



**AGROSAVIA**



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**VALIDACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PILOTO DE MICROFILTRACIÓN  
TANGENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE JUGO DE MORA (*Rubus glaucus*  
Benth.)**

**VALIDATION OF A TANGENTIAL MICROFILTRATION PILOT PRODUCTION LINE  
FOR OBTAINING BLACKBERRY JUICE (*Rubus glaucus* Benth.)**

**Juan Diego Zuluaga Narváez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Ciencias Agrarias  
Departamento Ingeniería Agrícola y Alimentos  
Medellín, Colombia  
2024

**Validación de una línea de producción piloto de micro filtración tangencial para la obtención de jugo de mora (*Rubus glaucus* Benth.)**

**Validation of a tangential microfiltration pilot production line for obtaining blackberry juice (*Rubus glaucus* Benth.)**

**Juan Diego Zuluaga Narvález**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:  
**Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos.**

Director:

Ph.D. Misael Cortés Rodríguez

Codirectores:

Ph.D. Pablo Emilio Rodríguez Fonseca.

Ph.D. Fabrice Eric Vaillant Barka.

Grupos de Investigación:

Innovaciones tecnológicas para agregar valor a recursos agrícolas (ITAV) - AGROSAVIA  
Alimentos Funcionales (GAF) – UNAL

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Ciencias Agrarias  
Departamento Ingeniería Agrícola y Alimentos  
Medellín, Colombia  
2024

*Dedicatoria*

*A mi familia, sé que su amor es incondicional.*





### **AGRADECIMIENTOS**

Al cuerpo de docentes - investigadores del Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agrarias por compartir su experiencia y conocimientos; quienes forjan mi vida académica y profesional.

A mis directores Misael Cortés Rodríguez, Fabrice Vaillant y Pablo Rodríguez por su cordialidad con su tiempo y dedicación para direccionarme satisfactoriamente en pro de esta meta.

Especial el agradecimiento al personal de laboratorio de calidad de la Universidad nacional, a los enormes aliados de la planta piloto del Centro de Investigación La Selva; Agrosavia, por su apoyo y compañía en la ejecución técnica.

A la sociedad ASOFRUTA por el suministro de toda la fruta necesaria para los procesos y al Departamento de Antioquia (Colombia) por el apoyo financiero.

## RESUMEN

La mora andina se cultiva ampliamente en los andes colombianos, alcanzando aproximadamente 140,000 ton/año (Agronet, 2021). Es una baya rica en azúcares, pero bajas en calorías, contienen sólo pequeñas cantidades de grasa. En buena proporción su ingesta aporta vitaminas, antioxidantes y compuestos fenólicos (cianidinas, elagitaninos, entre otros), los cuales son potencialmente benéficos para la salud; sin embargo, su vida poscosecha es corta, lo que limita su aprovechamiento industrial.

El proceso de microfiltración tangencial (MFT) por membranas permite la remoción de microorganismos presentes en la materia prima, reteniéndolos por un mecanismo de tamizado basado en el tamaño de partículas. Esta particularidad, la hace un proceso muy útil para la agroindustria, obteniéndose bebidas de frutas lista para su consumo con una buena conservación de sus nutrientes y compuestos aromáticos (alto nivel de calidad); además, previene la formación de subproductos indeseables. El objetivo de la investigación fue evaluar la factibilidad técnica del proceso de microfiltración tangencial como tecnología para obtener jugos de mora con potencial efecto antioxidante, valorizando así la cadena agroindustrial con altas innovaciones tecnológicas. La investigación se realizó en la planta piloto de poscosecha y agroindustria de AGROSAVIA, Centro la Selva, Rionegro, Antioquia e implicó tres (3) etapas durante su desarrollo.

En la 1ª etapa se desarrolló la formulación de la bebida de mora, para lo cual se utilizó mora tipo industrial proveniente del oriente de Antioquia, Colombia, suministrada por la Asociación de productores de mora y tomate de árbol (ASOFRUTAS). Inicialmente, el fruto fue desintegrado (molido), luego se sometió a un tratamiento enzimático (1h, 35°C, PectinexSp-L-150ppm.) con el objetivo de reducir la viscosidad de la fase líquida y mejorar el rendimiento del filtrado y finalmente, se hidroprensó hasta obtener un extracto líquido 1 y una torta 1. Posteriormente, la torta 1 se lava y nuevamente se hidroprensa para recuperar algunos compuestos hidrosolubles (principalmente antocianinas), obteniéndose un extracto líquido 2. La bebida de mora se formuló con un contenido de sólidos solubles finales de 10.5% (10.5 °Bx) antes de ser microfiltrada, utilizando un 40% de extracto líquido 1, un 60% de extracto líquido 2 y azúcar añadida hasta alcanzar los °Bx finales.

En la 2ª etapa, se determinó el delta de presión transmembranaria (DPTM) óptima, para lo cual la bebida fue microfiltrada sobre membranas tubulares de cerámica (Membralox EP 4840) de 0,2  $\mu\text{m}$  x 1,6m<sup>2</sup>. El proceso MFT operó en modo continuo, manteniendo constante la temperatura de entrada de la bebida al módulo de las membranas (35°C) y la velocidad tangencial proveída por la bomba (v) (6 HP). La evaluación del proceso MFT se realizó considerando la variable independiente: DPTM (1.0, 1.5, 2.5 y 3.5 bar) y las variables dependientes: flujo de permeado (**jp**) y el factor de reducción volumétrica (FCV). En los ensayos realizados, el mayor promedio de **jp** (86 L/h m<sup>2</sup>) para una mismo FCV se obtuvo a una DPTM de 1,5 bar. Se observó una disminución brusca del **jp**

durante la fase inicial del proceso MFT, donde se forma la capa de colmatación; por otro lado, durante esta etapa un incremento en el DPTM supone un efecto positivo para el caudal de filtrado. Posteriormente, la incrustación de los componentes de la fruta en los poros de la membrana produce una disminución progresiva pero más lenta del **jp**. En esta zona el incremento del DPTM no necesariamente representa un mayor **jp**. El nivel de DPTM 1.5 bar fue asumido como control para evaluar el impacto de la aplicación de los pulsos inversos (back pulses en inglés) (BP) sobre las variables de proceso: **jp**, FCV y retención total de compuestos biológicamente activos (%R\_CBA). Los parámetros establecidos para la aplicación de los pulsos fueron: amplitud de 4 bar (60 psi) y tiempo de duración del pulso de 0.2 s; además, se evaluaron dos frecuencias de aplicación (1.0 y 2.0 min). Durante el proceso se observó una colmatación en las membranas, generando una disminución en el **jp**; sin embargo, la aplicación de los BP favorece el volumen neto de permeado ( $10 \text{ L/h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  adicional). En cuanto al %R\_CBA, durante MFT para Cyanidin-3-O-Glucoside (Cy-3-Gl), Cyanidin-3-O-rutinoside (Cy-3-Rut) y Cyanidin-3-O-MalonilGlucoside (Cy3-MGI) fueron del 12, 12 y 10% respectivamente; mientras que, para los elagitaninos evaluados y Sanguin H6 (Sng H6) Lambertianin C (Lamb\_C) fueron 25 y 29% respectivamente. Se disminuyeron con BP en  $\approx 2\%$  los coeficientes de retención para las ANC y muy significativamente en  $\approx 10\%$  para los EGts estudiados. Finalmente, la bebida de mora obtenida fue envasada asépticamente, observándose que el proceso es capaz de remover completamente los sólidos suspendidos, resultando en un producto visualmente limpio, de mejor color y claridad, con alta calidad sensorial y sin recuento de microorganismos causantes de deterioro. Los atributos de calidad obtenidos en la bebida microfiltrada fueron los siguientes: Ac. Málico ( $1.7 \pm 0.03\%$ ), °Bx ( $10.50 \pm 0.02\%$ ), pH ( $2.97 \pm 0.03$ ), color (L:  $16.4 \pm 0.49$ , a  $33.5 \pm 0.3$ , b  $18.9 \pm 1.3$ ), Cyanidin-3-O-Glucoside (Cy3GI) ( $294.5 \pm 5.7 \text{ mg/L}$ ), Cyanidin-3-O-rutinoside (Cy3Rut) ( $284.5 \pm 4.2 \text{ mg/L}$ ), Cyanidin-3-O-MalonilGlucoside (Cy3MGI) ( $105.2 \pm 6.7 \text{ mg/L}$ ), Lambertianin C (Lamb\_C) ( $210.2 \pm 30.6 \text{ mg/L}$ ) y Sanguin H6 (Sng\_H6) ( $280.6 \pm 8.2 \text{ mg/L}$ ).

En la 3ª etapa se realizó un estudio de la estabilidad de la bebida microfiltrada de mora durante el almacenamiento a 4°C y tiempos de control (0, 15, 30, 45, 60 y 75 días). El perfil sensorial establecido por consenso determinó que la bebida conserva después del proceso el sabor dulce y frutal, la intensidad ácida y la sensación de astringencia que persiste al comer la fruta fresca. La valoración sensorial de los panelistas mostró que la aceptación del producto se conserva hasta los 45 días de almacenamiento con una calificación de “*me agrada extremadamente*”; a los 60 días como “*ni me agrada ni me desagrada*”, y a los 75 días fue rechazada. Los atributos de calidad a los 75 días de almacenamiento fueron los siguientes: Ac.Málico ( $2.1 \pm 0.02 \text{ mg/100g}$ ), °Bx ( $10.1 \pm 0.1 \%$ ), pH ( $2.6 \pm 0.1$ ), L ( $6.3 \pm 0.01$ ), a ( $27.3 \pm 0.1$ ), b ( $10.0 \pm 0.0$ ), Cy-3-Gl ( $225.5 \pm 2.05 \text{ mg/L}$ ), Cy-3-Rut ( $176.9 \pm 0.77 \text{ mg/L}$ ), Cy-3-MGI ( $92.3 \pm 0.06 \text{ mg/L}$ ), Lamb\_C ( $184.5 \pm 0.9 \text{ mg/L}$ ), y Sng\_H6 ( $183.6 \pm 1.9 \text{ mg/L}$ ). Por otro lado, se evidenció una inconformidad en el crecimiento microbiano por un conteo inadmisibles para mohos y levaduras, y la presencia de aerobios totales, lo cual causa un deterioro sensorial y rechazo en la bebida almacenada.

Palabras claves: *Rubus glaucus benth*, Bebida funcional, Microfiltración tangencial.

## Abstract

The Andean blackberry is widely cultivated in the Colombian mountains, reaching 140,000 tons/year (Agronet, 2021). This berry is rich in sugars, but low in calories, containing only small amounts of fat. In good proportion, its intake provides vitamins, antioxidants and phenolic compounds (cyanidins, ellagitannins, among others), which are potentially beneficial for health; however, its post-harvest life is short, which limits its industrial use.

Cross flow microfiltration process (CFM)) allows the removal of microorganisms by membranes present in the raw material, retaining them by a sieving mechanism based on the size of the particles. This peculiarity makes it a very useful process for the agroindustry, obtaining high quality ready-to-drink fruit beverages with good preservation of its nutrients and aromatic compounds.

The aim of the research was to evaluate the technical feasibility of CFM process as a technology to obtain blackberry juices with potential antioxidant effect, thus valuing the agro-industrial chain with high technological innovations. The research was carried out in the postharvest and agroindustry pilot plant of AGROSAVIA, Centro la Selva, Rionegro, Antioquia and involved three (3) stages during its development.

In the 1st stage, the formulation of the blackberry drink was developed, for which an industrial type blackberry was obtained from the east of Antioquia, Colombia, supplied by the Association of Blackberry and Tree Tomato Producers (ASOFRUTAS). Initially, the fruit was disintegrated (ground), then it was subjected to an enzymatic treatment (1h, 35°C, PectinexSp-L-150ppm.) with the objective of reducing the viscosity of the feed and improve filtration performance filtrate and finally, it is hydropressed until obtaining a liquid extract 1 and a cake 1. Subsequently, cake 1 is washed and hydropressed again to recover some water-soluble compounds (mainly anthocyanins), obtaining a liquid extract 2.

