáticamente la pulpa de pitahaya fue de un 45,41% con la malla de 0,125 pulgadas observándose que las semillas no fueron retenidas en esta operación; con la malla de 0,06 pulgadas se obtuvo un rendimiento de 18,15% con una total retención de semillas en la malla. Con la operación de prensado se obtuvo un rendimiento de 88% con total ausencia de semillas en la pulpa.

En el cuadro 3 se presentan las viscosidades de las diferentes pulpas de pitahaya tratadas enzimáticamente, observándose que al finalizar el tratamiento enzimático la pulpa de pitahaya pasa de una viscosidad de 1320-1310 cp medido a 100 rpm al finalizar el tratamiento enzimático a 400-460 cp después de efectuar el despulpado y a 1080-1020 después de realizar el prensado.

Así mismo se observa que la viscosidad en general en las diferentes pulpas y con diferentes agujas presentan una tendencia donde la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad, también se pudo observar que una vez concluido el tratamiento enzimático la pulpa se visualizaba mas densa o espesa, disminuyendo posteriormente al efectuar el despulpado.

**Cuadro 3: Viscosidad aparente de pulpa de pitahaya tratada enzimáticamente (500 ppm de rapidase liq plus) a diferentes velocidades y con aguja nº4 y 5 a 30°C.**

| Muestra   | Viscosidad aparente (cp) a 30°C |       |        |         |
|---|---------------------------------|-------|--------|---------|
|   | 10 rpm                          | 20rpm | 50 rpm | 100 rpm |
| Pulpa de pitahaya al finalizar el tratamiento enzimático (aguja nº5)  | 4800                            | 3000  | 1680   | 1320    |
| Pulpa de pitahaya al finalizar el tratamiento enzimático (aguja nº4)  | 4000                            | 2800  | 1760   | 1310    |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y despulpada (aguja nº5) | 1800                            | 1000  | 520    | 400     |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y despulpada (eje nº4)   | 1800                            | 1100  | 580    | 460     |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y prensada (aguja nº5)   | 4400                            | 3600  | 1880   | 1080    |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y prensada (aguja nº4)   | 3800                            | 2800  | 1620   | 1020    |

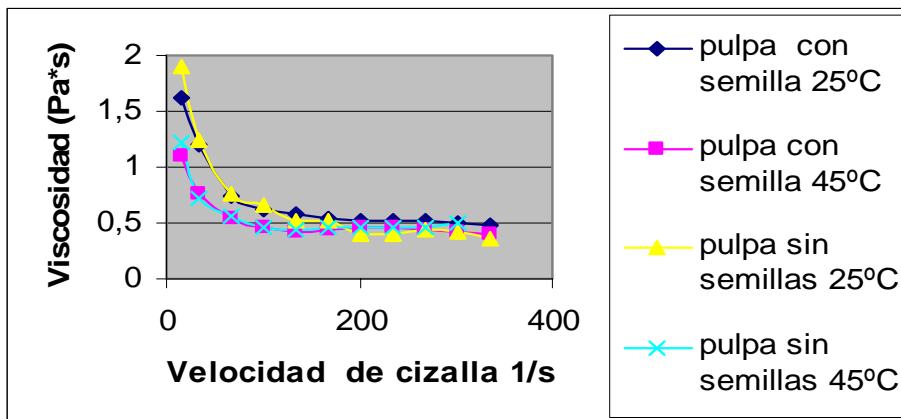
En el cuadro 4 se aprecia que la consistencia es mayor cuando la pulpa de pitahaya es tratada enzimáticamente y se realiza el prensado (15 cm/min), en cambio la consistencia disminuye al realizar el despulpado después de concluir el tratamiento enzimático puesto que pasa de 12,5 a 11 cm/min.

**Cuadro 4: Consistencia de las pulpas de pitahaya tratadas enzimáticamente con rapidase liq plus a 30°C.**

| Muestra   | Lectura del consistómetro (cm/min) |
|---|------------------------------------|
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático              | 12,5                               |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y despulpado | 11,0                               |
| Pulpa de pitahaya con tratamiento enzimático y prensado   | 15,0                               |

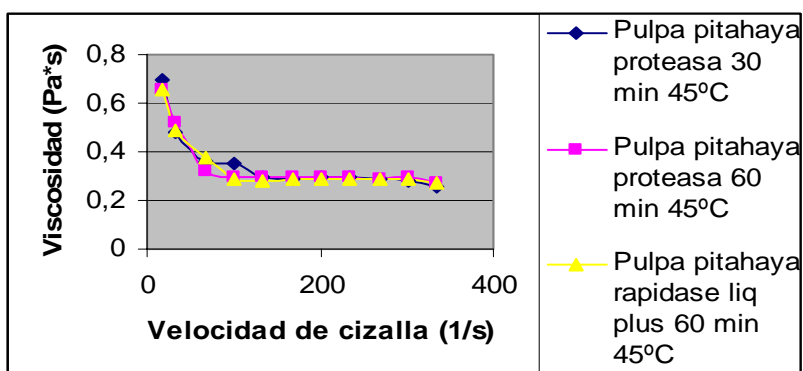
### 5.1.2. Estudio del comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya.

En la figura 2 se observa que la viscosidad de las pulpas medidas a 45°C son menores que a 25°C, pero tienen un mismo comportamiento que en general la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de cizalla



**Figura 2: Viscosidad de pulpa de pitahaya con y sin semillas en función de la velocidad de cizalla a 25 y 45°C.**

En la figura 3 se observa un comportamiento similar que en la figura anterior en que la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de cizalla, observándose que al finalizar tienen la misma viscosidad independiente de que hayan sido tratadas con diferentes enzimas, lo que indica que sí las enzimas actúan sobre la pulpa y disminuyen la viscosidad, sin embargo hay que señalar que en relación a la pulpa tratada con rapidase liq plus los resultados obtenidos a los 30 min después del tratamiento enzimático hay un fenómeno manifestado por la liberación de los polisacáridos de las semillas obteniéndose un aumento de la viscosidad y que luego éstos al ser hidrolizados y se disminuye la viscosidad al finalizar los 60 min del ensayo (cuadro 36).



**Figura 3: Viscosidad de la pulpa de pitahaya con proteasa y rapidase liq plus en función de la velocidad de cizalla medida a 30 y 60 min a 45°C.**

En las figuras 4 y 5 se observa que las pulpas de pitahaya y las pulpas tratadas enzimáticamente se comportan como un fluido no Newtoniano, ya que la relación entre esfuerzo de cizalla y velocidad de cizalla no presenta una relación directamente proporcional, por lo que se clasificó como seudoplásticos al compararlo con la Figura 6, ya que éstos se vuelven menos viscosos a medida que se incrementa el esfuerzo cortante que se les imprime para que fluyan, literalmente “adelgazan” mientras más intensamente se agiten (Orrego, 2004). Este comportamiento de flujo seudoplástico es similar al presentado por soluciones del mucílago de *Opuntia ficus indica* en concentraciones de 1 a 10% (Medina-Torres et al, 2000).

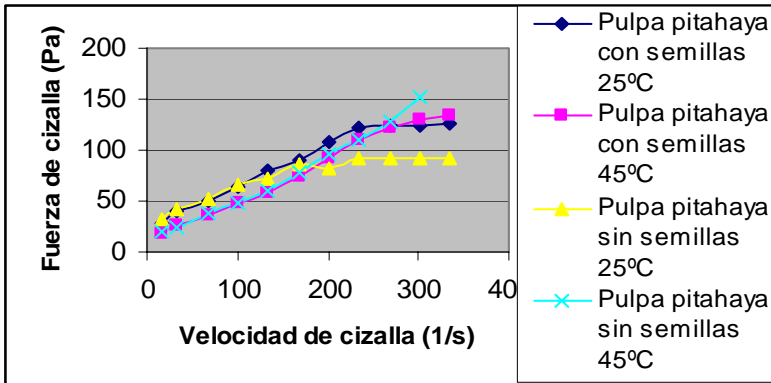


Figura 4: Fuerza de cizalla vs velocidad de cizalla de pulpa de pitahaya con y sin semillas a 25 y 45°C.

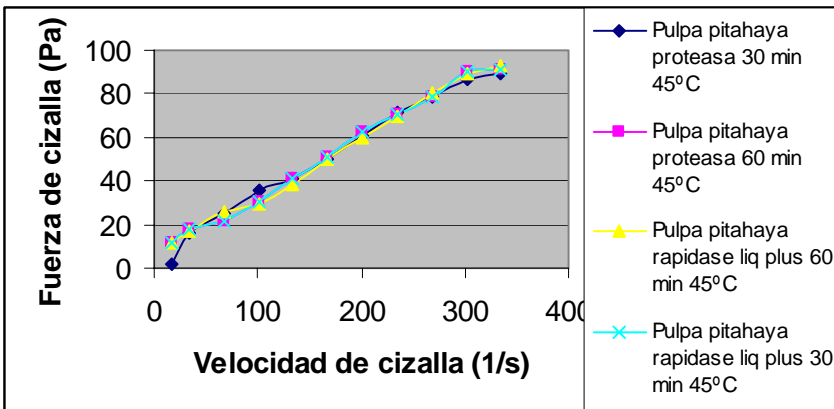


Figura 5: Fuerza de cizalla vs velocidad de cizalla de pulpa de pitahaya con proteasa y rapidase liq plus medida a 30 y 60 min a 45°C.

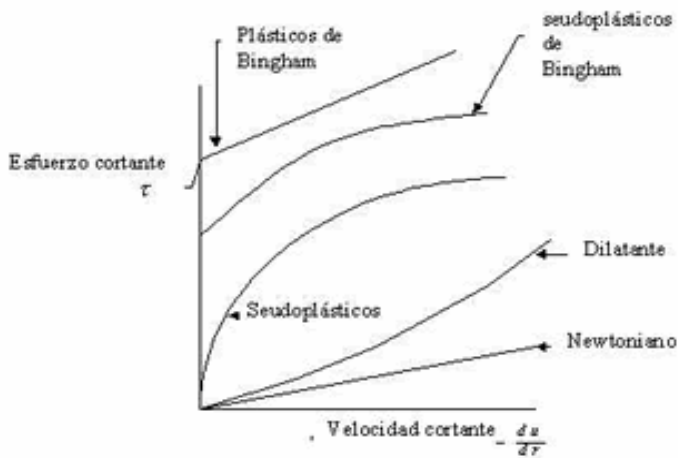


Figura 6: Fluidos no Newtonianos independientes del tiempo.

**Fuente: Alvarado, 1996.**

En el cuadro 5 encontramos que el índice de consistencia (K) varía en función de la temperatura por lo que a mayor temperatura (45°C) menor índice de consistencia y en relación al índice de comportamiento del flujo puede considerarse que varía muy poco ya que los valores se sitúan entre 0,5 a 0,6; éstos valores son muy semejantes a los reportados para puré de manzana (0,6) y concentrado de naranja (0,5) (Orrrego, 2004). Con los valores del índice de comportamiento de flujo obtenido se confirma que la pulpa de pitahaya es un fluido pseudoplástico puesto que los valores son menores que la unidad (Alvarado, 1996).

**Cuadro 5: Índice de consistencia (K), índice de comportamiento (n) y R<sup>2</sup> del modelo para pulpa de pithaya con y sin semilla a 25 y 45°C y pulpa de pitahaya con proteasa y rapidase liq plus medido a 30 y 60 min a 45°C.**

| <b>Muestras</b>  | <b>K</b> | <b>n</b> | <b>R<sup>2</sup></b> |
|--|----------|----------|----------------------|
| Pulpa de pitahaya con semillas a 25°C                    | 6,337    | 0,52     | 0,98                 |
| Pulpa de pitahaya con semillas a 45°C                    | 3,496    | 0,52     | 0,96                 |
| Pulpa de pitahaya sin semillas a 25°C                    | 10,4     | 0,58     | 0,99                 |
| Pulpa de pitahaya sin semillas a 45°C                    | 3,69     | 0,39     | 0,9                  |
| Pulpa de pithaya con proteasa a 30 min y 45°C            | 1,81     | 0,58     | 0,95                 |
| Pulpa de pithaya con proteasa a 60 min y 45°C            | 1,74     | 0,65     | 0,91                 |
| Pulpa de pithaya con rapidase liq plus a 30 min y 45°C   | 100,8    | 0,29     | 0,8                  |
| Pulpa de pithaya con rapidase liq plus y a 60 min y 45°C | 1,77     | 0,64     | 0,95                 |

Con los resultados del estudio del comportamiento reológico se puede afirmar que el tratamiento enzimático es efectivo para disminuir la viscosidad de la pulpa de pitahaya y facilita el desprendimiento de las semillas.