The blackberry drink was formulated with a final soluble solids content of 10.5% (10.5 °Bx) before being microfiltered, using 40% liquid extract 1, 60% liquid extract 2 and added sugar until reaching °Bx. finals.

In the 2nd stage, the optimal transmembrane pressure (TMP) was determined, for which the beverage was microfiltered on ceramic tubular membranes (Membralox EP 4840) of 0.2  $\mu\text{m}$  x 1.6m<sup>2</sup>. The CFM process operated in continuous mode, keeping the temperature at the entrance of the beverage to the membrane module constant (35°C) and the tangential speed provided by the pump ( $\mu$ ) (6 HP). The evaluation of the CFM process was carried out considering the independent variable: TMP (1.0, 1.5, 2.5 and 3.5 bar) and the dependent variables: permeate flow ( $j_p$ ) and the volumetric reduction ratio (VCR). In the tests carried out, the highest average  $j_p$  (86 L/h m<sup>2</sup>) for the same VCR was obtained at a TMP of 1.5 bar. A sharp decrease in  $j_p$  was observed during the initial phase of the MFT process, where the clogging layer is formed; on the other hand, during this stage an increase in the TMP supposes a positive effect for the filtrate flow. Subsequently, the embedding of the fruit components in the membrane pores produces a progressive but slower decrease in  $j_p$ . In this zone, the increase in TPM does not necessarily represent a higher  $j_p$ . The TMP level of 1.5 bar was assumed as a control to evaluate the impact of the application of back pulses (BP) on the process variables:  $j_p$ , VCR and total retention of biologically active compounds (%R\_BAC). The parameters established for the application of the pulses were: amplitude of 4 bar (60 psi) and duration of the pulse of 0.2 s; In addition, two application frequencies (1.0 and 2.0 min) were evaluated. During the process, a clogging of the membranes was observed, generating a decrease in the  $j_p$ ; however, the application of the BP favors the net volume of permeate (10 additional L/H\*m<sup>2</sup>).

Regarding during MFT for Cy-3-Gl, Cy-3-Rut) and Cy3-MGI were 12, 12 and 10% respectively, while for the EGTs evaluated Sng H6 and Lamb\_C were 25 and 29% respectively. Retention coefficients for ANCs were reduced by 2% with BP and very significantly by 10% for the EGTs studied. Finally, the blackberry drink obtained was aseptically packaged, observing that the process is capable of completely removing suspended solids, resulting in a visually clean product, with better color and clarity, with high sensory quality and without the count of spoilage-causing microorganisms. The quality attributes obtained in the microfiltered drink were the following: Malic acid  $1.7 \pm 0.03\%$ , °Bx ( $10.50 \pm 0.02\%$ ), pH ( $2.97 \pm 0.03$ ), color (L:  $16.4 \pm 0.49$ , a  $33.5 \pm 0.3$ , b  $18.9 \pm 1.3$ ), Cyanidin-3-O-Glucoside (Cy3GI) ( $294.5 \pm 5.7$  mg/L), Cyanidin-3-O-rutinoside (Cy3Rut) ( $284.5 \pm 4.2$  mg/L), Cyanidin-3-O-MalonilGlucoside (Cy3MGI) ( $105.2 \pm 6.7$  mg/L), Lambertianin C (Lamb\_C) ( $210.2 \pm 30.6$  mg/L) y Sanguin H6 (Sng\_H6) ( $280.6 \pm 8.2$  mg/L).

In the 3rd stage, a study of the stability of the microfiltered blackberry beverage was carried out during storage at 4°C and sample times (0, 15, 30, 45, 60 and 75 days). The sensory profile established by consensus determined that after the process, the beverage preserves the sweet and fruity flavor, the acid intensity and the sensation of astringency that persists when eating fresh fruit. The sensory evaluation of the panelists showed that the acceptance of the product is preserved up to 45 days of storage with a rating of "I like it extremely"; at 60 days as "I neither like it nor dislike it", and at 75 days it was rejected. The quality attributes at 75 days of storage were the following: Malic acid ( $2.1 \pm 0.02$  mg/100g), °Bx ( $10.1 \pm 0.1$  %), pH ( $2.6 \pm 0.1$ ), L ( $6.3 \pm 0.01$ ), a ( $27.3 \pm 0.1$ ), b ( $10.0 \pm 0,0$ ), Cy-3-Gl ( $225.5 \pm 2.05$  mg/L), Cy-3-Rut ( $176.9 \pm 0.77$  mg/L), Cy-3-MGI ( $92.3 \pm 0.06$  mg/L), Lamb\_C ( $184.5 \pm 0.9$ mg/L), y Sng\_H6 ( $183.6 \pm 1.9$  mg/L). On the other hand, a nonconformity in microbial growth was evidenced due to an inadmissible count for molds and yeasts, and the presence of total aerobes, which causes sensory deterioration and rejection in the stored beverage.

**Key words:** *Rubus glaucus benth*, functional beverage, Cross flow microfiltration.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>18</b>
1.1 INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.2 CONTEXTO ECONÓMICO.....	20
1.3 MARCO TEÓRICO. ....	23
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MORA. ....	23
1.3.2 COMPUESTOS BIOACTIVOS DE INTERÉS EN LAS FRUTAS. ....	25
1.3.3 TRATAMIENTOS DE PASTERIZACIÓN EN JUGOS DE FRUTA. ....	29
1.3.4 TECNOLOGÍA DE MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL. ....	31
<b>2. OBJETIVOS. ....</b>	<b>41</b>
OBJETIVO GENERAL:.....	41
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	41
HIPÓTESIS: .....	41
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y BEBIDAS DE MORA.....	42
3.2 PROCESO Y FORMULACIÓN DE LA BEBIDA. ....	44
3.3 PROCESO DE MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL .....	49
3.4 ESTABILIDAD DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN. ....	50
3.5 ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS BEBIDAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO.....	51
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	53
4.2 PROCESO Y FORMULACIÓN DE LA BEBIDA. ....	53
4.3 ATRIBUTOS DE CALIDAD PARA LA BEBIDA DE MORA. ....	56
4.4 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MFT.....	59
4.4.1 EFECTO DEL NIVEL DE DPTM SOBRE EL FLUX DE PERMEADO (JP).....	59
4.4.2 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BACK PULSE SOBRE EL FLUX DE PERMEADO. ....	61
4.5 ESTABILIDAD DE LA BEBIDA DURANTE EL ALMACENAMIENTO. ....	64
4.5.1 CALIDAD MICROBIANA. ....	64
4.5.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	65
4.5.3 ESTABILIDAD DE LOS CBA (ANCs Y EGTs).....	67
4.6 EVALUACIÓN SENSORIAL DURANTE EL ALMACENAMIENTO.....	69

---

**5. CONCLUSIONES..... 73**

**RECOMENDACIONES..... 74**

**BIBLIOGRAFÍA..... 75**

**ANEXOS..... 95**

**Índice de figuras.**

<b>Figura 1.</b> Fluctuaciones del precio pagado por kg de mora al productor.	19
<b>Figura 2.</b> Ilustración <i>Rubus glaucus</i> Benth	21
<b>Figura 3.</b> Clasificación visual NTC 4106 para la mora.	22
<b>Figura 4.</b> Estructura química de la antocianina	26
<b>Figura 5.</b> Estructura química de los elagitaninos.	27
<b>Figura 6.</b> Clasificación procesos de filtración por membrana.	30
<b>Figura 7.</b> Relación entre el flux y los parámetros de operación de la MFT.	33
<b>Figura 8.</b> Representación de la formación de la capa de gel.	35
<b>Figura 9.</b> Representación del modo de acción del back pulse.	36
<b>Figura 10.</b> Unidad piloto de MFT	43
<b>Figura 11.</b> Esquema línea piloto de microfiltración tangencial.	44
<b>Figura 12.</b> Flujiograma del proceso de MFT para la obtención de una bebida de mora	45
<b>Figura 13.</b> Recta de calibración de la filtrabilidad del agua en la membrana.	46
<b>Figura 14.</b> Colmatantes obstruyendo canales	46
<b>Figura 15.</b> Influencia del tipo de enzima, tiempo de acción y la concentración, sobre la reducción de la viscosidad del jugo hidropresado.	51
<b>Figura 16.</b> Perfil de ANCs y EGTs en el permeado, obtenido por HPLC.	55
<b>Figura 17.</b> Comportamiento del jp para la bebida de mora MFT a diferentes niveles de DPT	57
<b>Figura 18.</b> Comportamiento del jp vs FCV a un DPTM de 1.5Bar, sin y con BP	59
<b>Figura 19.</b> Retención de CBA en los procesos de MFT SBP, BP1 y BP2	61
<b>Figura 20.</b> Evolución de parámetros de calidad de la bebida almacenada.	63
<b>Figura 21.</b> Degradación de los CBA durante el almacenamiento.	65
<b>Figura 22.</b> Perfil sensorial para la bebida MFT de mora	67
<b>Figura 23.</b> Bebida mora MFT T0.	68
<b>Figura 24.</b> Variación en la aceptación de la bebida de mora en refrigeración.	69

---

**Índice de tablas.**

Tabla 1. volúmenes de producción últimos 5 años.	18
Tabla 2. Composición nutricional de mora de los andes ( <i>R. glaucus</i> Benth.)	23
Tabla 3. Clasificación de los antioxidantes fenólicos en las frutas	24
Tabla 4. Criterios comparativos de diferentes módulos de membranas	31
Tabla 5. Modelos descritos para colmatación (fouling) en procesos por membrana.	34
Tabla 6. Diseño factorial tratamiento enzimático	41
Tabla 7. Interpretación estadística de la prueba triangular según nivel de significancia.	48
Tabla 8. Escala de medición del perfil sensorial y la aceptación global de las bebidas	49
Tabla 9. Resultados experimentales en la formulación de la bebida <b>MFT(10,5°Bx, 40%fruta).</b>	52
Tabla 10. Atributos de calidad de la formulación y los productos del proceso de MFT.	53
Tabla 11. Cambios en la calidad microbiana durante el almacenamiento.	61
Tabla 12. Cinéticas de reacción de los CBA de la bebida de mora obtenida por MFT durante el almacenamiento a 4°C	66

**Abreviaturas empleadas.**

MFT:	Microfiltración tangencial.
DPTM:	Delta presión transmembranaria (bar).
BP:	Back pulse.
FCV:	Factor de concentración volumétrica.
L*:	Luminosidad
a*:	Cromaticidad roja
b*:	Cromaticidad azul
CBA	Compuestos biológicamente activos.
$\Delta E$ :	Diferencia de color
ANCs	Antocianinas.
EGTs	Elagitaninos.
Cy3GI	Cyanidin-3-O-Glucoside.
Cy3Rut	Cyanidin-3-O-Rutinoside.
Cy3MGI	Cyanidin-3-O-Malonil-Glucoside
Sng H6	Sanguinin H6.
Lamb_C	Lambertianin C
Ac.Ela	ácido elágico.
SST (°Bx)	Sólidos solubles totales (ml L <sup>-1</sup> )
T°:	Temperatura (°C)
SIS:	Sólidos insolubles en suspensión.
P.M.	Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )
$\mu$	Viscosidad
PGNU/ml	Actividad enzimática en unidad poligalacturonasa
jp:	flujo de permeado (L h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
R%:	porcentaje retención.
MO	Microorganismos.
N:	Recuento microorganismos mL <sup>-1</sup>
U.F.C:	Unidades formadoras de colonias

---

RMY	Recuento de mohos, hongos y levaduras
Rac	Recuento de microorganismos areobios mesófilos.
Kv:	Cinética de deterioro de 1 <sup>er</sup> orden (día <sup>-1</sup> )
Kc:	Coefficiente de transferencia de masa
v:	Velocidad tangencial (m s <sup>-1</sup> )
AT	Vida media útil
M.W.O.C.	Corte de peso molecular de la membrana
Dη	Delta Viscosidad
Kc	coeficiente de colmatación
Cg	concentración de partículas en la capa de gel
Cb	concentración de soluto en la interfase

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Interés de la investigación.**

La frutas han sido consideradas alimentos prioritarios en el plan nacional de seguridad alimentaria y nutricional (PNSAN 2012-2019) como una iniciativa para mejorar las condiciones de salud de la población, destacando los beneficios nutricionales de su consumo. Para conservar un apropiado estado de salud, la Organización Mundial de Salud (OMS) recomienda para llevar una alimentación sana un consumo diario de cinco o más porciones (400g) de frutas y verduras. Los compuestos biológicamente activos (CBA) que aporta el consumo de frutas en general y que son beneficiosos para la salud de los consumidores, son vitaminas, minerales (potasio, magnesio y calcio, entre otros), hidratos de carbono (proveen energía para el metabolismo), fibras (mejoran el tránsito intestinal), ácidos orgánicos esenciales (buen desempeño fisiológico), entre otros (Martínez-Navarrete, Camacho-Vidal, & Martínez-Lahuerta., 2008). Los frutos de mora se resaltan por su elevado potencial nutracéutico, atribuido principalmente al contenido de antocianinas, las cuales son pigmentos con actividad biológica asociados a la disminución de radicales libres en el metabolismo; por lo que, se le reconocen propiedades antidiabéticas, antiinflamatorias, reducción de la enfermedad coronaria y mejoramiento del comportamiento cognitivo (Quesada, et al., 2020).