### **5.1.3. Diluciones de la pulpa de pitahaya.**

Tomando en consideración que la viscosidad de la pulpa obtenida después de realizar el tratamiento enzimático y la operación de despulpado era muy densa, se valoró que bajo esas características la realización de la microfiltración no podría efectuarse, optándose por efectuar diluciones de la pulpa, resultando que la mejor relación fue de una parte de pulpa con 0,5 y 1,0 parte de agua.

## **5.2. Microfiltración tangencial**

La realización del primer ensayo de microfiltración tangencial se realizó utilizando una relación de pulpa de pitahaya:agua de 1:1, y sin realizar el tratamiento enzimático para evaluar el comportamiento del proceso y la toma de decisiones futuras en cuantos a los siguientes ensayos a efectuar.

### **5.2.1. Ensayo de microfiltración tangencial utilizando la relación pulpa de pitahaya:agua de 1:1 a 30°C sin tratamiento enzimático.**

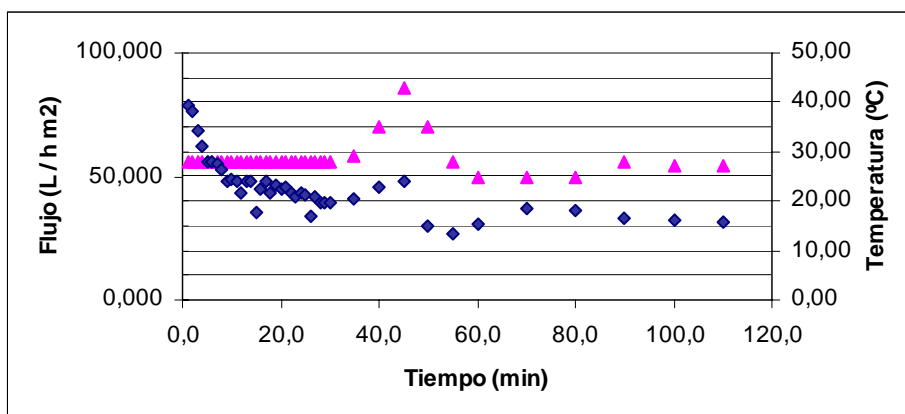
En el cuadro 6 se observa que los grados brix y el pH tanto de la pulpa como del permeado o jugo clarificado de pitahaya no variaron, en cambio si se observa un cambio sustancial en la viscosidad ya que paso de 25 cp en la pulpa para microfiltrar a 10cp en el permeado, lo que indica que en la membrana quedaron retenidas los sólidos insolubles y las paredes celulares de la pulpa.

**Cuadro 6: Grados brix, pH y viscosidad aparente (aguja nº 5, 50 rpm y a 25°C) de pulpa para microfiltrar y permeado en el proceso de microfiltración de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático**

| <b>Muestra</b>                 | <b>Grados brix</b> | <b>pH</b>  | <b>Viscosidad (cp)</b> |
|--------------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| <b>Pulpa para microfiltrar</b> | <b>4,5</b>         | <b>3,5</b> | <b>25,0</b>            |
| <b>Permeado</b>                | <b>4,5</b>         | <b>3,5</b> | <b>10,0</b>            |

La figura 7 muestra la evolución del flujo de permeado sin tratamiento enzimático, con extracción constante del jugo clarificado y alimentación continua. En la figura se puede apreciar que hay un descenso rápido del flujo de permeado desde el inicio hasta los 14 minutos aproximadamente, alcanzando un 59% de su valor inicial, a ésta etapa correspondería la formación de la capa de colmataje; luego se observa una fase casi constante entre los 15-35 minutos donde el flujo de jugo clarificado oscila alrededor de los 42 l/hm<sup>2</sup>.

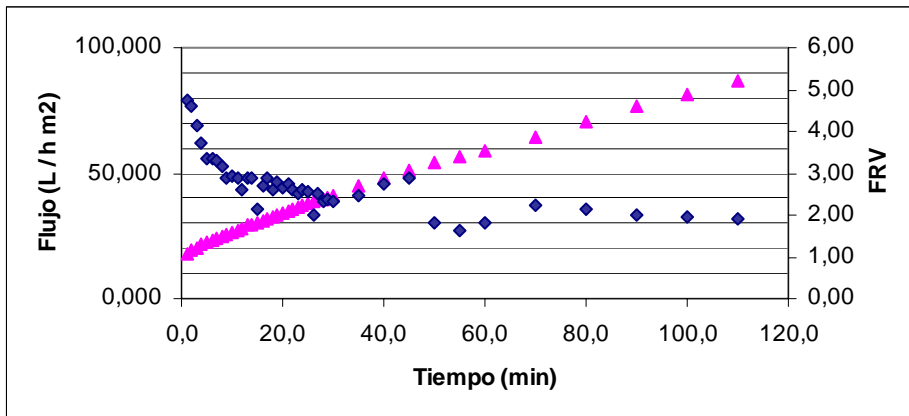
Entre los 40 -50 min hay una fase de ascenso donde se incrementó ligeramente el flujo debido a un incremento de la temperatura (35-43°C) y a una disminución de la viscosidad de la pulpa. De los 55-110 min se considera la fase de flujo estable donde el flujo de permeado disminuye paulatinamente, en esta fase se ha establecido el equilibrio de las condiciones hidrodinámicas, el flujo de permeado obtenido en esta etapa tuvo un promedio de 32 l/hm<sup>2</sup>, éste valor se considera un poco menor al obtenido para fruta de la pasión (*Pasiflora edulis* var. *flaricarpa*) con 40 l/hm<sup>2</sup> (Vaillant, 2001).



**Figura 7: Comportamiento del flujo de permeado y de temperatura en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

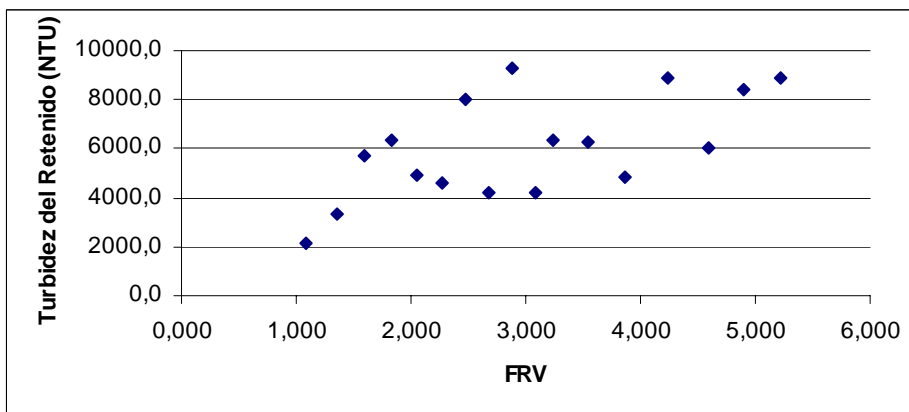
En la figura 8 se aprecia una disminución progresiva del flujo del jugo clarificado a medida que aumenta el tiempo de ensayo. La zona donde se obtiene un flujo más o menos estable corresponde a valores de FRV 4 y 5, los que coinciden con valores de flujo entre 37-32 L/hm<sup>2</sup>. Con un FRV de 5 se obtuvo un rendimiento de jugo clarificado de 67% (con respecto al peso de la pulpa que se microfiltró) después de 110 min.





**Figura 8: Comportamiento del flujo de permeado y el factor de reducción volumétrica (FRV) en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

En la figura 9 se puede observar que la turbidez del retenido tiende a aumentar conforme transcurre el proceso, el comportamiento general que se observa en otros ensayos realizados es que la turbidez aumenta en forma gradual y uniforme (Moler, 2004), sin embargo el comportamiento de la turbidez es muy irregular en este proceso. Es importante señalar que con el aumento de la turbidez del retenido disminuye el flujo, así en los primeros 15 minutos del proceso la turbidez aumentó en un 300% y se finalizó con un 400% (con respecto al valor medido en el primer min) a los 110 min.



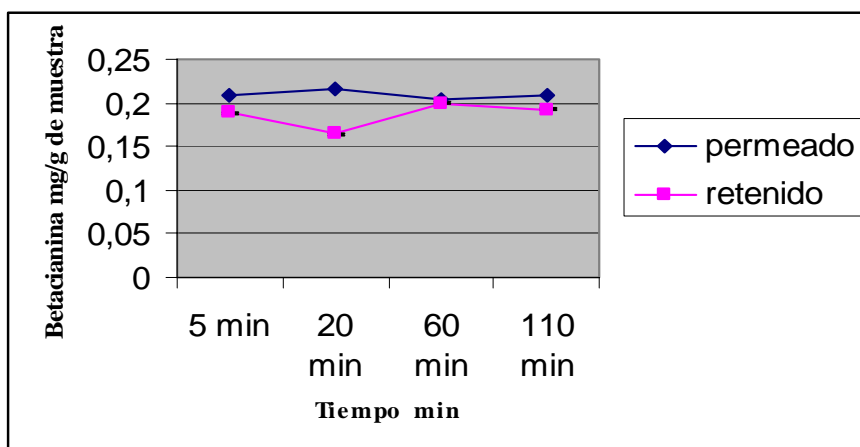
**Figura 9: Comportamiento de la turbidez de retenido en función del factor de reducción volumétrica (FRV) en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

El contenido de betacianina medido en la pulpa para microfiltrar fue de 0,215 mg/g de muestra, valorando la cantidad de betacianina en el permeado (cuadro 7 y figura 10) se puede señalar que entre un 94-100% pasa de la pulpa para microfiltrar al permeado.

Gráficamente se puede apreciar que el contenido de betacianina es igual en tres puntos de medición durante el proceso a excepción del medido en el tiempo 20 min. Otro aspecto importante de señalar es que en el retenido también se encuentra betacianina por lo que se puede afirmar que no hay retención de colorante en la membrana pudiéndose utilizar este subproducto en la elaboración de otros alimentos.

**Cuadro 7: Betacianina en muestras de permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

| Muestra                     | 5 min         |               | 20 min        |               | 60 min        |               | 110 min       |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                             | Permeado      | Retenido      | Permeado      | Retenido      | Permeado      | Retenido      | Permeado      | Retenido      |
| Betacianina mg/g de muestra | 0.209 ± 0,006 | 0.189 ± 0,006 | 0.215 ± 0,001 | 0.164 ± 0,001 | 0.203 ± 0,001 | 0.200 ± 0,002 | 0.209 ± 0,001 | 0.192 ± 0,002 |

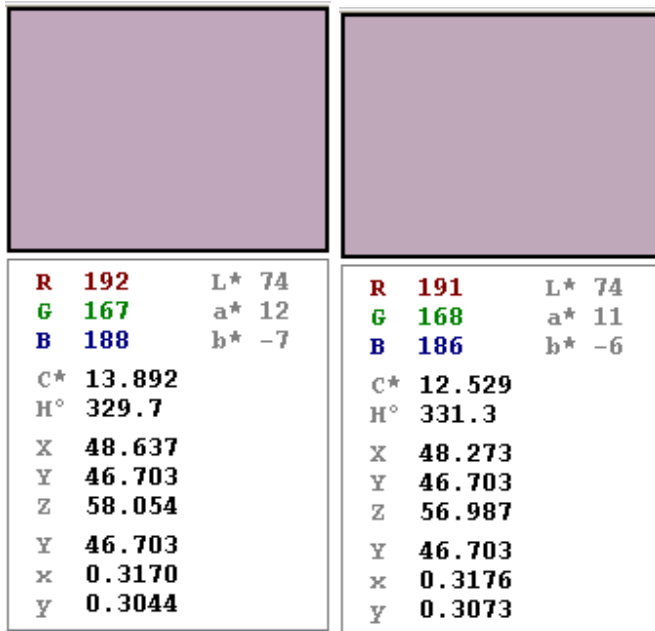


**Figura 10: Betacianina en muestras de permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

En el cuadro 8 y la figura 11 se observan los colores de transmisión de color en el permeado. La tonalidad ( $H^*$ ) para las mediciones en el permeado son iguales en los diferentes tiempos ya que presentan un valor de 331, en cuanto al croma hubo una ligera variación puesto que los valores oscilaron entre 12-14 esto se explica por la tonalidad del rojo, observándose una mayor tonalidad de rojo a los 40 y 110 min con un valor de 13, en cuanto a la luminosidad ( $I^*$ ) el valor es igual para todas las determinaciones obteniéndose un valor de 74. Visualmente el color que se obtuvo fue un violeta y no existen diferencias en los diferentes tiempos medidos.

**Cuadro 8: Valores de transmisión de color (Hunter) Hue y Croma al 1% con buffer a pH 4 en permeado en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

| Muestra          | L*          | a*           | b*           | Croma (C*)   | Hue (H°)      |
|------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Permeado 5 min   | 74.95 ± 0.0 | 12.68 ± 0.0  | -6.99 ± 0.01 | 14.49        | 331.16 ± 0.01 |
| Permeado 20 min  | 74.28 ± 0.0 | 12.20 ± 0.01 | -6.80 ± 0.0  | 13.96        | 330.85 ± 0.01 |
| Permeado 40 min  | 74.36 ± 0.0 | 13.39 ± 0.0  | -7.14 ± 0.0  | 15.17 ± 0.0  | 331.93 ± 0.0  |
| Permeado 60 min  | 75.12 ± 0.1 | 11.11 ± 0.01 | -6.35 ± 0.1  | 12.79 ± 0.0  | 330.26 ± 0.01 |
| Permeado 100 min | 74.56 ± 0.0 | 12.86 ± 0.01 | -7.19 ± 0.1  | 14.74 ± 0.01 | 330.81 ± 0.01 |
| Permeado 110 min | 74.49 ± 0.0 | 11.46 ± 0.0  | -6.39 ± 0.0  | 13.11 ± 0.01 | 330.84 ± 0.0  |



**Permeado 5 min**

**Permeado 110 min**

**Figura 11: Color (Hunter) para permeado al 1% con buffer a pH 4 en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

Con los resultados de este primer ensayo de microfiltración sin tratamiento enzimático se pudo apreciar que el pigmento de la pitahaya no era retenido por la membrana ya que estaba presente tanto en el permeado como en el retenido, pero los flujos no fueron muy buenos comparados con los obtenidos en otros ensayos de al menos 50l/hm<sup>2</sup>, por lo que se decidió utilizar la enzima con actividad proteasa con la presunción de que la cantidad de proteína presente era la responsable de la viscosidad, además aumentar la temperatura a 45°C para disminuir la viscosidad tomando como referencia los resultados obtenidos en el comportamiento reológico de la pulpa de pitahaya, además utilizándose la relación pulpa de pitahaya:agua de 1:0,5.

**5.2.2 Ensayo de microfiltración tangencial utilizando la relación pulpa de pitahaya:agua de 1:0,5, temperatura de 45°C y el tratamiento enzimático con enzima proteasa a 500 ppm durante una hora.**

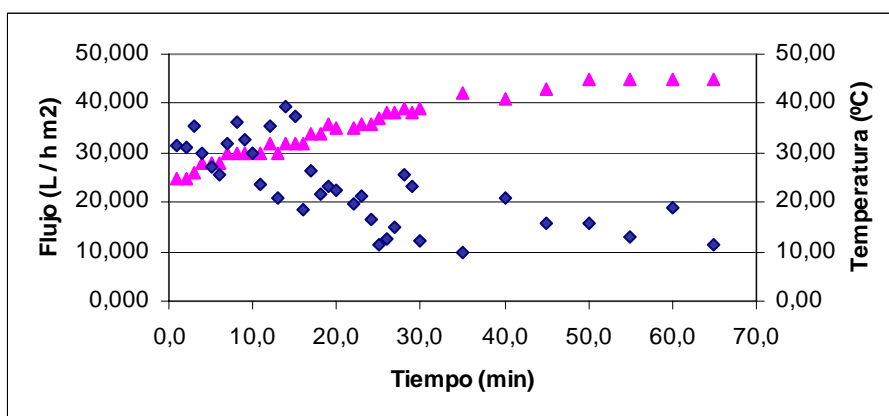
Como se observa en cuadro 9 los grados brix y el pH del retenido fueron iguales al de la pulpa para microfiltrar, pero en el permeado hubo una ligera variación ya que el pH y los grados brix fueron menores. La viscosidad del permeado fue 13 veces menor con relación al de la pulpa para microfiltrar, lo que permitió obtener un jugo clarificado, en cambio el retenido fue 3,5 veces mayor, ya que en él quedó retenido las paredes celulares y los sólidos que no atravesaron los poros de la membrana.

**Cuadro 9: Grados brix, pH, y viscosidad aparente a 25°C con aguja nº 2 y 50 rpm de pulpa para microfiltrar, permeado y retenido en el proceso de microfiltración de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

| <b>Muestras</b>         | <b>Grados brix</b> | <b>pH</b>    | <b>Viscosidad (cp)</b> |
|-------------------------|--------------------|--------------|------------------------|
| Pulpa para microfiltrar | 10 ± 0             | 3.81 ± 0.13  | 160 ± 0                |
| Permeado                | 6.5 ± 0            | 3.71 ± 0.003 | 12 ± 0                 |
| Retenido                | 10,0 ± 0           | 3,8 ± 0,1    | 552 ± 0                |

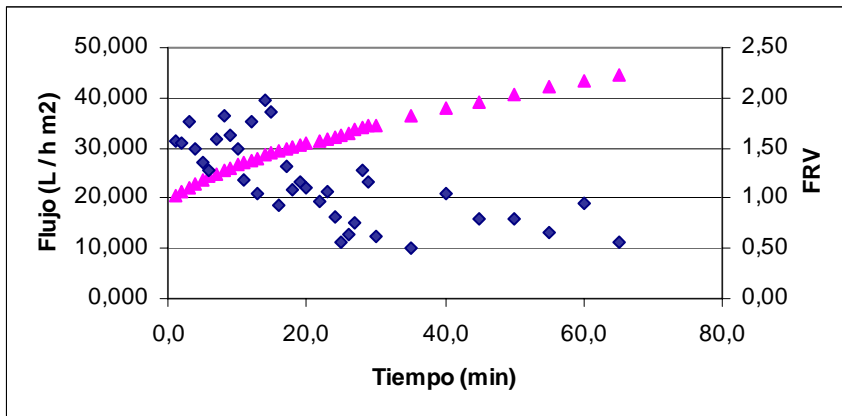
En la figura 12 se puede apreciar que hay un descenso paulatino pero irregular del flujo de permeado desde el inicio hasta hasta los 35 minutos pasando de 31,5 l/hm<sup>2</sup> a 10 l/hm<sup>2</sup> , descenso que corresponde a un 32% con respecto al flujo inicial, ésta etapa correspondería a la formación de la capa de colmataje, es importante señalar en este intervalo de tiempo que la temperatura del permeado fue aumentando gradualmente (25-39°C) a pesar de tener una temperatura de 45°C en la pulpa que se microfiltraba.

Entre los 45-65 min se observa un comportamiento de la temperatura casi constante (45°C) y el flujo de permeado puede considerarse casi estable con un promedio de 17 l/hm<sup>2</sup> , este valor se considera que es aproximadamente un 40% con respecto al flujo obtenido para la fruta de la pasión (*Pasiflora edulis* var. *flavicarpa*) y de un 24% para piña (*Ananas comous*) Es importante señalar que la microfiltración tangencial para que sea rentable económicamente es necesario obtener valores altos de flujo a lo largo del proceso como los obtenidos en jugos clarificados de naranjilla (*Solanun quitoense*) con 65 l/hm<sup>2</sup> y mango (*Mango mangifera*) 60 l/hm<sup>2</sup> entre otros (Vaillant, 2001).



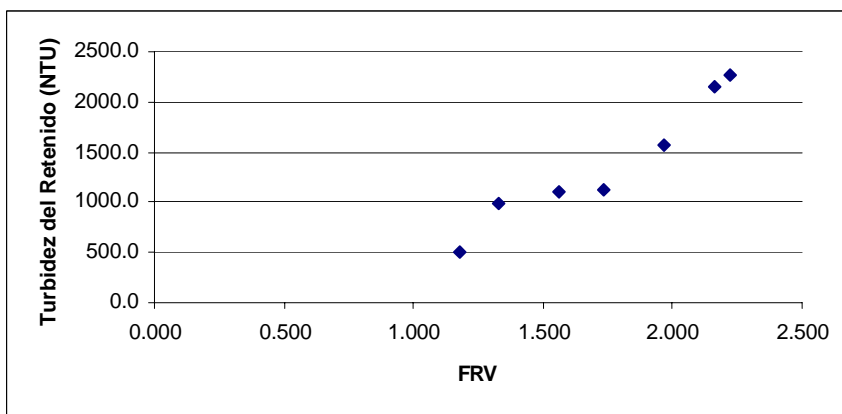
**Figura 12: Comportamiento del flujo de permeado y de temperatura en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

En la figura 13 se aprecia la evolución del flujo de permeado observándose una disminución irregular pero progresiva del flujo a medida que aumenta el tiempo de ensayo, simultáneamente el FRV tiene un aumento progresivo. En la última etapa del proceso donde se considera un flujo más estable (45-65 min) corresponde a valores de FRV 2 y 2,2 los que coinciden con valores de flujo entre 19-11 l/hm<sup>2</sup>, con estos FRV se obtuvo un rendimiento de 79% (con respecto al peso de la pulpa que se utilizó para microfiltrar) después de 65 min de procesamiento.



**Figura 13: Comportamiento del flujo de permeado y el factor de reducción volumétrica (FRV) en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

Como se observa en la figura 14 la turbidez del retenido aumenta a lo largo del proceso. Al producirse un aumento de la turbidez del retenido disminuye el flujo, así en los primeros 30 min del proceso la turbidez aumentó en un 220% y se finalizó con un 447% (con respecto al valor medido a los 5 min).



**Figura 14: Comportamiento de la turbidez de retenido en función del factor de reducción volumétrica (FRV) en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya utilizando enzima proteasa.**

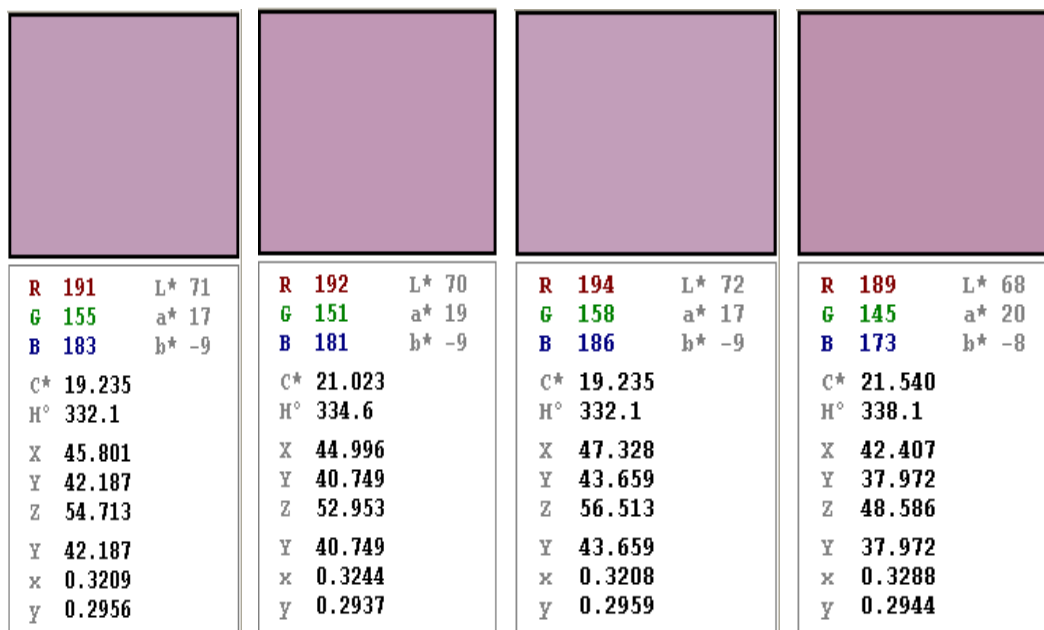
En el cuadro 10 y la figura 15 se presentan la transmisión de color de permeados y retenidos con enzima proteasa. En el permeado el valor la tonalidad (H\*) es muy similar en todos los tiempos con un 333, en el croma también son bastantes similares con un valor de 22, sin embargo en la tonalidad del rojo existen diferencias ya que a los 5 min la tonalidad es menor (17) que en los otros tiempos (22), la luminosidad fue alrededor de 71 en la mayoría de los tiempos a excepción en el tiempo 45 min que fue de 75.

En el retenido existen diferencias en todas las mediciones, observándose que mayor ángulo de hue, croma y la tonalidad del rojo a los 69 min.

Al observar el color violeta obtenido se aprecia que son iguales para el permeado y retenido a los 5 min, y en los 69 min el color violeta es un poco mas intenso para el retenido.