La agroindustria muestra así una tendencia hacia las frutas silvestres, que son fuente prometedora de compuestos bioactivos. Es importante distinguir las principales características de una agroindustria rural. Su tamaño es generalmente pequeño o mediano y le es muy difícil conectar con un mercado de masa. Por otro lado, por su cercanía a los centros de producción, puede acceder a productos de calidad y atender mercados nichos (Vaillant, F. Rodríguez, 2018). La industria procesadora de bebidas a base de frutas en Colombia tiene como desafíos, pensando en la competitividad, el impulso a las formas asociativas y empresariales, la automatización, control y tecnologías de conservación postcosecha, el desarrollo de productos de mayor valor agregado, incremento de la calidad y seguridad de los alimentos, e información y trazabilidad, de forma tal que las innovaciones permitan a la pequeña agricultura entrar en una fase eficiente de desarrollo capaz de ofrecer respuesta a la convergencia del problema tecnológico y organizativo de la producción; que contrarreste las debilidades tanto en el sector primario como en el agroindustrial mejorando la productividad y la competitividad de los pequeños productores.

A pesar de estas oportunidades endógenas, limitantes ambientales, socio-económicas y la escasa intensidad tecnológica, han propiciado un deterioro del sector agrícola, una

---

mayor concentración de la tierra y el agravamiento de los factores de violencia en el campo (Cardona, A. 2016). La dinámica de distribución y comercialización de la cadena agroindustrial de la mora exhibe la presencia de intermediarios entre los eslabones que se traduce en precios muy fluctuantes, con una escasa o nula influencia de los costos de producción incurridos por el agricultor en el monto percibido por la venta de su fruta, y que colocan en condiciones de inestabilidad la economía campesina y, por lo tanto, la seguridad alimentaria de la región. Esta condición se ve agravada en el campo ante factores como la alta perecibilidad de la mora, la dificultad técnica para su almacenamiento, la falta de tecnologías innovadoras aplicadas a una industria para la transformación y el envasado, sumado a el aumento constante en los precios pagados por los insumos (como semillas, fertilizantes, maquinaria, etc), los cuales le impiden al campesino para poder «defender» el precio de sus cosechas.

La investigación realizada está relacionada con el procesamiento de una bebida que utilizó la tecnología de microfiltración tangencial (MFT), la cual permitió prolongar la vida útil de una bebida de mora sin afectar la seguridad microbiológica ni las propiedades sensoriales y nutricionales; adicionalmente, el producto mostró una apariencia uniforme y luminosa, y un aporte de CBA que favorecen la salud del consumidor (Sánchez et al., 2007). La tecnología se basa en el uso de una interfaz porosa, selectiva, a través de la cual se transporta una solución de alimentación cuando se aplica una presión transmembrana. El proceso de separación se basa principalmente en el tamaño molecular, pero también en su composición química y estructura. La MFT de las bebidas ofrece una diversidad de beneficios relacionados con (i) bajo consumo de energía, (ii) no involucra el cambio de fase y (iii) no es necesario agregar productos químicos, que lo hace un producto 100% natural (Amit & Sirshendu, 2019).

El proyecto evidenció la factibilidad técnica del proceso de MFT del jugo de mora, aportando al cierre de la brecha tecnológica que existe entre las asociaciones productoras y la agroindustria rural en el departamento de Antioquia, Colombia, y posibilitando el acercamiento con el consumidor final mediante productos con valor agregado que apuntan a subsanar las condiciones de baja competitividad de pequeños y medianos productores del sector frutícola. Adicionalmente, se desarrolló un proceso de transformación diferenciado con enfoque sostenible, empresarial y competitivo, social y ambientalmente acorde con la normatividad colombiana, cuyos productos podrán contribuir en la generación de empleo e ingresos rurales. En consecuencia, el proyecto contribuyó en la diversificación de la oferta de un producto funcional, libre de aditivos químicos, accesible para los consumidores y la industria, y potencialmente comercializable.

## 1.2 Contexto económico

Los frutales andinos revisten alto grado de importancia como fuente de ingresos y parte fundamental de la soberanía alimentaria para nuestro territorio. Colombia dispone de 22 millones de hectáreas cultivables (sin afectar el área del bosque natural). Están sembradas 6.9 de ellas en diversos cultivos. Su desarrollo ha sido lento; enfrentando aún desafíos de transformación tecnológica y mejoras en la productividad de las parcelas. Data de la década del 70's los primeros esbozos de intensificación en zonas en las cuales las plantas pasaron de estar en las huertas campesinas a ser cultivadas en forma incipiente. Para los años 80's, la diversificación de cultivos tradicionales como alternativa de ingreso para las familias campesinas, hizo a la mora un cultivo comercial en varias regiones de clima frío moderado, aunque con limitaciones de calidad y afectaciones por plagas y enfermedades (Norton, 2017). Para las décadas posteriores, el desarrollo de la agroindustria de bebidas y otros productos a base de frutas, incentivó la demanda acrecentando el volumen producido y trayendo consigo la implementación de prácticas agronómicas. Ha sido tradicionalmente de vocación familiar desarrollado por pequeños productores, con poblaciones que generalmente no exceden las 2000 plantas (Díaz, Medina, & Saldarriaga., 2012). El cultivo de mora agrupa en Colombia una gran cantidad de productores, presentando un crecimiento del 16% del área sembrada desde el 2018 hasta el presente y del 28% en producción en ese mismo periodo. La producción Colombiana corresponde al 12% de la producción mundial de esta baya presentando un crecimiento de 18.4% del área sembrada entre 2018 a 2019 (Asohofrucol. Proyecciones Unidad Técnica, 2019). El cultivo de frutales corresponde a la cifra del 9.3% del total agrario establecido en el país. De este territorio, 1,86% del área plantada es mora (Tabla1). Los departamentos de Huila y Cundinamarca son los mayores productores.

Tabla 1. volúmenes de producción últimos 5 años.

<b>Mora_Nacional</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Área sembrada (Has)</b>	14.416	15.145	14.554	14.625	15.737
<b>Área cosechada (Has)</b>	12.529	13.073	12.469	13.199	13.620
<b>Producción (Ton)</b>	105.825	108.846	110.464	123.194	130.004

Fuente (MADR\_2020)

El rendimiento promedio para el país oscila alrededor de 11.6 t/Ha el cual, bajo un sistema intensivo y con la implementación de buenas prácticas agrícolas BPA, puede llegar a las 18 y 20 t/Ha (Agronet, 2021). Bajo estos indicadores, puede verse como un

cultivo agrícola rentable para pequeños productores que tiene la imperiosa necesidad de innovar para poder competir. La encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) para el año 2019 muestra que en Colombia se dio una producción de 136 mil t/ha de mora, de las cuales aproximadamente el 55% se ofrecen en fresco en supermercados y plazas de abasto para el consumo de los hogares, mientras que cerca del 30% se vende a la agroindustria, cifra que es muy baja comparada con la producción mundial, donde se transforma casi el 90% en néctares, jugos, pulpas congeladas, concentrados, mermeladas, jaleas, colorantes y polvos deshidratados (XXX).

Desde hace algunos años, Antioquia representa el 9% de la producción nacional con cerca de 12 mil toneladas al año y 1480 hectáreas sembradas (DANE. ENA, 2019). El oriente antioqueño ostenta la mayor productividad en el cultivo de mora en el departamento, evidenciando su capacidad de producción con más del 75 % del área sembrada y más del 82,5% de la producción total. La agrocadena se ve fortalecida por las asociaciones de las zonas productoras y la agroindustria como aliado comercial (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012). La producción de mora en el distrito agropecuario del oriente antioqueño se ha sustentado en las ventajas comparativas como contar con una oferta permanente, la vocación hacia el cultivo y la disponibilidad de recursos ambientales; demandando posibilidades de agro industrialización de la cadena de transformación, envasado y la distribución.

En la comercialización de la mora, se identifican cuatro canales de distribución dependiendo del mercado final: 1) acopiador-mayorista-detallista, 2) proveedor-supermercado, 3) mayorista-agroindustria y 4) asociaciones de productores. La concentración de dichos eslabones en pocas manos genera sobre la rentabilidad del sector productor no integrado una enorme presión por parte de la agroindustria, la cual dicta el valor a pagar por la materia prima (figura 1) (Ruiz, M. D. P., Urueña, M. A., & Martínez, 2009). El gobierno proyecta un sector agroindustrial con un gran potencial para desarrollos, al tiempo que plantea un gran desafío para lograr su transformación. Esto enfocado a optimizar los rendimientos a través de mejoras genéticas, de la implementación de tecnologías de punta, agricultura de precisión; desarrollo de núcleos, economías de escala y estrategias para dar valor agregado.



Figura 1. Fluctuaciones del precio pagado por kg de mora al productor.(Fuente: MADR)

En relación con los procesos de transformación a los que se somete la mora destacan la comercializada mínimamente procesada, alguna otra como deshidratada, cristalizada, además de mermeladas. Según ASOJUGOS, se puede decir que el segmento más dinámico es la elaboración de pulpas, concentrados y jugos. La Norma Técnica Colombiana NTC 5468 establece los requerimientos y procedimientos para su

---

elaboración en el país. Las bebidas a base de frutas pueden clasificarse como jugos, néctares y refrescos, entre otros, y se diferencian entre sí básicamente por el contenido de fruta en el producto final; así, un jugo es más concentrado que un néctar y un néctar, a su vez, es más concentrado que un refresco.

El consumo de frutas por parte de la agroindustria muestra un proceso de crecimiento ascendente con cerca de 200 mil toneladas demandadas en el año (DANE, 2019). Comercialmente se dispone de una amplia gama de bebidas de frutas la mayoría adicionada con preservantes, colorantes y saborizantes artificiales, principalmente con un 5-24% de contenido frutal, las cuales representan el 10% del volumen total de bebidas refrescantes vendidas en el 2019, año durante el cual las ventas totales se incrementaron un 6% (Cámara de la Industria de Bebidas ANDI). El consumidor actual, muestra un gran nivel de diversificación con preferencias hacia los jugos naturales e innovadores, segmento que viene en crecimiento y cuyas existencias son incipientes en el mercado. Bajo este panorama, la industria no cubre la demanda creciente hacia el consumo de jugos de calidad premium que posean características cercanas a las naturales, tanto en sabor como en funcionalidad. Esta tendencia ha involucrado nuevos métodos de procesamiento.

## 1.3 Marco Teórico.

### 1.3.1 Características de la Mora.

El género *Rubus* (de la familia de las rosáceas) comprende una amplia gama de especies silvestres, cultivadas en todo el mundo. De hábito perenne, trepadoras o arbustivas, los tallos son a menudo estoloníferos, cubiertos de espinas. Entre esta variedad, son apreciadas por la calidad de los frutos comestibles, las frambuesas (*Rubus idaeus*) o raspberries, las moras o blackberries (Barrero., 2009). La mora andina (*Rubus Glaucus* Benth.) tiene su origen en las zonas tropicales altas de América. Se produce desde México hasta Ecuador, y se cultiva ampliamente en Colombia, Costa Rica y Ecuador donde crece todo el año. Las hojas son trifoliadas, con espinas en los peciolos y las nervaduras principales de los folíolos, que persisten en el envés. Las flores están dispuestas en racimos terminales; mientras que, los frutos son ovoides, formados por drupas graescentes adheridas a un receptáculo (figura 2). Su color varía de rojo a negro brillante conforme a su desarrollo, el peso es de 3 a 5 gramos, de consistencia dura y sabor que varía de agridulce a dulce de acuerdo a su madurez (Franco & Bernal, 1998) (Díaz Diez, 2011).



Figura 2. Ilustración *Rubus glaucus* Benth

Sus condiciones biofísicas para tener un desarrollo sostenible, requieren de suelos con alto contenido de materia orgánica, perfil franco-arcilloso y con un pH cercano a 5,7 (Barrero., 2009) (Carrillo-Perdomo, y otros, 2015). Obteniéndose mejor desempeño de la planta en altitudes entre 1.800 y 2.600 msnm, con alta intensidad lumínica que favorezca los procesos de fotosíntesis y transformación (Enciso & Gómez, 2004). Su propagación tradicionalmente se hace asexualmente mediante acodo o estacas. El sistema radicular fasciculado y poco profundo demanda disponibilidad de agua constantemente (más que en volumen total), tanto como un buen drenaje para evitar problemas causados por mala aireación. Para la selección de un cultivar se analizan características productivas como precocidad,

cantidad de ramas productivas, emisión de tallos vegetativos, número de inflorescencias y frutos, (Díaz, Medina, & Saldarriaga., 2012). La mora es un fruto no climatérico que debe cosecharse en una madurez óptima: cuando presenta un color rojo-púrpura con una tonalidad brillante, una acidez moderada (> 1,9 ac. málico), contenido de sólidos solubles totales (SST) superior a 6,3°Bx. En este estado se obtienen las mejores cualidades sensoriales de la fruta para su procesamiento industrial (Skrovankova, Sumczynski, Mlcek, & Jurikova., 2015).

El cambio de valor nutritivo determina el sabor y el aroma. En las frutas la percepción del dulzor es afectada por la proporción de ácidos orgánicos junto con los niveles de

azúcares (Kader, 2018), siendo estos últimos los componentes mayoritarios de los SST. Su medición por refractometría se emplea como criterio de calidad para las agroindustrias, seleccionando frutos de mora con contenidos mayores a 8,0 °Brix que cumplan con una acidez total titulable entre 2,30 y 2,90 g/100 g. Sin embargo, se encuentran especies de un mayor rango de dulzor con un nivel promedio por encima a 11°Brix. Es de señalar que el fruto acumula la mayor cantidad de SST en la madurez fisiológica (estado 5) (Barrero., 2009), (Carvalho & Betancur, 2015), (Moreno & Deaquiz Oyola, 2015).

Durante la maduración de los frutos (figura 3) se diferencian tres momentos, el fisiológico, el organoléptico (ripening) y la senescencia, marcados por cambios bioquímicos en los índices de constituyentes celulares que degeneran en la muerte tisular (Martínez González, y otros, 2017). En los frutos caracterizados, la luminosidad ( $L^*$ ) fue significativamente mayor en estados inmaduros, tornándose la superficie mucho más oscura conforme se incrementaba el índice de madurez, con el cual, se van incrementando los valores en las tonalidades de rojos. Por su parte, la cromaticidad  $b^*$  disminuyó al acercarse a la senescencia cuando el color cambia de amarillo y verde, a rojo y púrpura evidenciando la desaparición de la clorofila y la presencia de pigmentos durante la maduración (Vergara, Vargas, & Acuña, 2016), (Lin, y otros, 2020).

Figura 3. Clasificación visual NTC 4106 para la mora.

NTC.	1	2	3	4	5	6
Estado de madurez NTC	Color superficie					
1) Fisiológica_1	Amarillo verdoso 30% de drupillas rosadas					
2) Fisiológica_2	Rosado 30% de drupillas amarillo verdoso					
3) Consumo	Rojo 30% de drupillas inmaduras					
4) Organoléptica_1	100% rojo					
5) Organoléptica_2	Rojo intenso 30% drupillas moradas					
6) Senescencia	100% púrpura oscuro					

Su valor nutricional esta dado por una gran variedad de componentes como fructosa, glucosa, celulosa, hemicelulosa, pectina; minerales (K, Ca, Mn, Fe, Zn y Mn) vitaminas (C y complejo B) (Schulz & Chim, 2019). La pectina es un polisacárido estructural que se encuentra presente en la lamela media, células primarias y secundarias de la pared celular, junto con fracciones de material hemicelulósico y celulósico. Su contenido en la mora está alrededor del 2%, caracterizado por tener bajo grado de esterificación. Los ácidos orgánicos con mayor concentración en la mora son el ácido málico y el isocítrico, que corresponden al 90% de la concentración total. Otros ácidos presentes, en menor concentración, son oxálico, tartárico y shikímico entre otros (Stebbins, 2017). Las bayas ofrecen además una amplia gama de antioxidantes tales como ácidos fenólicos, derivados del flavanol, taninos, estilbenos. Estos CBA tienen por función natural proteger la planta contra factores adversos como infecciones, radiación UV, quelación de metales pesados tóxicos y extinción de radicales libres generados durante la fotosíntesis (Ali L. , Alsanius, Rosberg, & et\_al., 2012).

Tabla 2. Composición nutricional de mora de los andes (*R. glaucus* Benth.)

Análisis	Nutriente	100 g
Proximal	Agua (g)	88.50
	Calorías (Kcal)	43,00
	Proteína (g)	1,39
	Carbohidratos	15,60
	Lípidos totales (g)	1.49
	Fibra dietaria (g)	5.30
	Azúcares (g)	4.88
Minerales	Calcio (mg)	42.00
	Magnesio (mg)	20.00
	Fósforo (mg)	22.00
	Potasio (mg)	162.00
	Manganeso (mg)	0.65
	Zinc (mg)	0.53
Vitaminas	Vitamina C (mg)	21.00
	Vitamina K (µg)	19.80
	Ácido Fólico (µg)	25.00
Polifenoles	<b>Grupo</b>	<b>Compuesto</b>
	flavonoles	Quercetin derivados
	Antocianinas	Cianidin-3-glucoside
		Cianidin-3-Malonil glucoside
		Cianidin-3-rutinoside
	Elagitaninos	Ácido Gálico
		Lambertianin C
Sanguiin H6		
Adaptada de Carrillo-Perdomo & Giamperi, 2015.		

### 1.3.2 Compuestos Bioactivos de interés en las frutas.

La composición y el aporte de CBA en las frutas está influenciado principalmente por el genotipo, los factores climáticos, los planes de fertilización y otras prácticas culturales que afectan los rendimientos, la calidad física y bioquímica de los frutos (Ali, Alsanius, & Rosberg, 2012). Los macro nutrientes nativos están relacionados directamente con propiedades como pH, acidez, SST, y valor nutricional (vitamina C y aminoácidos esenciales) (Monroy, Cardona, García, & Bolaños, 2019). Las bayas ofrecen además una amplia gama de antioxidantes tales como ácidos fenólicos, derivados del flavanol, taninos y estilbenos. Las principales clases de compuestos que se encuentran en frutas son los siguientes:

Tabla 3. Clasificación de los antioxidantes fenólicos en las frutas.

Compuestos fenólicos principales en las frutas		
Ácidos fenólicos	Ac. hidroxicinámicos	Ac. Ferúlico
		Ac. Cafeico
		Ac. p-Cumárico
		Ac. Clorogénico
	Ac. Hidroxibenzoicos	Ac. Gálico
		Ac. Vinílico
Ac. Siríngico		
Flavonoides	Flavonoles	Quercetina
		Kaempferol
		Miricetina
	Flavones	Luteolina
	Flavan-3-ols	Catequina
	Antocianinas	Cianidina
		Malvidina
		Peonidina
		Pelargonidina
		Ptenudina
Estilbeno	Resveratrol	
Taninos	Hidrolizables	Elagitaninos
	Condensables	Proantocianidinas
Otros antioxidantes	Carotenoides	Xantofilas
		Carotenos
	Vitaminas	E, tocoferol
		Ac. Ascórbico

(Haminiuk C. W., Maciel, Plata-Oviedo, &amp; Peralta, 2012)

Los compuestos fenólicos presentes en las estructuras vegetales, son metabolitos secundarios que son sintetizados por las plantas en respuesta a diferentes tipos de estrés o agresiones por plagas. La radiación solar estimula su síntesis acumulándose en los tejidos de las frutas. Estos polifenoles contribuyen a las características sensoriales (sabor, color y aroma), y muestran un efecto contra radicales hidroxilos ( $\text{OH}^\cdot$ ), superóxidos ( $\text{O}_2^\cdot$ ), oxígeno singlete ( $^1\text{O}$ ), peróxidos ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); por lo cual, se les atribuyen

propiedades antioxidantes, antialérgicas, antiinflamatorias y antivirales (Haminiuk C. W., Maciel, Plata-Oviedo, & Peralta, 2012). Los polifenoles se clasifican principalmente en función del número de anillos de fenoles que contienen y de los grupos hidroxilos directamente vinculados a su estructura aromática flavonoides como se indicó en la tabla 2.

Un radical libre es descrito como una especie química independiente, que posee uno o más electrones desapareados en su molécula, los cuales se encuentran en constante estado de reactividad (Badui Dregal, 2006); cada antioxidante tiene un mecanismo único de eliminación de radicales libres (Gutiérrez, 2000). El estrés oxidativo ocurre como consecuencia del normal metabolismo celular y contribuye a una amplia variedad de decesos tales como cáncer, trastornos neurológicos, aterosclerosis, hipertensión, isquemia, diabetes, síndrome de dificultad respiratoria aguda, fibrosis pulmonar idiopática, deceso pulmonar obstructiva crónica, insuficiencia cardíaca, inflamación crónica, shock hemorrágico, daño renal, artritis reumatoide, envejecimiento y asma, entre otros (Elejalde Guerra, 2001) (Quesada, et al., 2020). Para contrarrestar los efectos nocivos del estrés oxidativo, los antioxidantes pueden producirse de forma natural en el cuerpo (antioxidantes endógenos) o suministrarse externamente a través de la dieta (antioxidantes exógenos).

El segundo grupo de CBA con mayor importancia comprende los ácidos fenólicos. Usualmente se encuentran ligados a otras sustancias, poseen un solo anillo fenólico y un grupo carboxílico en su estructura (Dincheva, Badjakov, & Kondakova., 2015). Un tercer grupo fotoquímicos presente en las frutas, encontrado como polímeros fenólicos y categorizado de acuerdo a su estructura base, son los elagitaninos. Estas sustancias dan la sensación de la astringencia y el amargo, poseen la habilidad de precipitar las proteínas e inhibir enzimas. Son de interés como grupo porque los taninos hidrolizables liberan ácido gálico, ácido elágico y fenoles. Los taninos condensados (proantocianidinas) son polímeros de flavonoides susceptibles de transformarse en ANCs cuando se calientan en condiciones ácidas (Haminiuk C. W., Maciel, Plata-Oviedo, & Peralta, 2012).

Los Carotenos y la vitamina C representan una excepción dentro de los antioxidantes, pues esta función en los alimentos es cumplida casi exclusivamente por los compuestos fenólicos. La vitamina C (ácido ascórbico) no puede ser sintetizada por el cuerpo humano. Es una vitamina soluble en agua esencial para la biosíntesis de neurotransmisores, colágeno y carnitina. Por otro lado, la vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) es liposoluble, considerada el principal antioxidante unido a la membrana utilizado por la célula (Dávila et al., 2014). La función principal es reaccionar contra radicales producidos en la cadena de la per-oxidación lipídica.