**Cuadro 10: Valores de transmisión de color (Hunter) Hue y Croma en permeado y retenido al 1% con buffer a pH 4 en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

| Muestra         | L*        | a*           | b*            | Croma (c*)   | Hue (H*)      |
|-----------------|-----------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Permeado 5 min  | 71.87 ± 0 | 17.63 ± 0    | - 9.70 ± 0    | 20.18 ± 0    | 331.24 ± 0    |
| Permeado 25     | 71.64 ± 0 | 19.91 ± 0.01 | -10.36 ± 0    | 22.44 ± 0.02 | 332.49 ± 0.02 |
| Permeado 45 min | 75.41 ± 0 | 20.35 ± 0.02 | -10.29 ± 0.01 | 22.78 ± 0.01 | 333.14 ± 0.01 |
| Permeado 69 min | 70.21 ± 0 | 19.23 ± 0    | -9.67 ± 0     | 21.60 ± 0    | 333.31 ± 0    |
| Retenido 5 min  | 72.13 ± 0 | 17.10 ± 0.02 | -9.25 ± 0.01  | 19.27 ± 0.02 | 331.50 ± 0.02 |
| Retenido 69 min | 68.64 ± 0 | 20.36 ± 0.02 | -8.57 ± 0.01  | 22.25 ± 0.02 | 337.19 ± 0.01 |



Permeado 5 min

Permeado 69 min

Retenido 5 min

Retenido 69 min

**Figura 15: Color (Hunter) para permeado y retenido al 1% con buffer pH 4 en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

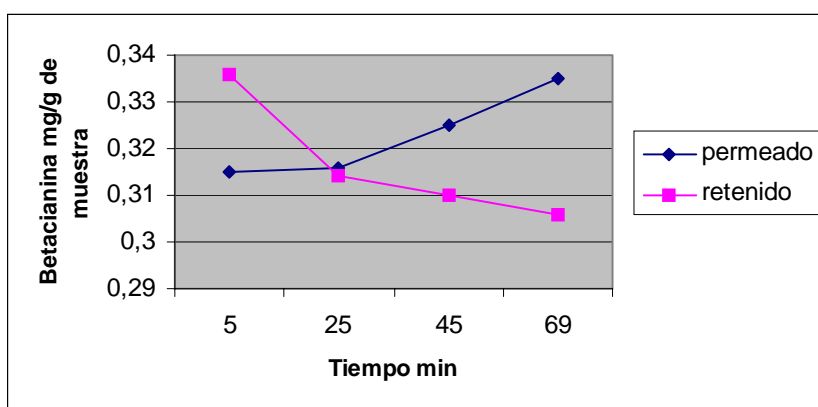
El contenido de betacianina medido en la pulpa para microfiltrar fue de 0,335 mg/g de muestra, valorando la cantidad de betacianina en el permeado (cuadro 11 y figura 16) se puede señalar que hubo un comportamiento semejante al ensayo realizado sin tratamiento enzimático ya que entre un 94-100% pasó de la pulpa para microfiltrar al permeado. Gráficamente se observa que el contenido de betacianina en el permeado fue aumentando a medida que avanzaba el proceso, contrario a lo que sucedió con el retenido que disminuyó al avanzar microfiltración tangencial. Al igual que en el ensayo anterior el retenido también contiene betacianina.

El contenido de betacianina en el permeado fue 1,5 veces mayor que en el ensayo anterior.



**Cuadro 11: Contenido de betacianina en muestras de permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

| Muestra                     | 5 min         |               | 25 min        |               | 45 min      |              | 69 min        |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
|                             | Permeado      | Retenido      | Permeado      | Retenido      | Permeado    | Retenido     | Permeado      | Retenido      |
| Betacianina mg/g de muestra | 0,315 ± 0,007 | 0,336 ± 0,003 | 0,316 ± 0,002 | 0,314 ± 0,002 | 0,325 ± 0,0 | 0,31 ± 0,004 | 0,335 ± 0,001 | 0,306 ± 0,002 |



**Figura 16: Contenido de betacianina en muestras de permeado y retenido en microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa.**

Al valorar los resultados obtenidos en el proceso de microfiltración se observó que el flujo de permeado no mejoró sino que fue menor que en el ensayo anterior puesto que el flujo fue de 17 L/hm<sup>2</sup>, en la fase estable, el contenido de betacianina no fue retenido por la membrana, por lo tanto se decidió realizar un último ensayo por duplicado para valorar la acción de la enzima rapidase liq plus.

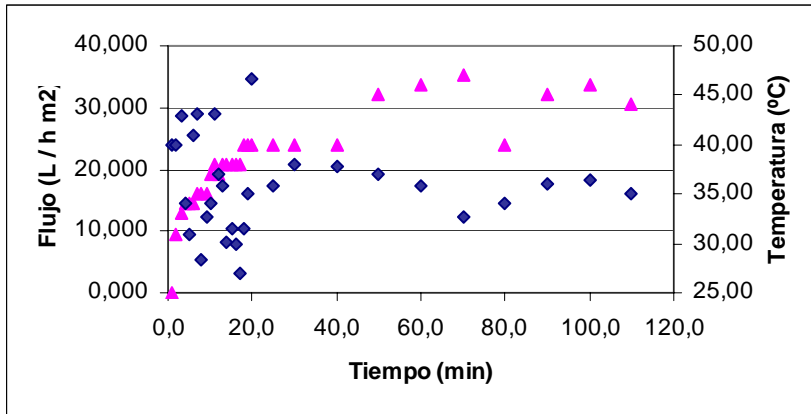
**5.2.4. Ensayos de microfiltración tangencial utilizando la relación pulpa de pitahaya:agua de 1:0,5, temperatura de 45°C y el tratamiento enzimático con enzima rapidase liq plus a 500 ppm (a) y (b).**

En cuadro 12 se observa que para el ensayo (a) y (b) el pH y los grados brix del retenido son iguales al de la pulpa para microfiltrar 3,8 y 8 respectivamente y en el permeado se dio una ligera variación ya que el pH fue de 3,7 y 6,5 para el ensayo (a) y de 3,7 y 7,5 para el (b), lo que sugiere que algunas sustancias no lograron atravesar los poros de la membrana. En lo referente a la viscosidad el permeado presentó una viscosidad 31 y 33 veces menor que la pulpa para microfiltrar en los ensayos (a) y (b) respectivamente y el retenido fue 1,3 y 1,4 veces menor con la misma referencia.

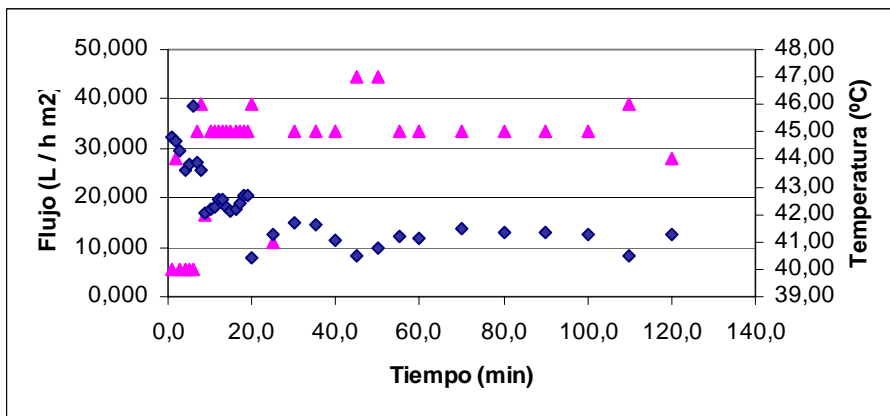
**Cuadro 12: Grados brix, pH y viscosidad aparente a 25°C con aguja nº2 y 50 rpm de pulpa de pitahaya, permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con rapidase liq plus (ensayo (a) y (b)).**

| Muestra                 | Ensayo (a)  |         |            | Ensayo (b)  |         |                        |
|-------------------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|------------------------|
|                         | pH          | °Brix   | Viscosidad | pH          | °Brix   | Viscosidad A 25°C (cp) |
| Pulpa para microfiltrar | 3,80 ± 0,1  | 8,0 ± 0 | 372 ± 0    | 3,80 ± 0,1  | 8,0 ± 0 | 400 ± 0                |
| Permeado                | 3,70 ± 0,01 | 7,5 ± 0 | 12 ± 0     | 3,70 ± 0,01 | 6,5 ± 0 | 12 ± 0                 |
| Retenido                | 3,80 ± 0,1  | 8,0 ± 0 | 275 ± 0    | 3,80 ± 0,1  | 8,0 ± 0 | 280 ± 0                |

En las figuras 17 y 18 se presentan el comportamiento del flujo de permeado y la temperatura durante el proceso de microfiltración con enzima rapidase liq plus. En el ensayo (a) se aprecia que hay un comportamiento similar al ensayo realizado con proteasa durante los primeros 25 min, hay una disminución del flujo de permeado, en esta etapa se da la formación de la capa de colmataje, luego se observa que hay un ligero aumento en el flujo para luego descender hasta 15 L/hm<sup>2</sup>, es importante hacer notar que la temperatura no estuvo estable sino con altos y bajos alcanzándose la temperatura de 45°C hasta los 50 min después de iniciado el proceso, lográndose así un comportamiento más estable del flujo de permeado. En el ensayo (b) el descenso del flujo fue un poco más regular durante los primeros 20 min en esta etapa se da la formación de la capa de colmataje, luego se observa un ligero aumento en el flujo para luego descender manteniéndose bastante estable el flujo desde los 40 min hasta finalizar el proceso con un flujo promedio de 12 L/hm<sup>2</sup>, en relación a la temperatura esta fue más estable. El flujo de permeado del segundo ensayo fue menor en un 20% con respecto al primer ensayo en la fase estable, lo que se puede explicar a la mayor viscosidad que presentó la pulpa para microfiltrar. En ambos ensayos el flujo se considera muy bajo comparados con los obtenidos en pina MD2 con 88 L/hm<sup>2</sup>, o en sandía Mikili con 120 L/hm<sup>2</sup> (Moler, 2004).

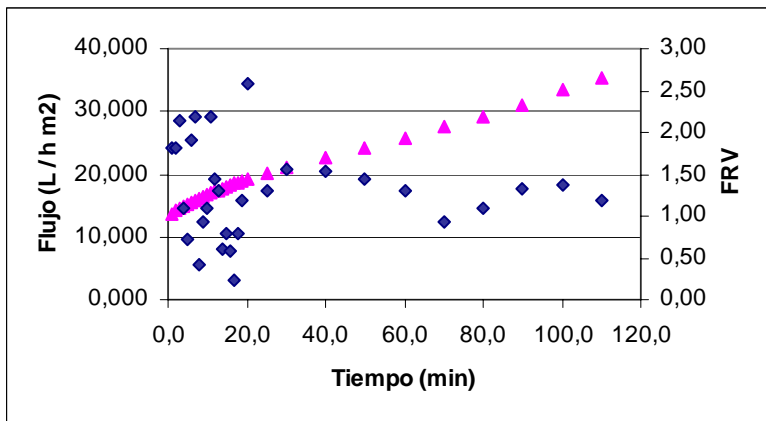


**Figura 17: Comportamiento del flujo de permeado y temperatura en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa pitahaya con enzimarapidase liq plus (a).**

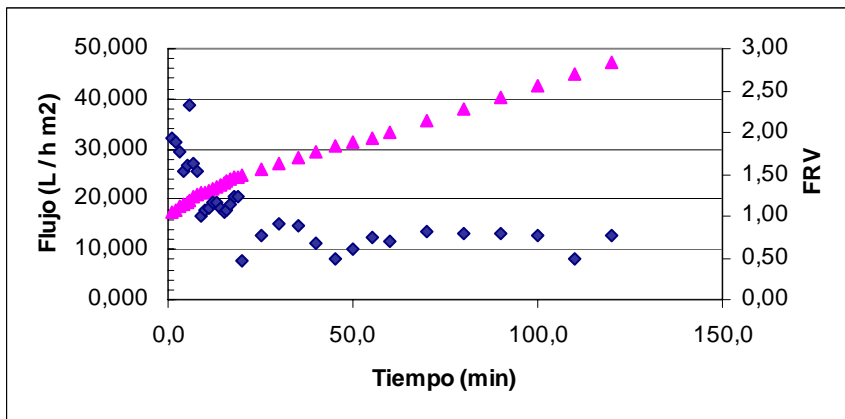


**Figura 18: Comportamiento del flujo de permeado y temperatura en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (b).**

En las figuras 19 y 20 se muestra el comportamiento del flujo de permeado y FRV para el ensayo (a) y (b) con rapidase liq plus en función del tiempo, donde se obtuvo el mismo comportamiento que en los ensayos anteriores, que a medida que se aumenta el FRV y el tiempo de proceso disminuye el flujo de permeado al concentrarse los sólidos en la superficie de la membrana. En la etapa del proceso donde el flujo es más o menos estable a los 50 min para el ensayo (a) se obtuvo un FRV de 1,8 finalizando con 2,6 y en ensayo (b) a los 40 min fue de 1,7 finalizando con 2,8. Al finalizar ambos procesos se obtuvo un rendimiento de 86,5% respectivamente (con respecto al peso de la pulpa que se utilizó para microfiltrar) al finalizar el tiempo de procesamiento.

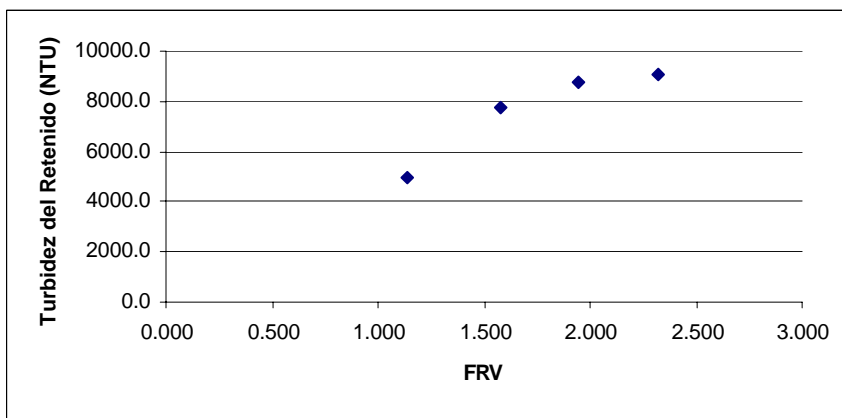


**Figura 19: Comportamiento del flujo de permeado y factor de reducción volumétrica (FRV) en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (a).**

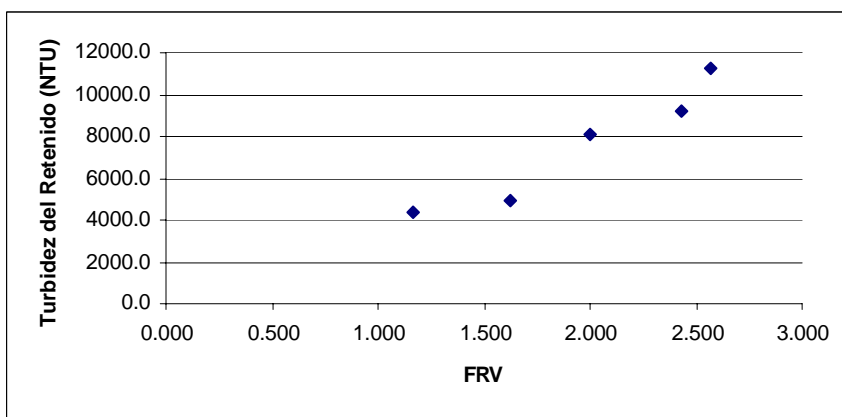


**Figura 20: Comportamiento del flujo de permeado y factor de reducción volumétrica (FRV) en función del tiempo en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (b).**

En la figura 21 y 22 se puede apreciar que la turbidez del retenido aumenta a lo largo del proceso. Al producirse un aumento de la turbidez del retenido disminuye el flujo, así en los primeros 30 min de los ensayos, la turbidez aumentó en un 54 y en un 10% con respecto a al valor medido a los 5 min y al finalizar se aumentó en un 82 y 108%, ya que se pasó de 4986 y 4410 NTU a 9094 y 9216 al finalizar los ensayos (a) y (b) respectivamente.



**Figura 21: Comportamiento de la turbidez de retenido en función del factor de reducción volumétrico en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (a).**



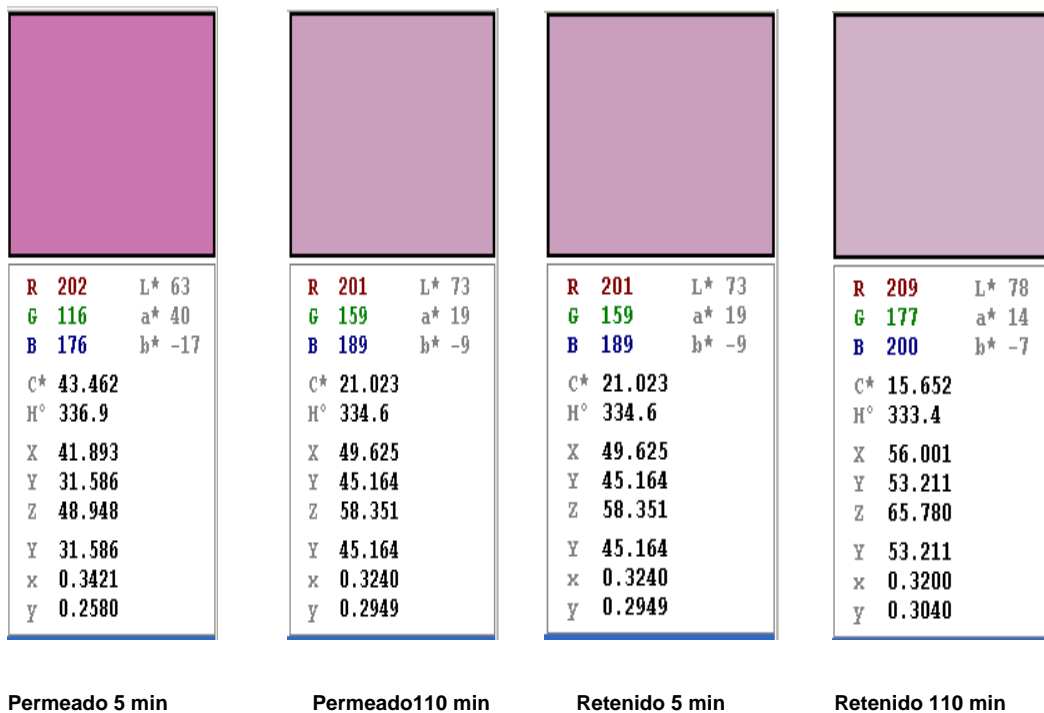
**Figura 22: Comportamiento de la turbidez de retenido en función del factor de reducción volumétrico en el proceso de microfiltración de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (b).**

En el cuadro 13 y figura 23 se presentan la transmisión del color de permeados y retenidos en el ensayo (a) con rapidase liq plus. En el permeado en los diferentes tiempos el valor de la tonalidad (H\*) es aproximadamente de 335, en el croma hay mucha variabilidad puesto que los valores van desde 20-44, esto se explica por la tonalidad del rojo (a\*) siendo mayor en el permeado a los 5 min con un valor de 40 contra valores que varían de 18-23. En cuanto a la luminosidad (L\*) va en aumento a medida que se avanza en el proceso, así se parte de 63 y se finaliza con 73. Al observar el color se puede apreciar que es más intenso el color rojo-violeta a los 5 min que en los otros tiempos.

En el retenido el valor de la tonalidad (H\*) es igual que en el permeado, de igual forma hay mucha variabilidad en el croma ya que los valores oscilan entre 15-21, así mismo en la tonalidad del rojo se observó una tendencia a disminuir los valores variando estos entre 19-14, en cuanto a la luminosidad también hay variaciones, siendo mayor en el retenido a los 110 min. El color que se aprecia en el retenido es de un violeta con un poco de mayor de color rojo en el retenido a los 5 min, pero estos colores a la vista humana no son capaces de diferenciarlos.

**Cuadro 13: Valores de transmisión de color (Hunter) Hue y Croma de permeado y retenido al 1% con buffer a pH 4 en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (a).**

| Muestra          | L*       | a*          | b*        | Croma (C*)  | Hue (H*)      |
|------------------|----------|-------------|-----------|-------------|---------------|
| Permeado 5 min   | 63,4 ± 0 | 40,2 ± 0,01 | 17,9 ± 0  | 43,9 ± 0    | 335,9 ± 0     |
| Permeado 30 min  | 69,9 ± 0 | 23,5 ± 0,01 | -10,9 ± 0 | 25,7 ± 0,01 | 334,9 ± 0,01  |
| Permeado 60 min  | 70,6 ± 0 | 22,7 ± 0,01 | -10,4 ± 0 | 24,9 ± 0,01 | 335,3 ± 0     |
| Permeado 80 min  | 73,2 ± 0 | 17,9 ± 0,01 | -8,6 ± 0  | 19,7 ± 0,01 | 334,4 ± 0,01  |
| Permeado 110 min | 73,0 ± 0 | 19,0 ± 0    | -8,7 ± 0  | 20,9 ± 0    | 335,4 ± 0     |
| Retenido 5 min   | 72,0 ± 0 | 19,1 ± 0,01 | -9,0 ± 0  | 21,0 ± 0    | 334,8 ± 0,001 |
| Retenido 30 min  | 68,5 ± 0 | 18,6 ± 0    | -8,2 ± 0  | 20,3 ± 0    | 336,2 ± 0,01  |
| Retenido 60 min  | 72,0 ± 0 | 15,3 ± 0    | -6,7 ± 0  | 16,8 ± 0    | 335,9 ± 0,01  |
| Retenido 80 min  | 70,6 ± 0 | 20,1 ± 0,01 | -9,4 ± 0  | 22,2 ± 0,01 | 334,9 ± 0,01  |
| Retenido 110 min | 78,4 ± 0 | 14,0 ± 0    | -6,8 ± 0  | 15,5 ± 0,01 | 334 ± 0,01    |



**Figura 23: Color (Hunter) para permeado y retenido a 1% con buffer a pH 4, en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya, con enzima rapidase liq plus (a).**

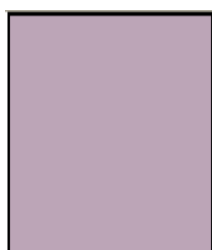
En el cuadro 14 y figura 24 se presentan la transmisión del color de permeados y retenidos en el ensayo (b) con rapidase liq plus. En el permeado en los diferentes tiempos el valor de la tonalidad ( $H^*$ ) es de 332, en el croma ( $C^*$ ) hay una ligera variabilidad con valores de 12-15, también en la tonalidad del rojo ( $a^*$ ) la variabilidad es muy poca de 11-13, así mismo la luminosidad varió muy poco con valores de 73-75.

En el retenido la tonalidad ( $H^*$ ) varió entre 334-338, en el croma varió de 8-13 y la tonalidad del rojo varió de 7-12 y la luminosidad fue igual al del permeado.

El color que se obtuvo tanto en el permeado como en el retenido fue un poco menos intenso que en el ensayo (a), lo que se puede apreciar también por el contenido de betacianina que fue menor, esto se puede explicar un poco por la viscosidad que presentó la pulpa para microfiltrar que fue un poco más viscosa.

**Cuadro 14: Valores de transmisión de color (Hunter) Hue y Croma de permeado y retenido en el proceso de microfiltración de pitahaya con enzima rapidase liq plus (b).**

| Muestra          | L*          | a*          | b*       | Croma       | Hue        |
|------------------|-------------|-------------|----------|-------------|------------|
| Permeado 5 min   | 73 ± 0      | 10,8 ± 0,01 | -5,8 ± 0 | 12,3 ± 0,01 | 332 ± 0,01 |
| Permeado 30 min  | 74 ± 0,01   | 12,4 ± 0,01 | -6,5 ± 0 | 14,0 ± 0,01 | 332 ± 0    |
| Permeado 60 min  | 75,2 ± 0    | 13,1 ± 0    | -7,0 ± 0 | 15,0 ± 0,01 | 332 ± 0,02 |
| Permeado 80 min  | 74,3 ± 0,01 | 13,8 ± 0,01 | -7,0 ± 0 | 15,4 ± 0,01 | 333 ± 0,01 |
| Permeado 110 min | 74,7 ± 0    | 13,0 ± 0,01 | -6,7 ± 0 | 15,0 ± 0,01 | 332 ± 0,02 |
| Retenido 5 min   | 76,2 ± 0    | 7,7 ± 0,01  | -3,8 ± 0 | 8,6 ± 0     | 334 ± 0,03 |
| Retenido 30 min  | 76,47 ± 0   | 12,6 ± 0,01 | -5,8 ± 0 | 13,7 ± 0    | 335 ± 0,01 |
| Retenido 60 min  | 76,0 ± 0    | 11,4 ± 0,01 | -4,7 ± 0 | 12,1 ± 0,01 | 337 ± 0,03 |
| Retenido 80 min  | 73,8 ± 0    | 10,3 ± 0,01 | -4,0 ± 0 | 11,0 ± 0    | 338 ± 0    |
| Retenido 110 min | 81,4 ± 0    | 9,7 ± 0     | -4,1 ± 0 | 10,5 ± 0,01 | 337 ± 0,01 |



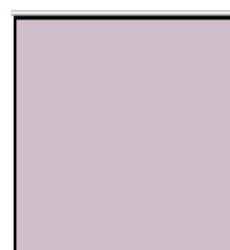
R 188 L\* 73  
G 165 a\* 11  
B 183 b\* -6  
C\* 12.529  
H° 331.3  
X 46.726  
Y 45.164  
Z 55.177  
Y 45.164  
x 0.3177  
Y 0.3070



R 194 L\* 74  
G 166 a\* 13  
B 188 b\* -7  
C\* 14.764  
H° 331.6  
X 49.003  
Y 46.703  
Z 58.054  
Y 46.703  
x 0.3186  
Y 0.3037



R 192 L\* 76  
G 176 a\* 7  
B 186 b\* -3  
C\* 7.6157  
H° 336.8  
X 49.970  
Y 49.887  
Z 57.464  
Y 49.887  
x 0.3176  
Y 0.3171



R 210 L\* 81  
G 189 a\* 9  
B 203 b\* -4  
C\* 9.8488  
H° 336.0  
X 59.240  
Y 58.471  
Z 68.348  
Y 58.471  
x 0.3183  
Y 0.3142

**Permeado 5 min**

**Permeado 110 min**

**Retenido 5 min**

**Retenido 110 min**



**Figura 24: Color (Hunter) para permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya al 1% con buffer a pH 4, utilizando enzima rapidase liq plus (b).**

El contenido de betacianina medido en la pulpa para microfiltrar fue de 0,35 y 0,23 mg/g de muestra para el ensayo (a) y (b) respectivamente.