Además de su potente capacidad antioxidante, muchos de estos CBA han mostrado in vitro, una relación inversa entre su consumo y el riesgo de trastornos cardiovasculares, metabólicos, y afecciones asociadas con el envejecimiento (Manganaris, Goulas, Vicente, & Terry, 2014).

### **Compuestos bioactivos presentes en la mora.**

La mora presenta una diversidad de CBA, resaltándose principalmente cianidinas, otros flavonoides y ácidos fenólicos, que son de interés debido a su actividad como limpiadores de radicales libres para proteger las células contra el daño oxidativo (Gancel, Feneuil, Acosta, Pérez, & Vaillant, 2011), (Nile & Park, 2014).

Las ANCs y los EGTs son los grupos con mayores contribuciones a la capacidad antioxidante total en moras. Las ANCs son compuestos vegetales no nitrogenados pertenecientes a la familia de los flavonoides, de amplia distribución en la naturaleza. Son pigmentos hidrosolubles, cuya forma nativa, está constituida por una molécula de antocianidina (figura 4), a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico (Shu, 2021). La estructura básica ANCs es la del ión flavylum (2-phenylcromenilium), constituida por dos anillos aromáticos unidos a un anillo heterocíclico de tres carbonos que contiene oxígeno, diferenciándose entre ellas por el número de grupos hidroxilos en el anillo B y en el grado de metilación, los tipos, los números y los sitios de unión de los azúcares a la molécula. Puede, además, presentar uno o varios radicales acilos con fenoles o un ácido alifático. Los dobles enlaces conjugados le otorgan su característica cromófora (Rodríguez-Amaya, 2019).

Las ANCs son reconocidas porque le confieren el color rojo, azul y púrpura a las plantas, acumulándose en las vacuolas celulares de todos los órganos. Los pigmentos muestran una tonalidad roja en condiciones de acidez, y se tornan azul-púrpura en soluciones alcalinas. Multiplicidad de factores ambientales influyen en la estabilidad de la molécula como luz, temperatura, iones metálicos, y otros más asociados a condiciones del medio interno como copigmentos, pH, enzimas, oxígeno; así como, la presencia de grupos hidroxilo o metoxilo (Badui Dregal, 2006). Normalmente, en los alimentos se encuentran presentes pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina, las cuales poseen actividad antioxidante y propiedades biológicas. La cianidina refleja el pigmento rojizo-púrpura (magenta) en bayas y otros vegetales como el maíz morado (Jing & Giusti, 2007). Debido a su condición de molécula termolabil, durante el procesamiento térmico, las ANCs experimentan un rápido deterioro asociado a procesos de glicosilación no enzimática, ataque nucleófilo de agua, escisión y polimerización (Rodríguez-Amaya, 2019).

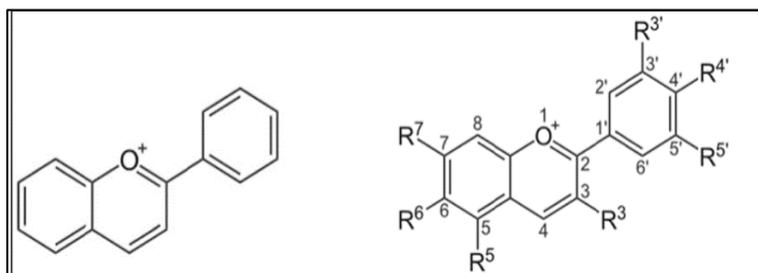


Figura 4. Estructura química de la antocianina y representación del catión flavylum (R puede ser cualquier glicósido) (Lee & Al, 2019)

Los taninos son un grupo de compuestos polifenólicos sintetizados y acumulados por plantas superiores como metabolitos secundarios. Se dividen en taninos hidrolizables, en taninos formados por la condensación de flavones (proantocianidinas o taninos no hidrolizables). Otra categoría son los llamados complejos; formados por las reacciones de galotaninos o elagitaninos con catequinas (Zeb, 2021). Los elagitaninos exhiben una

importante diversidad estructural según la fuente, destacándose su contenido en bayas pertenecientes al género *Rubus* (frambuesa, mora, zarza). Los principales encontrados en la mora andina son Sanguinina H6 ( $C_{82}H_{54}O_{52}$ ), sanguinina H10 ( $C_{68}H_{48}O_{44}$ ) y lambertianina C ( $C_{123}H_{80}O_{78}$ ) (J-Hager, R-Howard, Liyanage, O-Lay, & L-Prior, 2008.). Las moras contienen una mezcla compleja de elagitaninos que se encuentran predominantemente en las semillas, pero algunas se encuentran en el receptáculo y solo unas pocas están presentes en la piel. El ácido elágico es un derivado dimérico del ácido gálico que existe en las plantas combinado con su precursor o unidas como elagitaninos (figura 5). Hay un interés particular en el contenido de ácido elágico en las frutas debido a los posibles beneficios quimiopreventivos dada su capacidad de atrapar radicales libres. (Sánchez Velázquez, y otros, 2019)

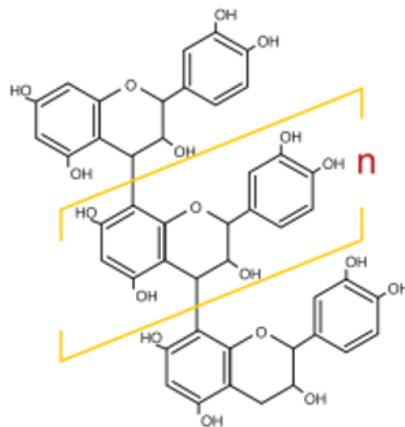


Figura 5. Estructura química de los elagitaninos. (Zeb, 2021).

### 1.3.3 Tratamientos de pasterización en jugos de fruta.

Los jugos, purés y concentrados de frutas forman un grupo de productos de características similares. Proveen diferentes sustancias esenciales que contribuyen a la salud y el funcionamiento adecuado del organismo. Sin embargo, también actúan como vehículos potenciales de transmisión de microorganismos (MO) y sustancias causantes de diversas enfermedades que ponen en riesgo la salud de las personas. Según su capacidad para causar enfermedades alimentarias se clasifican en: MO patógenos y MO indicadores de alteración asociados con la vida útil. Estos reflejan las condiciones higiénicas y la forma como estuvo manipulada la fruta y las condiciones durante su procesamiento. Son considerados indicadores de higiene no patógenos los grupos coliformes, enteros bacteriáceas, formados por bacilos gramnegativos, anaerobios facultativos (Oliveira, Martins y Teixeira 2019). Algunos agentes responsables del deterioro (aerobios mesófilos y bacterias esporuladas, lactobacillus, mohos (hongos) microscópicos y levaduras), ven favorecido su desarrollo por la humedad y el calor, atacan muchos alimentos dada la capacidad de responder a situaciones de estrés mediante la adaptación al medio, requiriendo básicamente una mínima concentración de azúcar y oxígeno libre para fructificar, crecen en un rango que van desde pH 2 a por encima de pH 9 y valores de temperatura de 10-35 °C. La mora es un fruto no climatérico (no dependiente del etileno) pero presenta senescencia acelerada. Durante su almacenamiento la pérdida de firmeza de la pulpa es el principal limitante. Este

ablandamiento favorece la aparición de daños por microorganismos en el interior de la baya, que limitan su vida útil con la producción de fermentaciones no deseadas, como la etílica y la acética (Grijalba, Calderón, & Pérez, 2010), (Horvitz, Chanaguano, & Iñigo, 2017). Los MO ocasionalmente invaden el fruto mientras permanece en la planta, causando la descomposición y el necrosamiento de las células, liberando sustratos y lixiviados desde los tejidos infectados que son fuente de contaminación y potencian el desarrollo de patógenos (Rodríguez & otros., 2021). Las pérdidas económicas y comerciales se deben a podredumbres responsables de sabores y olores extraños como la fermentación y el agriado. Pérdidas asociadas en primer lugar a *Botrytis cinerea* (moho gris o pudrición blanda) y en menor grado con *Rhizopus* (pudrición negra); en ambos casos, el micelio penetra los frutos por lastimaduras desarrollando los esporangios del hongo, y provocando la podredumbre (Acosta-Ruales, Viera, Jackson, & Wilson, 2020). El objetivo no es solo eliminar las especies patógenas y controlar la reproducción de los MO alterantes durante el almacenamiento, sino además, generar una rentabilidad que permita a la industria de transformación seguirse desarrollando. La combinación correcta de tratamientos de preparación es importante para el éxito del procesamiento de jugo porque sin estas operaciones, generalmente se produce un jugo altamente viscoso y de color claro con menos sabor y menor % de recuperación de jugo (Constenla & Crapiste., 1989).

El tratamiento térmico es uno de los métodos más utilizados para conservar y ampliar la vida útil de los alimentos. Si el jugo fresco presenta un conteo alto de MO, la intensidad y la duración del tratamiento aplicado deberá ser mayor (Savez, y otros, 2021). Este es uno de los factores más importantes que afecta la estabilidad nutricional, pudiendo tener un impacto dramático, incluso a bajas temperaturas, en la calidad sensorial, las propiedades funcionales y nutricionales, en comparación con los niveles originales que se encuentran en la fruta cosechada (Villareal & Osorio, 2013), (Bhattacharjee & et al., 2017). La estabilidad en las bebidas está influenciada por la materia prima de origen, la temperatura y tiempo de calentamiento. Bendokas y colaboradores describen la presencia de alteraciones significativas en el color y disminución en la composición de antioxidantes de jugos, como resultado de la degradación de antocianinas durante la pasteurización (Bendokas, Stanys, Mažeikiene, Trumbeckaite, & Liobika, 2020). No obstante, se reporta que algunos jugos mantienen sus capacidades biológicas para actuar como receptores de radicales libres e inhibir la peroxidación celular aún después de su pasterización (Carcamo & ordoñez-santos., 2019).

Entre otras razones, en el procesamiento de frutas y verduras, algunas técnicas se aplican buscando principalmente reducir las cargas de calor, para minimizar a su vez algunas reacciones de deterioro que son catalizadas por las altas temperaturas, como la caramelización, la degradación del ácido ascórbico, y la reacción de Maillard; esta última, se refiere a la interacción entre un grupo amino libre con péptidos o proteínas y un grupo carbonilo en los azúcares o carbohidratos. Siendo considerada la primera causa de pardeamiento en jugos claros. Esta reacción continúa sin enzimas catalíticas y da origen a productos de condensación formando precursores de aroma indeseados como el 5-hidroximetilfurfural (Echavarría A. , Torras, Pagán, & Ibarz, 2011.), (Olivares, Verkerk, Boekel, & Dekker, 2016.).

Diversas tecnologías han sido estudiadas como alternativas al tratamiento térmico, algunas de estas son: irradiación con luz ultravioleta (UV) altas presiones hidrostáticas (HHP). Se encuentran investigaciones en desarrollo para la tecnología de pulsos con campos eléctricos o el ultrasonido de potencia (kHz) aplicado hasta por 90 min, los cuales se basan en la electroporación de las paredes celulares, resultando efectivo para esterilizar los jugos y mejorar la extracción de compuestos de interés. Una aplicación excesiva de la energía acústica puede inducir una isomerización acelerada de algunas vitaminas presentes en el jugo o activar durante la sonicación los radicales libres promotores de reacciones de oxidación (Pérez-Grijalva, y otros, 2018). Nuevas tecnologías como la alta presión hidrostática (HHP), o altas presiones con dióxido de carbono (HPCD) y la flash explosión (a vacío) evolucionaron en técnicas de conservación de fruta, asegurando al mismo tiempo la inactivación eficiente de los MO y enzimas, así como una mayor extracción de CBA debido a la incorporación de los contenidos de las paredes celulares en el producto final (Fabian & Lena Rebecca, 2017).