En el cuadro 15 ensayo (a) se observa que el contenido de betacianina en el permeado no varía en los primeros 60 minutos (0,34 mg/g) y luego hay un descenso en aproximadamente 23% entre los 80-110 min. En relación al contenido de betacianina en el retenido la cantidad de betacianina casi es constante con un valor de 0,33 mg/g. Estos valores indican que el pigmento de la pitahaya roja (betacianina) no es retenido en la membrana, sino que pasan tanto al permeado como al retenido.

En el cuadro 15 ensayo (b) se observa que el contenido de betacianina en el permeado y en el retenido tienen un valor promedio de 0,21 mg/g, este valor es inferior en aproximadamente 0,100 mg/g en relación al valor obtenido en el ensayo anterior.

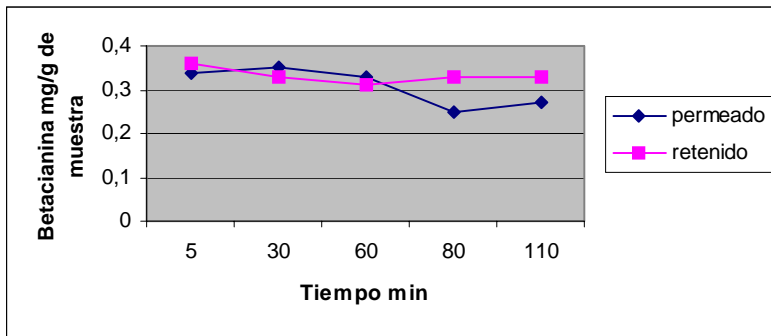
Valorando la cantidad de betacianina en las muestras de permeado (cuadro 15 y figura 25 y 26) se puede señalar que entre un 71-100% y de un 89-100% pasa de la pulpa para microfiltrar al permeado.

En la figura 25 puede observar que las tres primeras mediciones son iguales para permeado y retenido, disminuyendo en la parte final en el permeado y permaneciendo igual en el retenido; en la figura 26 se puede señalar que hay muy poca variación en el contenido de betacianina en permeado y retenido con una ligera diferencia en la parte inicial y al final del ensayo.

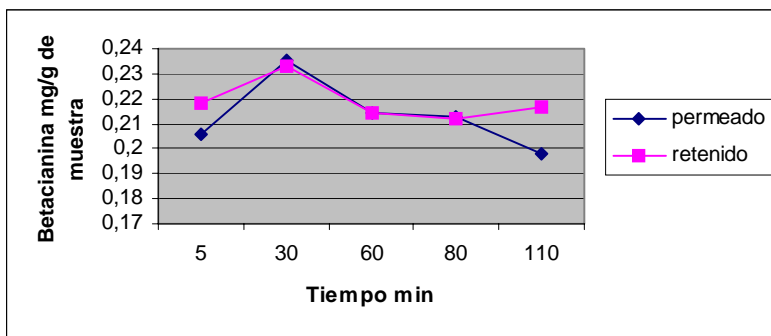
Al igual que en los ensayos anteriores el retenido puede ser utilizado para la elaboración de otros productos aprovechando el color que presentó.

**Cuadro 15: Contenido de betacianina en permeado y retenido en el proceso de microfiltración tangencial de pitahaya con enzima rapidase liq plus (a) y (b)**

| <b>Muestra</b>   | <b>Betacianina mg/ g de muestra (a)</b> | <b>Betacianina mg/ g de muestra (b)</b> |
|------------------|---|---|
| Permeado 5 min   | 0,34 ± 0,7                              | 0,206 ± 0                               |
| Permeado 30 min  | 0,35 ± 0,7                              | 0,230 ± 2                               |
| Permeado 60 min  | 0,33 ± 0,7                              | 0,214 ± 0                               |
| Permeado 80 min  | 0,25 ± 0,7                              | 0,213 ± 0                               |
| Permeado 110 min | 0,27 ± 0,7                              | 0,198 ± 7                               |
| Retenido 5 min   | 0,36 ± 1,4                              | 0,218 ± 0,7                             |
| Retenido 30 min  | 0,33 ± 1,4                              | 0,233 ± 2,8                             |
| Retenido 60 min  | 0,31 ± 0,7                              | 0,214 ± 4                               |
| Retenido 80 min  | 0,33 ± 2,1                              | 0,212 ± 3                               |
| Retenido 110 min | 0,33 ± 1,2                              | 0,217 ± 3                               |



**Figura 25: Contenido de betacianina en permeado y retenido en el proceso de microfiltración de pulpa de pithaya con rapidase liq plus (a).**



**Figura 26: Contenido de betacianina en permeado y retenido en el proceso de microfiltración de pulpa de pithaya con rapidase liq plus (b).**

## VI. CONCLUSIONES

- La pulpa de pitahaya tratada enzimáticamente con proteasa y rapidase liq plus a 500 ppm disminuye la viscosidad comportándose como un fluido pseudoplástico, sin embargo la pulpa es aún viscosa que dificulta el proceso de microfiltración tangencial.
- Con la microfiltración tangencial de la pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático se logró un flujo de permeado promedio en la fase estable de 32 l/hm<sup>2</sup>, con la enzima proteasa de 17 l/hm<sup>2</sup>, con rapidase liq plus (a) de 15 L/hm<sup>2</sup> y con (b) de 12 L/hm<sup>2</sup>; valores que son considerados muy bajos y no serían viables industrialmente ya que se requieren flujos mínimos de 50 L/hm<sup>2</sup>.
- Las características del jugo de pitahaya clarificado obtenido para el realizado sin tratamiento enzimático fue de 4,5 °brix, 3,5 de pH, 10 cp de viscosidad y 0,25 mg/g de betacianina. Para el jugo tratado con proteasa y rapidase liq plus fue de 12 cp, 3,7 de pH, 6,5-7,5 de °brix y de 0,23-0,35 mg/g de betacianina.
- El pigmento de la pitahaya (betacianina) no es retenido en la membrana sino que pasa tanto al permeado como al retenido, encontrándose los mayores valores en muestras tratadas con proteasa y rapidase liq plus con 0,35 mg/g.
- El color de la pulpa de pitahaya no es retenido en la membrana ya que éste pasa al jugo clarificado y al retenido.
- El color del permeado y del retenido corresponde a un color rojo violeta.

## VII. RECOMENDACIONES

- Continuar con los estudios que permitan mejorar el rendimiento de la operación de despulpado.
- Continuar con el estudio de las enzimas, a fin de utilizar la que mejor actúe de acuerdo a las características de la pared celular de la pulpa de pitahaya.
- Aumentar el número de horas del tratamiento enzimático que permita disminuir al máximo la viscosidad de la pulpa para microfiltrar.
- Realizar una operación preliminar a la microfiltración: filtración con muselina para disminuir la presencia de las paredes celulares insolubles.
- Aplicar agitación a la pulpa para microfiltrar para contribuir a la disminución de la viscosidad.
- Continuar el estudio de microfiltración tangencial utilizando pulpa de pitahaya para la obtención de flujos de permeado que sean factibles industrialmente y rentables económicamente.
- Estudiar la posibilidad de industrialización del retenido a fin de confeccionar otros productos alimenticios.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- ANÓNIMO. 2003. Presión transmembranaria. Internet. [Http://usuarios.lycos.es/GAMA-ulcast2.htm](http://usuarios.lycos.es/GAMA-ulcast2.htm).
- ANTEQUERA, S., ZELEDÓN, A., SOBALVARRO, A., BARQUERO., GUIDO, C., & ROSALES, D. 2002. Estudio sobre la pitahaya en Nicaragua. Trabajo de fin de curso. Universidad Nacional Agraria (UNA). Facultad de Desarrollo Rural. Carrera de Agronegocios. Nicaragua. p. 30-32,
- APRONOT. 2003. Empresa productora de pulpa de pitahaya. San Marcos, Carazo. Jinotepe. Nicaragua. Comunicación personal.
- BARBEAU, G. 1990a. Frutas tropicales en Nicaragua. Instituto de Reforma Agraria. Managua, Nicaragua. p. 155, 159.
- BARBEAU, G. 1990b. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits*. 45(2):141-147.
- BARBERA, G., INGLESE, P. & PIMIENTA, E. 1999. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO, producción y potencial vegetal. nº 132. Roma.
- BIMBENET, J. & GRANIER, P. 1977. L'osmose inverse et L'ultrafiltration dans les industries alimentaires. Cahiers du genie industriel alimentaire. París. 32p.
- CAMPOS – HUGUENEY, L., PERTZ, G., BARBEAU, G. 1986. Avances en la Tecnología de la Pitahaya (*Hylocereus undatus*). Boletín Técnico LABAL. Nicaragua. (7):3-8.
- CENTRO DE TRÁMITES Y EXPORTACIONES. 2002. Exportaciones autorizadas de pitahaya. Nicaragua. p. 4-10.
- CISNEROS, L. 2000. De-seeding technology for pitahaya pulp. Nicaraguan Agricultural Reconstruction and Assistance Program. 14 p.
- DECLoux, M., DORNIER, M. & GRATIUS, I. 1996. Crosflow microfiltration of gum arabic classical system with the co-current permeate flow system. *International Journal of Food Science and Technology*. 31:153-166
- DECLoux, M. 1999. Utilización de membranas en el campo de los jugos de frutas. *In* Simposio Internacional Aplicación de tecnologías de membranas en la industria agro-alimentaria latinoamericana, Escuela Politécnica Nacional. Quito. p 3-10.

DELGADO-VARGAS F., JIMÉNEZ A. R., & PAREDES-LÓPEZ, 2000. Natural Pigments: Carotenoids, anthocyanins and betalains. *Food Science and Nutrition*. 40(3):173-289.

DORNIER, M., VAILLANT, F. & REYNES, M. 1999. Interés de la evaporación osmótica para la producción de jugos de frutas concentrados de calidad superior. *In* Simposio Internacional Aplicación de tecnologías de membranas en la industria agro-alimentaria latinoamericana, Escuela Politécnica Nacional. Quito. p. 99-108.

DZIEZAK, J. 1990. Membrane separation technology offers processors unlimited potential. *Food Technology*. 44(9):108-113.

GIRARD, B. & FUKUMOTO, L. 2000. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review critical. *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 40(2):91-157.

GONZÁLEZ, M.C. & PÉREZ, C.M. 1966. Clarificación enzimática y concentración de la pulpa de guanábana. Tesis. Ingeniero Químico. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería Química. Cali.

GRANCHER, S. 1996. La pitahaya: valorisation du fruit un colorant alimentaire. Diplome D'ingénieur des Techniques Agricoles et Alimentaires. ENESAD. p. 12, 13, 17

KANNER, J., HAREL, S. & GRANT, R. 2001. Betalains-A new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:5178-5185.

LÓPEZ, H., 1996. Cultivo de la Pitahaya. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua. p. 3 – 4.

LÓPEZ-MUNGUÍA, C.A. 1986. Las enzimas y los alimentos. *Tecnología de Alimentos*. 21(2):22-28.

MADY, G. 1999. Membrane technology in agro-industrial applications. *Advances technical industries. In* Simposio Internacional. Aplicación de tecnologías de membranas en la industria agro-alimentaria latinoamericana. Quito. p. 137-149.

MORALES, P. & MATAMOROS, U. 1999. La importancia económica de la pitahaya en Nicaragua. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Agronomía. p. 89.

OIRSA. 2004. Caracterización de fincas productoras de pitahaya (*Hylocereus undatus* BRITT & ROSE) en Nicaragua. Managua. 72 p.

PILNIK, W. & VORAGEN, A.G. 1991. Effect of enzyme treatment on the quality of food processed fruit and vegetables. *Food Processing*. 1(8):125-129.

REAL DEL SOL, E. & CEREZAL, P. 1995. Estudio de los parámetros de operación en la ultrafiltración del jugo de remolacha para colorante. *La Alimentación Latinoamericana*. nº 206:34-40.

RIVAS, M., 1996. Cactáceas y suculentos: del jardín botánico Lankester. UNED. San José. p. 5, 13.

RODRIGUEZ, A. 1997. Guía técnica para la producción de plantas de pitahaya en viveros. Universidad Autónoma de Chapingo. 70 p.

ROSES, M. 1999. Estudio sobre la caracterización, producción, análisis de mercadeo y rentabilidad del cultivo de la pitahaya. IICA-GTZ. Ministerio Agropecuario y forestal. Nicaragua. p 1-2, 4.

SAGUY, I., KOPELMAN, I. J. & MIZRAHI, S. 1978. Computeraided determination of beet pigments. *Journal of Food Science*. 43:124-127.

SAPER, G.M. & HORNSTEIN, J.S. 1979. Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments. *Journal of food Science*. 44:1245-1248.

STINTZIN, F.C., SCHIEBER, A. & CARLE, R. 2002. Bbetacyanins in fruit from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food chemistry*. 77:101-106.

VAILLANT, F., MILLAN, P., O'BRIEN, G., DORNIER, M., DECLoux, M. & REYNES, M. 1999a. Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. *Journal of Food Engineering*. 42:215-224.

VAILLANT, F., MILLÁN, A., DORNIER, M., DECLoux, M. & REYNES, M. 1999b. La microfiltración tangencial de los jugos pulposos. Una nueva estrategia. *In* Simposio Internacional Aplicación de tecnologías de membranas en la industria agro-alimentaria latinoamericana, Escuela Politécnica Nacional. Quito. p. 19-35

VAILLANT, F., MILLAN, A., DORNIER, M., DECLoux, M. & REYNES, M. 2001. Strategy for economical optimisation of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration. *Journal of Food Engineering*. 48:83-90.

VILLAREAL, L., COURIOU, R., RUALES, J. & VAILLANT, F. 1999. Efecto de la microfiltración tangencial sobre las características nutricionales y funcionales del jugo de maracuyá (*Pasiflora edulis* var. *Flavicarpa*). *In* Simposio Internacional Aplicación de tecnologías de membranas en la industria agro-alimentaria latinoamericana, Escuela Politécnica Nacional. Quito. p 19-35



# ANEXOS

**Cuadro 16: Viscosidad aparente de pulpa de pitahaya con y sin semillas a 25 y 45 °c y a diferentes velocidades.**

| Muestra                               | Viscosidad (cp)   |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|---------------------------------------|-------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                                       | Velocidades (rpm) |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                                       | 50                | 100  | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| Pulpa de pitahaya con semillas a 25°C | 1637              | 1210 | 744 | 637 | 595 | 543 | 539 | 522 | 536 | 553 | 491  |
| Pulpa de pitahaya con semillas a 45°C | 1109              | 775  | 543 | 474 | 438 | 440 | 463 | 470 | 456 | 429 | 401  |
| Pulpa de pitahaya sin semillas a 45°C | 1221              | 732  | 564 | 471 | 455 | 469 | 476 | 468 | 474 | 502 | -    |
| Pulpa de pitahaya sin semillas a 25°C | 1900              | 1248 | 773 | 663 | 533 | 518 | 406 | 394 | 437 | 417 | 361  |

**Cuadro 17: Viscosidad aparente de pulpa de pitahaya medida a 30 y 60 min a 45°C con diferentes velocidades utilizando proteasa y rapidase liq plus.**

| Muestra   | Viscosidad (cp)   |       |      |      |      |      |     |     |     |     |      |
|---|-------------------|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|
|   | Velocidades (rpm) |       |      |      |      |      |     |     |     |     |      |
|   | 50                | 100   | 200  | 300  | 400  | 500  | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| Pulpa de pitahaya con proteasa a los 30 min y a 45°C          | 703               | 489   | 368  | 357  | 306  | 299  | 301 | 306 | 293 | 288 | 266  |
| Pulpa de pitahaya con proteasa a los 60 min y a 45°C          | 669               | 520   | 325  | 306  | 308  | 303  | 309 | 301 | 292 | 300 | 272  |
| Pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a los 30 min y a 45°C | 11630             | 12822 | 6037 | 3803 | 2701 | 1325 | 468 | 439 | 416 | 666 | 596  |
| Pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a los 60min y a 45°C  | 669               | 498   | 388  | 292  | 289  | 297  | 298 | 297 | 299 | 295 | 278  |

**Cuadro 18: Velocidad de cizalla y viscosidad para pulpa de pitahaya con y sin semilla a 25 y 45°C.**

| Velocidad de cizalla (s <sup>-1</sup> ) | Viscosidad pulpa de pitahaya con semilla a 25°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya con semilla a 45°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya sin semilla a 25°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya sin semilla a 45°C (Pa*s) |
|---|--|--|--|--|
| 16,75                                   | 1,637  | 1,109  | 1,9  | 1,221  |
| 33,5                                    | 1,21   | 0,775  | 1,248  | 0,732  |
| 67,0                                    | 0,744  | 0,543  | 0,773  | 0,564  |
| 100,5                                   | 0,637  | 0,474  | 0,663  | 0,471  |
| 134                                     | 0,595  | 0,438  | 0,533  | 0,455  |
| 167,5                                   | 0,543  | 0,44   | 0,518  | 0,469  |
| 201                                     | 0,539  | 0,463  | 0,406  | 0,476  |
| 234,5                                   | 0,522  | 0,47   | 0,394  | 0,468  |
| 268                                     | 0,536  | 0,456  | 0,437  | 0,474  |
| 301,5                                   | 0,553  | 0,429  | 0,417  | 0,502  |
| 335                                     | 0,491  | 0,401  | 0,361  | —  |

**Cuadro 19: Velocidad de cizalla y viscosidad para pulpa de pitahaya con proteasa y rapidase liq plus medida a 30 y 60 min a 45°C.**

| Velocidad de cizalla (s <sup>-1</sup> ) | Viscosidad pulpa de pitahaya con proteasa a 30 min 45°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya con proteasa a 60 min y 45°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a 30 min y 45°C (Pa*s) | Viscosidad pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a 60 min y 45°C (Pa*s) |
|---|--|--|---|---|
| 16,75                                   | 0,703  | 0,669  | 11,63   | 0,669   |
| 33,5                                    | 0,489  | 0,52   | 12,822  | 0,489   |
| 67,0                                    | 0,368  | 0,325  | 6,037   | 0,388   |
| 100,5                                   | 0,357  | 0,306  | 3,803   | 0,292   |
| 134                                     | 0,306  | 0,308  | 2,701   | 0,289   |
| 167,5                                   | 0,299  | 0,303  | 1,325   | 0,297   |
| 201                                     | 0,301  | 0,309  | 0,468   | 0,298   |
| 234,5                                   | 0,306  | 0,301  | 0,439   | 0,297   |
| 268                                     | 0,293  | 0,292  | 0,416   | 0,299   |
| 301,5                                   | 0,288  | 0,300  | 0,666   | 0,295   |
| 335                                     | 0,266  | 0,272  | 0,596   | 0,278   |

**Cuadro 20: Velocidad de cizalla y fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con y sin semilla a 25 y 45°C.**

| Velocidad de cizalla (s <sup>-1</sup> ) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con semilla a 25°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con semilla a 45°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya sin semilla a 25°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya sin semilla a 45°C (Pa) |
|---|--|--|--|--|
| 16,75                                   | 27,41  | 18,5   | 31,8   | 20,4   |
| 33,5                                    | 40,5   | 25,9   | 41,8   | 24,5   |
| 67,0                                    | 49,8   | 36,3   | 51,7   | 37,7   |
| 100,5                                   | 64,0   | 47,6   | 66,6   | 47,3   |
| 134                                     | 79,7   | 58,6   | 71,4   | 60,9   |
| 167,5                                   | 90,9   | 73,6   | 86,7   | 78,5   |
| 201                                     | 108,3  | 93,0   | 81,6   | 95,6   |
| 234,5                                   | 122,4  | 110,2  | 92,3   | 109,7  |
| 268                                     | 123,4  | 122,2  | 92,3   | 127,0  |
| 301,5                                   | 124,4  | 129,3  | 92,3   | 151,3  |
| 335                                     | 125,4  | 134,3  | 92,3   |  |

**Cuadro 21: Velocidad de cizalla y fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con proteasa y rapidase liq plus medida a 30 y 60 min a 45°C.**

| Velocidad de cizalla s <sup>-1</sup> | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con proteasa a 30 min y 45°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con proteasa a 60 min y 45°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a 30 min y 45°C (Pa) | Fuerza de cizalla en pulpa de pitahaya con rapidase liq plus a 60 min y 45°C (Pa) |
|--------------------------------------|--|--|---|---|
| 16,75                                | 11,7   | 11,2   | 194,8   | 11,2  |
| 33,5                                 | 16,3   | 17,4   | 429,5   | 16,6  |
| 67,0                                 | 24,6   | 21,7   | 404,4   | 25,9  |
| 100,5                                | 35,8   | 30,7   | 382,2   | 29,3  |
| 134                                  | 41,0   | 41,2   | 361,9   | 38,7  |
| 167,5                                | 50,0   | 50,7   | 221,9   | 49,7  |
| 201                                  | 60,5   | 62,1   | 94,0  | 59,8  |
| 234,5                                | 71,7   | 70,5   | 102,9   | 69,6  |
| 268                                  | 78,5   | 78,2   | 111,4   | 80,1  |
| 301,5                                | 86,8   | 90,4   | 200,7   | 88,9  |
| 335                                  | 89,1   | 91,1   | 199,6   | 93,1  |

**Cuadro 22: Datos de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya sin tratamiento enzimático.**

| Tiempo (min) | Volumen Total (mL) | FRV   | Temperatura (°C) | Presión transmembranaria (kg/cm <sup>2</sup> ) | Flujo (L/hm <sup>2</sup> ) | Turbidez retenido (NTU) |
|--------------|--------------------|-------|------------------|--|----------------------------|-------------------------|
| 1            | 3,930              | 1,092 | 28               | 1,7  | 79,09                      | 2156                    |
| 2            | 4,180              | 1,161 | 28               | 1,6  | 76,36                      |                         |
| 3            | 4,430              | 1,231 | 28               | 1,5  | 68,64                      |                         |
| 4            | 4,660              | 1,294 | 28               | 1,3  | 62,27                      |                         |
| 5            | 4,880              | 1,356 | 28               | 1,3  | 55,91                      | 3338                    |
| 6            | 5,010              | 1,392 | 28               | 1,2  | 55,91                      |                         |
| 7            | 5,180              | 1,439 | 28               | 1,2  | 55                         |                         |
| 8            | 5,370              | 1,492 | 28               | 1,2  | 52,73                      |                         |
| 9            | 5,560              | 1,544 | 28               | 1,2  | 48,18                      |                         |
| 10           | 5,750              | 1,597 | 28               | 1,1  | 48,64                      | 5749                    |
| 11           | 5,940              | 1,65  | 28               | 1,1  | 47,73                      |                         |
| 12           | 6,100              | 1,694 | 28               | 1,2  | 43,18                      |                         |
| 13           | 6,280              | 1,744 | 28               | 1,1  | 48,18                      |                         |
| 14           | 6,440              | 1,789 | 28               | 1,1  | 47,73                      |                         |
| 15           | 6,600              | 1,833 | 28               | 1,1  | 35,45                      | 6383                    |
| 16           | 6,760              | 1,878 | 28               | 1,1  | 45                         |                         |
| 17           | 6,920              | 1,922 | 28               | 1,1  | 43,73                      |                         |
| 18           | 7,090              | 1,969 | 28               | 1,1  | 43,18                      |                         |
| 19           | 7,250              | 2,014 | 28               | 1,1  | 46,36                      |                         |
| 20           | 7,400              | 2,056 | 28               | 1,2  | 44,55                      | 4934                    |
| 21           | 7,550              | 2,097 | 28               | 1,2  | 45,55                      |                         |
| 22           | 7,710              | 2,142 | 28               | 1,2  | 43,64                      |                         |
| 23           | 7,870              | 2,186 | 28               | 1,1  | 41,82                      |                         |
| 24           | 8,020              | 2,228 | 28               | 1,1  | 43,18                      |                         |
| 25           | 8,170              | 2,269 | 28               | 1,1  | 42,73                      | 4632                    |
| 26           | 8,320              | 2,311 | 28               | 1,2  | 33,64                      |                         |
| 27           | 8,490              | 2,358 | 28               | 1,0  | 41,82                      |                         |
| 28           | 8,620              | 2,394 | 28               | 1,0  | 39,09                      |                         |
| 29           | 8,770              | 2,436 | 28               | 1,1  | 39,55                      |                         |
| 30           | 8,920              | 2,478 | 28               | 1,2  | 39,09                      | 7988                    |
| 35           | 9,640              | 2,678 | 29               | 0,9  | 40,91                      | 4182                    |
| 40           | 10,350             | 2,875 | 35               | 1,3  | 45,45                      | 9322                    |
| 45           | 11,080             | 3,078 | 43               | 1,4  | 48,18                      | 4216                    |
| 50           | 11,680             | 3,244 | 35               | 1,6  | 30                         | 6368                    |
| 55           | 12,260             | 3,406 | 28               | 1,4  | 26,82                      |                         |
| 60           | 12,780             | 3,55  | 25               | 1,7  | 30,45                      | 6256                    |
| 70           | 13,900             | 3,861 | 25               | 1,7  | 37,27                      | 4842                    |
| 80           | 15,260             | 4,239 | 25               | 1,7  | 35,91                      | 8894                    |
| 90           | 16,510             | 4,586 | 28               | 1,7  | 33,18                      | 6056                    |
| 100          | 17,660             | 4,906 | 27               | 1,7  | 32,27                      | 8426                    |
| 110          | 18,810             | 5,225 | 27               | 1,9  | 31,82                      | 8862                    |