### **1.3.4 Tecnología de microfiltración tangencial.**

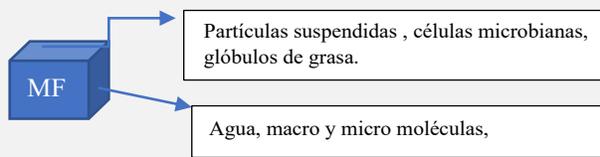
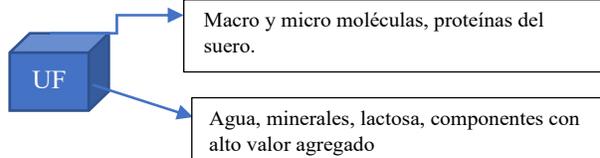
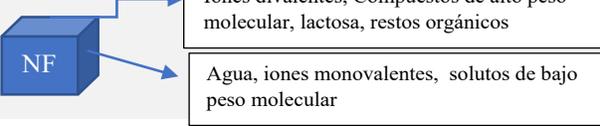
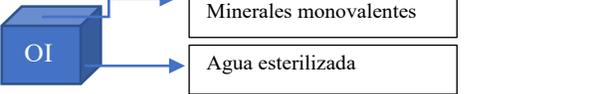
En el procesamiento del jugo, la microfiltración por medio de membranas transforma el jugo turbio (nebuloso y turbio) en jugo claro, por una serie de procesos y operaciones que intentan eliminar los componentes responsables de la turbidez e inestabilidad del producto separándolos por un mecanismo de tamizado, basado en el tamaño molecular de las partículas y una fuerza motriz ejercida por un diferencial de presión, siendo particularmente útil en la obtención de un jugo desprovisto de MO con alta calidad sensorial y mayor retención de CBA, que conserva la estabilidad nutricional durante su almacenamiento (Vieira A. H., y otros, 2020), (Conidi, Castro-Muñoz, & Cassano, 2020), evitando los impactos negativos de los tratamientos térmicos que incluyen la degradación del color, la pérdida de nutrientes y de compuestos aromáticos y la formación de subproductos indeseables (Leong & Oey, 2017).

El origen del método de microfiltración data del año de 1920, una membrana cuyo material de construcción fue la nitrocelulosa, que se utilizó a escala de laboratorio como un método rápido para monitorear el agua de consumo y hacerla libre de microorganismos. Históricamente se puede distinguir el desarrollo concerniente a intereses científicos, en distintas áreas de la ciencia como biología, bioquímica, biofísica y zoología, y el desarrollo de bio-tecnologías (Overview of membrane science and technology, 2004). Los procesos con membrana comenzaron a emplearse en las industrias alimentarias en la década de 1960 en un amplio rango de operaciones para su escalamiento comercial: en el campo de las bebidas de frutas, especialmente en las destinadas a la elaboración de vinos. En lácteos como método de pasterización en frío de la leche y su aplicación en la recuperación de lactosa y minerales en sueros de quesería. La clarificación/concentración de jarabes de maíz como dextrosa y fructosa, así como la recuperación del agua de lavado y maceración en la obtención de azúcar, almidones y edulcorantes (Solis, Velez, & Ramírez-Navas, 2016). Se han llevado a cabo muchas investigaciones para estudiar la filtración por membranas orientada a proteger la salud humana y el medio ambiente tanto en la industria de pinturas como en la petrolera. En la producción textil se emplea para desalar, diafiltrar y purificar tintes y pigmentos, como método no convencional para el tratamiento del efluente en la industria papelera, así como el tratamiento de las corrientes de aguas residuales y recuperación de metales en el área siderúrgica. Es además, uno de los pasos fundamentales dentro del esquema

utilizado en la concentración y purificación farmacéutica de antibióticos y enzimas (Seyed Mohsen, Shirley, & Altaee., 2018). La industria alimentaria representa una parte significativa del volumen de negocios de la industria de fabricación de membranas en todo el mundo, siendo el segundo sector de aplicaciones de membranas, después del tratamiento del agua, y en igualdad de condiciones con las aplicaciones farmacéuticas y biotecnológicas.

Basado en el tamaño de las moléculas (MWOC) que se pueden retener de acuerdo al tamaño del poro de la membrana, la fuerza motriz y la finalidad, como se observa en la figura 6, los procesos de membrana se pueden clasificar para líquidos en microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (RO).

Figura 1. Clasificación procesos de filtración por membrana.

Tamaño de poro de la membrana (µm)	Fuerza de impulso delta presión (bar)	Retenido y permeado en el proceso filtrante
2,5 - 0,05	0,5 - 2	
0,05 - 0,01	1 - 7	
0,01 - 0,001	5 - 25	
1 - 0,1 nm	30 - 60	

(Reis, y otros, 2019)

Vista desde los procesos de separación, una membrana se describe como una barrera selectiva para separar dos fases, limitando por tamaño el transporte y difusión de varios elementos. Las dos fases fluidas suelen ser miscibles y la barrera de la membrana impide el flujo hidrodinámico. Si bien todas las membranas actúan como una barrera semipermeable, se pueden clasificar de acuerdo con las interacciones moleculares entre la membrana y el fluido dadas por el mecanismo de separación, la morfología y la naturaleza química (Acosta, Vaillant, Pérez, & Dornier., 2014).

El mecanismo de separación dominante, así como su aplicación industrial están ligados con características relativas a la estructura de las membranas (espesor, tamaño de poro, radio de poro, volumen de poro, densidad de poro y tortuosidad), las cuales pueden ser simétricas y asimétricas, destacándose por su utilización en alimentos las de tipo microporosas con capa activa (Ahmed, Balkhair, Albeiruttye, & Amer, 2017). Basado en los materiales dominantes utilizados en su fabricación, hay diferentes categorías: Las que

proceden de materiales orgánicos derivados de celulosa, o polímeros menos hidrófilos (2<sup>a</sup> generación) como la polisulfona (PES) y la polietersulfona (PDF) empleados como soportes de membranas mixtas. Algunos polímeros hidrófobos (3<sup>a</sup> generación) como polifluoruro de vinilo (PFDV), policarbonato (PC) presentan una notable estabilidad química, térmica, mecánica y capacidad de ser configurada en diferentes geometrías (Guizard & Pierre, 2008). Las membranas inorgánicas son frágiles, fabricadas principalmente en materiales cerámicos, los cuales, tienen muchos beneficios como alta porosidad, resistencia química y mecánica superior, estabilidad en procesos que precisan altas temperaturas de esterilización; resistencia a las bacterias, capacidad de recuperación del flujo posterior al lavado y facilidad de limpieza y esterilización. Las membranas de cerámica empleadas en la industria están fabricadas como estructuras porosas sinterizadas a partir de múltiples capas de alúmina que no delaminará, hinchará o compactará, incluso bajo condiciones extremas (Pall-Corporation, 2020). Un filtro esterilizante será necesariamente estéril cumpliendo con un tamaño de poro inferior que evite ser penetrado por MO. Cuanto mayor sea la carga de bacterias por unidad de superficie del filtro, mayor es la probabilidad de penetración. Si la carga bacteriana superara las  $10^7$  UFC/cm<sup>2</sup>, el permeado podría salir sin condiciones estériles (Asociación Argentina de Microbiología., 2017).

Los parámetros más importantes que caracterizan al material filtrante son su permeabilidad y su capacidad de separación. En microfiltración (MF) se utilizan un tamaño de poro de 0,08  $\mu$ m a 2,5  $\mu$ m, un valor de corte molecular de 150.000 a 5000.000 daltons, lo cual permite hacer una separación teórica de partículas o entidades biológicas de fluidos impulsados a través de un medio micro poroso. Las membranas se disponen en módulos de operación, los cuales se construyen con soportes de presión, entradas, salidas y puntos de extracción para los fluidos circulantes; estas deben satisfacer las necesidades de caudal, facilidad para su limpieza y compatibilidad (Conidi, Castro-Muñoz, & Cassano, 2020). En el mercado se encuentran configuraciones de tipo placa y bastidor, tubular, fibra hueca y arrollamiento espiral. La tabla 4 presenta los criterios comparativos de los diferentes módulos de membranas.

Tabla 1. Criterios comparativos de diferentes módulos de membranas.

Criterio	Tubular	Capilar	Placa y bastidor	Arrollada en espiral
Costo/superficie	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Costo cambio de membrana	Alto	Moderado	Bajo	Moderado
Caudal (L/m/h)	Bueno	Bueno	Bueno	Bajo
Volumen	Alto	Bajo	Medio	Medio
Consumo energético	Alto	Bajo	Medio	Medio
Ensuciamiento	Excelente	Bueno	Bueno	Medio
Limpieza in situ	Excelente	Bueno	Pobre	Pobre

(Conidi, Castro-Muñoz, & Cassano, 2020).

Los procesos de membrana se pueden operar en dos modos: “*dead end*” o “*cross flow*”. En las operaciones en línea, la corriente de alimentación fluye perpendicularmente a la superficie de la membrana. En este modo, se forma una capa de gel considerable en la superficie, lo que contribuye a un descenso acentuado del flujo en las primeras etapas de filtración. En el modo dinámico o tangencial el flujo de alimentación se da paralelo a la superficie de la membrana. En estos sistemas tanto el filtrado como el retenido salen de forma continua del módulo de filtración, emergiendo por salidas distintas. La filtración en

modo tangencial provoca un flujo de cizallamiento cruzado de la solución aumentando la velocidad de transferencia de las partículas de la membrana al flujo principal, lo que provoca que la misma alimentación barra continuamente el medio filtrante contribuyendo a una limpieza constante de la superficie mitigando fenómenos de incrustación enfatizando, en lugar del modo sin salida (dead end), en la eficiencia del procesamiento continuo transformándose en opción viable a escala industrial (Manuel Dornier, 2018), (Chew, Kilduffc, & Belfordt, 2020).

Para aumentar el rendimiento del proceso se incluyen el uso de enzimas pectolíticas que buscan disminuir el contenido de macromoléculas que son capaces de acumularse en la superficie y en los poros, lo que conduce al ensuciamiento de la membrana (Soto M. , Acosta, Vaillant, & Pérez., 2015). La pectina es un polisacárido estructural, cuyos tres dominios principales son homogalacturanos, y rhamnogalacturanos I y II (Lina Z. , Pattathil, Hahne, & Wickerf, 2019). Las enzimas son proteínas que, debido a su poder de activación específica y de conversión de sustratos en productos, tienen actividad catalítica. Las pectinasas fueron una de las primeras enzimas que se utilizaron en la manufactura y hoy conservan un papel clave en la industria del jugo. Los tres tipos principales de pectinasas son pectinesterasa, enzimas despolimerizantes y protopectinasas (Whittaker & R., 2006). Las pectinasas se clasifican en tres grupos, de acuerdo con los siguientes criterios: escisión hidrolítica (hidrolasas) o trans-eliminativa (liasa) de los enlaces glucosídicos; Mecanismo de acción endo (aleatorio) o exo (desde el extremo de la molécula) y preferencia por sustratos, ácido péctico o pectina (Uenojo & Pastore, 2008). La licuefacción de la fruta busca además de la ruptura de las células, características favorables en el producto final como disminución de la turbidez, liberación de compuestos de interés que confieren sabor, color y aroma; (Siddiq M. , Dolan, Perkins-Veazie, & Collins, 2018).

### **Variables involucradas en el proceso MFT.**

El comportamiento de un jugo de fruta durante su procesamiento está regido por su composición, la cual depende en cierta manera del método previo de preparación. Se puede esperar que las propiedades reológicas estén influenciadas por los componentes disueltos. Estos son entre un 5 y un 25% los sólidos solubles, constituidos por mono y oligosacáridos, cationes ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ , proteínas, ANCs), aniones ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ , ácidos orgánicos y ácidos fenólicos), menos del 5% son los sólidos insolubles compuestos por coloides y partículas de diferente forma y volumen procedentes de los tejidos de la fruta como fragmentos de la pared celular, gránulos de almidón, microorganismos y, en ciertos casos, glóbulos lipídicos (Dahdouh, Delalonde, Ricci, Ruiz, & Wisnewski, 2018).