**Cuadro 23: Datos de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima proteasa**

| Tiempo (min) | Volumen Total (mL) | FRV   | Temperatura (°C) | Presión transmembranaria (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Flujo (L/hm <sup>2</sup> ) | Turbidez permeado (NTU) | Turbidez retenido (NTU) |
|--------------|--------------------|-------|------------------|--|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1            | 3,73               | 1,036 | 25               | 1,2  | 31,5                       |                         |                         |
| 2            | 3,86               | 1,072 | 25               | 1,3  | 30,91                      |                         |                         |
| 3            | 3,99               | 1,108 | 26               | 1,4  | 35,36                      |                         |                         |
| 4            | 4,12               | 1,144 | 28               | 1,5  | 30,00                      |                         |                         |
| 5            | 4,25               | 1,181 | 28               | 1,7  | 27,27                      | 1,38                    | 506                     |
| 6            | 4,38               | 1,217 | 28               | 1,5  | 25,45                      |                         |                         |
| 7            | 4,48               | 1,244 | 30               | 1,5  | 31,82                      |                         |                         |
| 8            | 4,58               | 1,272 | 30               | 1,2  | 36,36                      |                         |                         |
| 9            | 4,68               | 1,3   | 30               | 1,2  | 32,73                      |                         |                         |
| 10           | 4,78               | 1,328 | 30               | 1,1  | 30,00                      | 1,73                    | 993                     |
| 11           | 4,86               | 1,35  | 30               | 1,3  | 23,64                      |                         |                         |
| 12           | 4,95               | 1,375 | 32               | 1,2  | 35,45                      |                         |                         |
| 13           | 5,04               | 1,4   | 30               | 1,2  | 20,91                      |                         |                         |
| 14           | 5,13               | 1,425 | 32               | 1,1  | 39,55                      |                         |                         |
| 15           | 5,22               | 1,45  | 32               | 1,1  | 37,27                      |                         |                         |
| 16           | 5,31               | 1,475 | 32               | 1,1  | 18,64                      |                         |                         |
| 17           | 5,39               | 1,497 | 34               | 1,5  | 26,36                      |                         |                         |
| 18           | 5,47               | 1,519 | 34               | 1,2  | 21,82                      |                         |                         |
| 19           | 5,54               | 1,539 | 36               | 1,4  | 23,18                      |                         |                         |
| 20           | 5,61               | 1,558 | 35               | 1,5  | 22,27                      | 3,09                    | 1111                    |
| 22           | 5,68               | 1,578 | 35               | 1,4  | 19,55                      |                         |                         |
| 23           | 5,75               | 1,597 | 36               | 1,5  | 21,36                      |                         |                         |
| 24           | 5,82               | 1,617 | 36               | 1,4  | 16,36                      |                         |                         |
| 25           | 5,89               | 1,636 | 37               | 1,3  | 11,36                      |                         |                         |
| 26           | 5,96               | 1,656 | 38               | 1,7  | 12,73                      |                         |                         |
| 27           | 6,04               | 1,678 | 38               | 1,2  | 15                         |                         |                         |
| 28           | 6,11               | 1,697 | 39               | 1,1  | 25,45                      |                         |                         |
| 29           | 6,18               | 1,717 | 38               | 1,1  | 23,18                      |                         |                         |
| 30           | 6,24               | 1,733 | 39               | 1,3  | 12,27                      | 4,16                    | 1118                    |
| 35           | 6,58               | 1,828 | 42               | 1,2  | 10                         |                         |                         |
| 40           | 6,84               | 1,9   | 41               | 1,1  | 20,91                      |                         |                         |
| 45           | 7,08               | 1,967 | 43               | 1,4  | 15,91                      | 5,84                    | 1565                    |
| 50           | 7,35               | 2,042 | 45               | 1,2  | 15,91                      |                         |                         |
| 55           | 7,58               | 2,106 | 45               | 1,1  | 13,18                      |                         |                         |
| 60           | 7,79               | 2,164 | 45               | 0,9  | 19,09                      | 5,67                    | 2154                    |
| 65           | 8,01               | 2,225 | 45               | 1,1  | 11,36                      | 4,38                    | 2263                    |



**Cuadro 24: Datos de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (a).**

| Tiempo (min) | Volumen Total (L) | FRV   | Temperatura (°C) | Presión transmembranaria (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Flujo (L / h m <sup>2</sup> ) | Turbidez Permeado (NTU) | Turbidez Retenido (NTU) |
|--------------|-------------------|-------|------------------|--|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1            | 3,700             | 1,028 | 25               | 1,3  | 24,09                         |                         |                         |
| 2            | 3,810             | 1,058 | 31               | 1,4  | 24,09                         |                         |                         |
| 3            | 3,900             | 1,083 | 33               | 1,4  | 28,64                         |                         |                         |
| 4            | 4,000             | 1,111 | 34               | 1,4  | 14,55                         |                         |                         |
| 5            | 4,100             | 1,139 | 34               | 1,3  | 9,55                          | 4,28                    | 4986,0                  |
| 6            | 4,190             | 1,164 | 34               | 1,2  | 25,45                         |                         |                         |
| 7            | 4,280             | 1,189 | 35               | 1,4  | 29,09                         |                         |                         |
| 8            | 4,370             | 1,214 | 35               | 1,4  | 5,45                          |                         |                         |
| 9            | 4,440             | 1,233 | 35               | 1,1  | 12,27                         |                         |                         |
| 10           | 4,530             | 1,258 | 37               | 1,2  | 14,55                         |                         |                         |
| 11           | 4,600             | 1,278 | 38               | 1,3  | 29,09                         |                         |                         |
| 12           | 4,670             | 1,297 | 37               | 1,4  | 19,09                         |                         |                         |
| 13           | 4,730             | 1,314 | 38               | 1,3  | 17,27                         |                         |                         |
| 14           | 4,800             | 1,333 | 38               | 1,4  | 8,18                          |                         |                         |
| 15           | 4,870             | 1,353 | 38               | 1,2  | 10,45                         |                         |                         |
| 16           | 4,940             | 1,372 | 38               | 1,2  | 7,73                          |                         |                         |
| 17           | 5,000             | 1,389 | 38               | 1,2  | 3,18                          |                         |                         |
| 18           | 5,060             | 1,406 | 40               | 1,2  | 10,45                         |                         |                         |
| 19           | 5,120             | 1,422 | 40               | 0,9  | 15,91                         |                         |                         |
| 20           | 5,190             | 1,442 | 40               | 1,0  | 34,55                         |                         |                         |
| 25           | 5,460             | 1,517 | 40               | 1,0  | 17,27                         |                         |                         |
| 30           | 5,690             | 1,581 | 40               | 0,9  | 20,91                         | 3,9                     | 7717                    |
| 40           | 6,130             | 1,703 | 40               | 1,2  | 20,45                         |                         |                         |
| 50           | 6,530             | 1,814 | 45               | 0,9  | 19,09                         |                         |                         |
| 60           | 6,990             | 1,942 | 46               | 1,0  | 17,27                         | 6,9                     | 8779                    |
| 70           | 7,490             | 2,081 | 47               | 1,0  | 12,27                         |                         |                         |
| 80           | 7,850             | 2,181 | 40               | 1,2  | 14,55                         |                         |                         |
| 90           | 8,350             | 2,319 | 45               | 1,2  | 17,73                         | 7,1                     | 9094                    |
| 100          | 9,010             | 2,503 | 46               | 1,2  | 18,18                         |                         |                         |
| 110          | 9,510             | 2,642 | 44               | 1,8  | 15,91                         |                         |                         |

**Cuadro 25: Datos de microfiltración tangencial de pulpa de pitahaya con enzima rapidase liq plus (b).**

| Tiempo | V Total | FRV   | Temperatura | Presión Transmembranaria | Flujo                   | Turbidez Permeado | Turbidez Retenido |
|--------|---------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| (min)  | (L)     |       | (°C)        | (kg/cm <sup>2</sup> )    | (L / h m <sup>2</sup> ) | (NTU)             | (NTU)             |
| 1      | 3,730   | 1,036 | 40          | 0,8                      | 32,27                   |                   |                   |
| 2      | 3,860   | 1,072 | 44          | 0,8                      | 31,36                   |                   |                   |
| 3      | 3,980   | 1,106 | 40          | 0,8                      | 29,55                   |                   |                   |
| 4      | 4,090   | 1,136 | 40          | 0,8                      | 25,45                   |                   |                   |
| 5      | 4,200   | 1,167 | 40          | 0,8                      | 26,82                   | 5,88              | 4410,0            |
| 6      | 4,300   | 1,194 | 40          | 0,8                      | 38,64                   |                   |                   |
| 7      | 4,410   | 1,225 | 45          | 0,8                      | 27,27                   |                   |                   |
| 8      | 4,510   | 1,253 | 46          | 1,0                      | 25,45                   |                   |                   |
| 9      | 4,570   | 1,269 | 42          | 1,0                      | 16,82                   |                   |                   |
| 10     | 4,640   | 1,289 | 45          | 1,0                      | 17,73                   |                   |                   |
| 11     | 4,710   | 1,308 | 45          | 1,0                      | 18,18                   |                   |                   |
| 12     | 4,780   | 1,328 | 45          | 1,0                      | 19,55                   |                   |                   |
| 13     | 4,860   | 1,350 | 45          | 1,0                      | 19,55                   |                   |                   |
| 14     | 4,950   | 1,375 | 45          | 1,0                      | 18,18                   |                   |                   |
| 15     | 5,020   | 1,394 | 45          | 1,0                      | 17,27                   |                   |                   |
| 16     | 5,100   | 1,417 | 45          | 1,0                      | 17,73                   |                   |                   |
| 17     | 5,170   | 1,436 | 45          | 1,0                      | 19,09                   |                   |                   |
| 18     | 5,240   | 1,456 | 45          | 1,0                      | 20,45                   |                   |                   |
| 19     | 5,300   | 1,472 | 45          | 1,0                      | 20,45                   |                   |                   |
| 20     | 5,370   | 1,492 | 46          | 1,0                      | 7,73                    |                   |                   |
| 25     | 5,590   | 1,553 | 41          | 1,3                      | 12,73                   |                   |                   |
| 30     | 5,860   | 1,628 | 45          | 1,3                      | 15,00                   | 5,3               | 4888              |
| 35     | 6,140   | 1,706 | 45          | 1,1                      | 14,55                   |                   |                   |
| 40     | 6,370   | 1,769 | 45          | 1,1                      | 11,36                   |                   |                   |
| 45     | 6,600   | 1,833 | 47          | 1,1                      | 8,18                    |                   |                   |
| 50     | 6,770   | 1,881 | 47          | 1,1                      | 10,00                   |                   |                   |
| 55     | 6,990   | 1,942 | 45          | 1,1                      | 12,27                   |                   |                   |
| 60     | 7,200   | 2,000 | 45          | 1,3                      | 11,82                   | 7,8               | 8109              |
| 70     | 7,710   | 2,142 | 45          | 1,3                      | 13,64                   |                   |                   |
| 80     | 8,220   | 2,283 | 45          | 1,3                      | 13,18                   |                   |                   |
| 90     | 8,740   | 2,428 | 45          | 1,3                      | 13,18                   | 10,3              | 9216              |
| 100    | 9,240   | 2,567 | 45          | 1,3                      | 12,73                   | 11                | 11257             |
| 110    | 9,750   | 2,708 | 46          | 1,7                      | 8,18                    |                   |                   |
| 120    | 10,230  | 2,842 | 44          | 1,7                      | 12,73                   |                   |                   |