Los jugos de fruta claros, los cuales han sido despectinizados y filtrados, se comportan como fluidos newtonianos; mientras que, los jugos turbios y con pulpa exhiben un comportamiento no newtoniano (Vaillant F. , Millan, Dornier, Decloux, & Reynes, 2001.) . En general, para una concentración fija de sólidos solubles, la densidad y viscosidad del jugo disminuyen con el aumento en la temperatura asociada a la expansión volumétrica que sufre la solución; en tanto que la disminución en la viscosidad se atribuye a la reestructuración espacial y al aumento de la distancia intermolecular. Así mismo, para un valor fijo de temperatura, la densidad y la viscosidad del jugo aumentan al incrementarse la concentración de sólidos solubles (Dahdouh, Delalonde, Ricci, Ruiz, & Wisnewski,

2018), debido a una mayor interacción soluto-agua que restringe el movimiento molecular.

La velocidad de flujo cruzado, la presión transmembrana y la frecuencia de pulsos de aire inverso (back pulses) son los parámetros importantes para el proceso (figura 7) que normalmente se ajustan al óptimo para lograr una baja tasa de obstrucción de poros, alto flujo y bajos costos de energía.

- Temperatura: afecta esencialmente la variación de la viscosidad del fluido, la cual se reduce a medida que el calor aplicado aumenta, facilitando su paso a través de la membrana. Se sugieren valores por debajo de 35°C para conservar la calidad nutricional del producto.
- Presión Transmembranaria: la fuerza motriz del flujo está directamente relacionada con la permeabilidad. Un valor por encima de la resistencia de la membrana aumenta la compactación de materiales depositados en la superficie y en el interior de los poros. Se controla mediante las corrientes de aire generadas desde el compresor.
- Velocidad Tangencial (v): ejerce un gradiente de velocidad constante sobre el flujo de filtrado, que genera barridos rotatorios para mantener la superficie de la membrana limpia, provocando gracias al flujo turbulento, una re-suspensión de las partículas acumuladas que representan una resistencia adicional al paso del líquido a través de los canales.
- Concentración del soluto en el fluido: Ocurre durante el filtrado una separación por tamaño del flujo alimentado, mediante el cizallamiento con los poros que genera la acumulación de partículas que no permean la membrana.

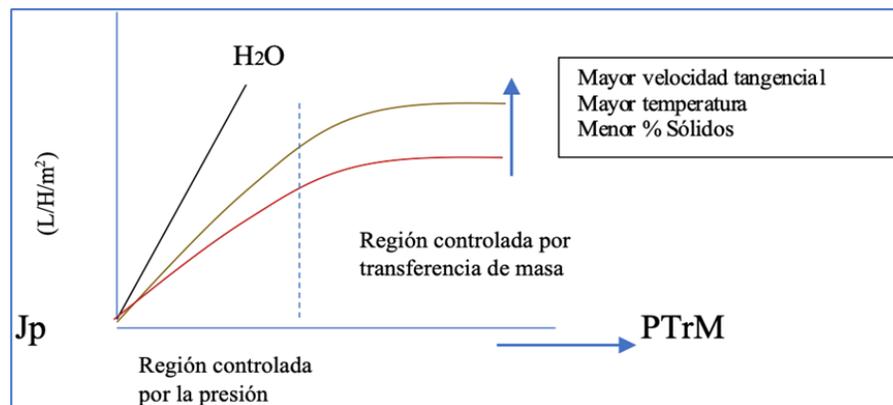


Figura 2. Relación entre el flux y los parámetros de operación de la MFT. (Echavarría Vélez, Torras, Pagán, & Ibarz, 2011)

### **Factores externos que afectan al comportamiento de la membrana.**

Durante el filtrado intervienen fenómenos que alteran la selectividad del medio filtrante y disminuyen la velocidad de producción del permeado. La disminución del flujo es causado fundamentalmente por dos razones principales: polarización de concentración y colmatación. En ausencia de fenómenos de incrustación superficial, el flujo de permeado,  $j_p$ , se rige por la ley de Darcy, en la cual el flux de permeado es función de la presión transmembranaria y de una resistencia total; por ende, es directamente proporcional a la diferencia de presión aplicada e inversamente proporcional a la viscosidad de la fase líquida  $j_p = DPTM / \mu R_t$ . Donde  $J$ ; flux de permeado (L/h),  $DPTM$ :

presión transmbranaria (bar),  $\mu$ : viscosidad del jugo, y  $R_t$ : resistencia total ( $m^{-1}$ ) (Echavarría Vélez, Torras, Pagán, & Ibarz, 2011).

**Polarización de la concentración.** Es un fenómeno intrínseco al comportamiento del fluido dentro del sistema, generado durante la separación para microfiltrados. Resulta de la adsorción y deposición de los componentes del jugo, como los materiales de las paredes celulares de las plantas, las proteínas y otras partículas de alto peso molecular, que forman una barrera frente a la difusión de los constituyentes deseados (Vaillant F. , Pérez, Acosta, & Dornier, 2008). El volumen alimentado va aumentando con lo que se incrementa la cantidad de las partículas que son retenidas; se da en el fluido una polarización en la concentración de los sólidos inherente al proceso. El exceso de macromoléculas y microorganismos con el tiempo obstruye parcial o totalmente el flujo, por la incrustación y/o bloqueo de los poros (Abd-Razak, Chew, & Bird, 2019.).

La acumulación de solutos en la interfase alcanza una concentración crítica ( $C_g$ ) a partir de la cual se forma una capa de gel que disminuye la permeabilidad y selectividad. Se define el concepto de “flujo crítico” como el momento en el que se observa una disminución en el flujo relacionada con la aparición de un depósito irreversible (colmatación) entre la interfase de la capa de gel con la superficie de la membrana (Field R. , Wu, Howell, & B.B. Gupta, 1995). Para su mitigación se implementan protocolos de limpieza que buscan restablecer las propiedades de la membrana virgen.

Los mecanismos de la declinación del flujo son ahora bien comprendidos y documentados. Para entender el fenómeno se puede remitir tanto a enfoques macro como microscópicos (tabla 5). El primero considera al sistema como continuo, mientras que el segundo, considera el comportamiento de una sola partícula circulante durante la formación de la capa de gel en función de su distribución, tamaño, forma y los efectos superficiales a los que se ve sometida. Una evaluación cuantitativa de las fuerzas hidrodinámicas muestra que la formación de depósito en la membrana depende especialmente de la resistencia dada por el coeficiente de arrastre y la fuerza de sustentación, esta última inducida por la velocidad de cizallamiento (Ripperger & Altmann., 2002).

Un modelo de polarización de la concentración resulta útil para describir la deposición de los polisacáridos insolubles de los jugos de frutas en la superficie de la membrana a través del estudio de la resistencia de la capa de gel y el espesor de la misma (Ortiz Jerez, Vélez Pasos, & Franco Mejía, 2008). El modelo de Hermia es uno de los más utilizados, definido por:

$$-\frac{dJ}{dt} = kJ^{3-n}$$

Tabla 2. Modelos descritos para colmatación (fouling) en procesos por membrana.

Colmatantes	Modelo colmatación
Fibras y partículas suspendidas gran tamaño.	Componentes presentes en la matriz original o formados durante la polarización de la concentración, bloquean los canales del módulo y forman una capa de gel en la

	superficie de la membrana.
Macromoléculas	Formación de la capa de gel en la superficie y deposición en los poros de la membrana.
Coloides y Pequeñas moléculas	Algunas partículas metálicas y moléculas orgánicas tienden a adherirse fuertemente con los materiales de la membrana.
Proteínas	Interacciones electroquímicas con los poros y la superficie de la membrana.
Microbiológico	Crecimiento de bacterias en la superficie y formación de biofilm por la producción de polímeros extracelulares.

Fuente: (Field R. , 2010).

Donde  $j_p$  es el flujo de masa ( $L h^{-1} m^{-2}$ ) y  $t$  es el tiempo de filtración (min).  $K_c$  es la constante de la ecuación y  $n$  es el número que indica el mecanismo de incrustación. Es importante tener en cuenta que tanto  $n$  como  $k$  son coeficientes fenomenológicos específicos para condiciones de funcionamiento particulares que se determinan ajustando la curva de flujo (i.e.,  $J$  vs.  $t$ ) (Lu & Yiwen bao, 2021).

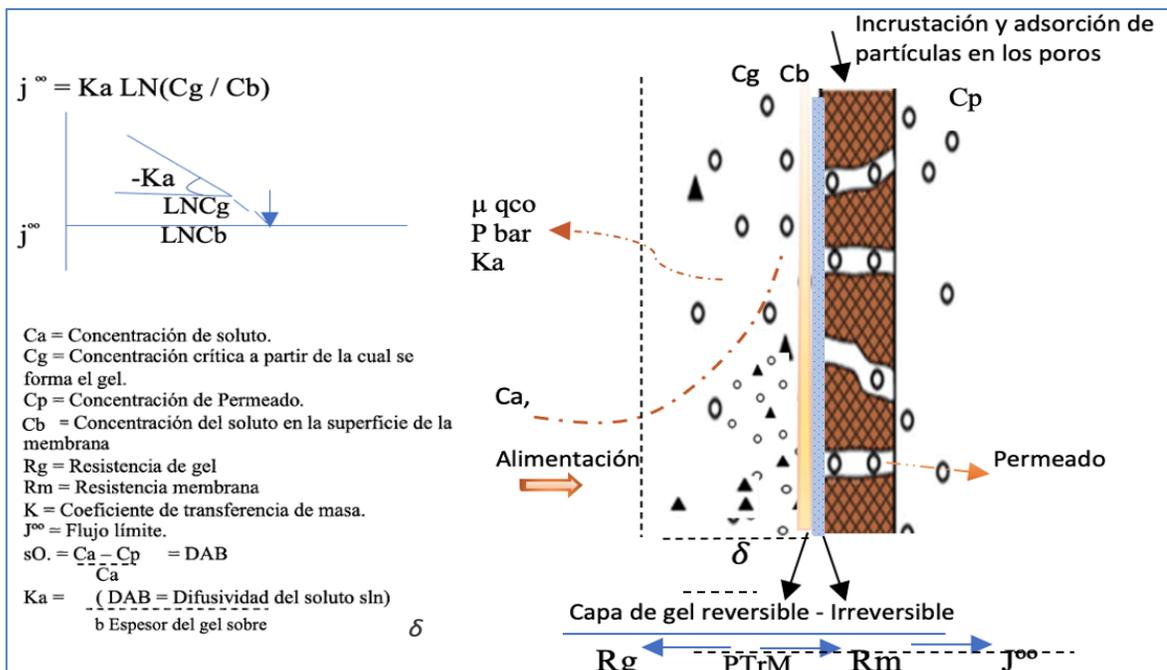


Figura 3. Representación de la formación de la capa de gel que influye sobre el flujo de permeado.(Nagy, 2019).

Por otro lado, Pouseville modeló para la región de flujo controlada por la transferencia de masa, considerando un efecto de la estructura sobre el flujo volumétrico. El coeficiente de transferencia de masa viene dado por la relación entre el coeficiente de difusión y el

espesor de la capa de gel que se va formando (Nagy, 2019). La resistencia que dicha capa ofrece al paso del permeado aumenta al aumentar su espesor (figura 8).

Técnicas analíticas como la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microscopía de fuerza atómica (AFM), han sido empleadas para analizar la capa de gel (colmatación), caracterizando la superficie activa, su porosidad y morfología (Lu & Yiwen bao, 2021).

Se han evaluado metodologías con el objetivo de minimizar la incidencia del fenómeno de colmatación. Estas incluyen: 1) la modificación química de la superficie de la membrana, para incrementar las fuerzas de repulsión hacia los solutos, especialmente para fluidos con alto contenido de sólidos; 2) la inserción de promotores de turbulencia que generan vibraciones vigorosas para liberar las partículas depositadas entre la membrana hacia el fluido circulante. Los reportes indican que los resultados no han generado el impacto suficiente sobre el flux lo que ha impedido su escalamiento. Desde un enfoque práctico se incluyen innovaciones hidráulicas, neumáticas y de ultrasonido para reducir la polarización de la concentración en el flujo crítico y limitante durante la microfiltración (Urošević, Povrenović, Vukosavljević, Urošević, & Stevanović., 2017). Buscando el mismo objetivo algunos investigadores han probado burbujas de gas usando un módulo de hoja plana para promover la mezcla de partículas cerca de la superficie de la membrana durante la microfiltración de piña (Laorko & otros, 2008). Se ha investigado también con la aplicación de corriente eléctrica continua (124 mA, 90 s) a través de electrodos de platino dentro de un canal para bombardear y remover el material de la superficie (Kerdi, 2021). Por otro lado, en algunos módulos de membranas se puede utilizar el back pulse (figura 9), el cual consiste en usar periódicamente una presión transmembrana negativa de manera que se invierte el flujo pasando liquido desde la cámara de filtrado a la de retenido, y donde la eficiencia depende de la frecuencia, duración, intensidad y del tipo de incrustación (Gao, Qin, Wang, & Østerhus, 2019.)

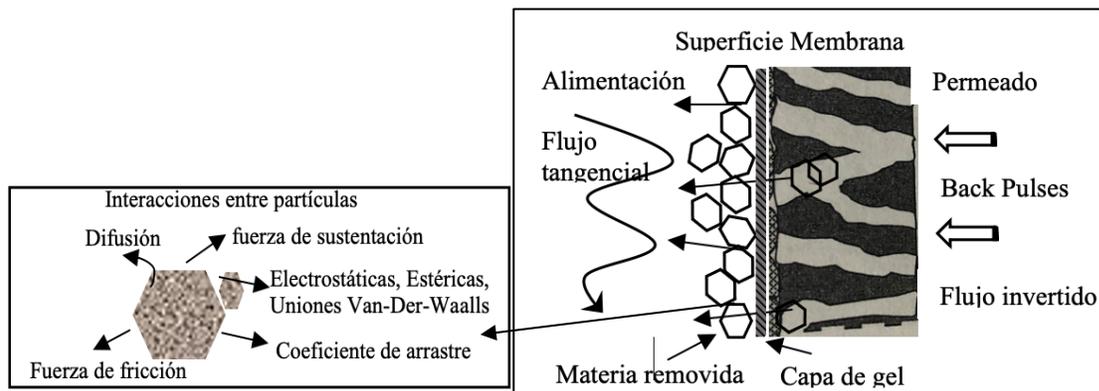


Figura 4. Representación del modo de acción del back pulse en la prevención de incrustaciones en la membrana. Se muestra la interacción entre los elementos del fluido disuelto y los tipos de fuerzas que actúan sobre el transporte de masa en la región cercana a la superficie.

La elección de los parámetros para el funcionamiento eficaz de las plantas de microfiltración de flujo continuo se complica por la falta de métodos de cálculo con base científica que tengan en cuenta la no estacionariedad del proceso tanto como la no linealidad del comportamiento reológico de los fluidos procesados (Deynichenko, Dimitresvsky, Omelchenko, & Perekrest, 2023) y la disposición de múltiples módulos de membrana para altos volúmenes de transformación, que generen una producción

alternada y continua que no implica recirculación del retenido (Madsen, Kaiser, Krühne, & Pinelo., 2022). Una mejor comprensión de la estructura de la capa de gel y de la dinámica de la disposición sobre esta de las partículas circulantes, el entendimiento de los cambios en la capacidad y en la conductividad eléctrica de la membrana, puede llevar al desarrollo de materiales con propiedades anti-fouling (Al-Gharabli, y otros, 2022.) Sin embargo, son pocas las referencias encontradas de estudios sobre las propiedades de la formación de una capa superficial en la membrana y el tamaño de las partículas en suspensión durante la concentración de sólidos en el retenido (Demoulin, Wisniewski, Ricci, Delalonde, & Dahdouh., 2022), por lo tanto, ha de seguirse profundizando en los fenómenos de transferencia a fin de proponer posibles soluciones tecnológicas alternativas

La Introducción la separación de membranas en el ciclo de transformación industrial de las frutas tropicales como mortiño (*Vaccinium meridionale*), feijoa (*Acca sellowiana*), melón (*Cucumis melo* L), banana (*Musa cavendish*), piña (*Ananas comosus*), agua de coco (*Cocos nucifera*), permite producir jugo de alta calidad como fuente potencial de antioxidantes, bebidas versátiles que se pueden utilizar en formulaciones listas para consumir y suplementos nutracéuticos (Tupuna, Vera, & Ruales, 2016), (Schmidt, y otros, 2022), (Mallek-Ayadi, Bahloul, Baklouti, & Kechaou, 2022.), (Viana, Ximenes, deSouza, de Abreu, & Petrus, 2021), (Arikrishnan & Keshav, 2023.), (Nikhil, Dipankar, Charu, & Mihir, 2014). Algunos trabajos que utilizan la tecnología MFT han demostrado ser más prometedores en la concentración, especialmente de licopeno y  $\beta$ -caroteno, que el uso de un disolvente orgánico, un método en frío o en caliente (Huynh\_Cang, 2022.) El potencial de las membranas cerámicas se ha evaluado para jugos y bebidas a base de cítricos con centrifugado previos y tratados con enzimas; para estudiar las propiedades de los productos, mostrando que es posible modular la retención del contenido de compuestos bioactivos (Hammad, Dornier, Servent, Poucheret, & Dhuique-Mayer., 2021), variando la PTM aplicada (Satyannarayana, Sandhya Rani, & VinothKumar, 2023) reportan que en condiciones de baja operación los productos exhiben la mayor claridad a pesar del bajo flujo de permeado.

Dada la alta concentración de polifenoles en la mora, en las últimas décadas se han intensificado los esfuerzos en desarrollar técnicas que permitan conservar el potencial natural de las bayas y ofrecer al consumidor un producto saludable. Trabajos encontrados con la tecnología de MFT en la matriz han evaluado diversos aspectos como las condiciones de procesamiento y su influencia en la capacidad antioxidante del jugo y la capacidad de protección contra la peroxidación lipídica en humanos (Azofeifa, Quesada, Pérez, Vaillant, & Michel., 2015). Efectos de los pretratamientos mecánicos y enzimáticos sobre los valores de turbidez y el contenido de antocianinas y elagitaninos durante la microfiltración (Soto M. , Acosta, Vaillant, & Pérez., 2015). Se ha evaluado el comportamiento del flujo de permeado y el contenido de ANCs filtrado a través de diferentes tipos de membranas en un módulo “placa y bastidor” con tamaño de poros 0,15 $\mu$ m (Monteiro, Viotto, & Cabral, 2011). El uso de membranas cerámicas evaluando la calidad de los jugos en modo de concentración, a presión transmembranaria y velocidad tangencial constante, midiendo la estabilidad química y microbiológica, confirmando que se preserva la calidad durante su almacenamiento comercial (González, Vaillant, & Tapia., 2019). Se ha probado la integración de UF con éxito para la separación de elagitaninos los cuales, sugieren los autores, pueden ser purificados por diafiltración como un ingrediente de alto valor agregado para aplicaciones biotecnológicas (Acosta, Vaillant, M.Pérez, & Dornier., 2015). Así mismo, Vaillant y colaboradores estudiaron en seis jugos tropicales cómo los parámetros de procesamiento se relacionan en el rendimiento y

---

costes para la determinación del precio de venta del clarificado (Vaillant F. , Millan, Dornier, Decloux, & Reynes, 2001.) Para la estabilización/clarificación de jugos de fruta, la microfiltración es generalmente la opción preferida porque dado el menor tamaño de poro empleado en la ultrafiltración, se generan mayores retenciones de solutos que disminuyen la calidad nutricional y organoléptica del clarificado (Manuel Dornier, 2018).

# OBJETIVOS

## **2. Objetivos.**

### **Objetivo general:**

Evaluar la factibilidad técnica del proceso de microfiltración tangencial como tecnología para obtener jugos de mora con potencial efecto antioxidantes.

### **Objetivos específicos:**

- Evaluar el efecto de las variables de proceso de microfiltración tangencial sobre el rendimiento de la bebida.
- Evaluar la estabilidad durante el almacenamiento de la bebida de mora obtenida por microfiltración.

### **Hipótesis:**

La tecnología de MFT es viable técnica y económicamente para producir jugo de mora de castilla con buenas propiedades sensoriales, nutricionales, antioxidantes y de estabilidad, que pueda ser comercializado como alternativa de ingreso para los cultivadores del oriente de Antioquia.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS.

Se utilizaron frutos de mora suministrados por la Asociación de Pequeños Productores (ASOFRUTAS) del oriente de Antioquia, Colombia, clasificados dentro de la cadena de frutos frescos como industrial (contenidos mínimos: 6.3 °Bx y 1,9% ácido málico) y con estados de madurez 3, 4 y 5 (tonos rojos-purpura), según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4106 (ICONTEC, 1997). Los frutos fueron recibidos un día después de su cosecha, descartando aquellos con algún tipo de contaminación microbiológica y/o física. Las muestras fueron analizadas y procesadas en la Planta Piloto Agroindustrial de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia-La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia.

#### 3.1 Caracterización de la materia prima y bebidas de mora

Los frutos de mora, el jugo formulado, el permeado y el retenido se caracterizaron en función de sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en el Laboratorio de Poscosecha y Agroindustria de la Corporación Agrosavia. Se evaluaron 10 Lotes y 3 muestras /lote para cada una de las propiedades evaluadas. Las metodologías utilizadas se describen a continuación:

##### Propiedades fisicoquímicas:

- **Humedad.** (AOAC 934.06/1996) Se efectuó pesando 2 g de muestra en un recipiente de aluminio previamente seco y pesado, el cual se llevó a secado al vacío en estufa a 70°C por 6 horas. La humedad se determinó a partir de la Ec1, donde:  $X_{bh}$  = Humedad (base húmeda),  $P_o$  = Peso inicial de la muestra y  $P_f$  = Peso final de la muestra

$$X_{bh} = \frac{p_o - p_f}{p_o} \quad (\text{Ec1})$$

- **pH.** Se determinó por el método AOAC 981.12/1982, utilizando un potenciómetro (OHaus- ST2100-F), calibrado previamente con soluciones tampón 4 y 7 a temperatura ambiente.

- **Acidez titulable:** Se determinó por el método AOAC 981.12/1982, utilizando la Ec2, donde  $V_1$  son los mL NaOH gastado, N es la concentración Normal (eq-g/L), K es el peso molecular del ácido y P es el peso (g) de la muestra. El valor de la acidez se expresó en forma porcentual de ácido málico.

$$\text{Ácido málico (\%)} = \frac{V_1 * N * K}{P} * 100 \quad (\text{Ec2})$$

- **Sólidos solubles totales.** Se determinó de acuerdo al método AOAC 983.17/1996, utilizando un refractómetro digital (Hanna Instruments) a 20°C y el contenido de sólidos solubles se expresó como 1/2°Brix.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- **Sólidos insolubles suspendidos (SIS)**. Se pesaron 15 g de muestra para ser sometidos a centrifugación (SL 16R, Thermo scientific), a 5000 rpm durante 10 min; a continuación, se drena el sobrenadante y se calcula la proporción del precipitado (Brito, Rodríguez, Samaniego, Jaramillo, & Vaillant, 2008).
- **Color**. El color se determinó empleando un colorímetro (Hunter Lab-Color flex EZ modelo 45/0-1674), iluminante D65, ángulo visual de 10° y el componente especular incluido. A partir de los espectros de reflexión de las muestras se determinaron las coordenadas CIE-L\*a\*b\*, donde L\* es la luminosidad, a\* la cromaticidad roja (+) verde (-) y b\* es la cromaticidad amarilla (+) azul (-), Cromo C\* (intensidad) (León et al., 2016; International Commission on Illumination, 2014). Adicionalmente, se determinó la diferencia de color ( $\Delta E$ ) (Ec3) considerando como referencia la bebida formulada de mora ( $t_0$ ), y la intensidad o saturación de color (C\*) (Laorko, Tongchitpakdee, & Youravong., 2013).

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ec3}$$
$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Ec4}$$

### **Análisis microbiológicos.**

Los medios de cultivo se reprodujeron por el método de siembra profunda en las placas de Petri. La bebida formulada o el permeado (10 mL) fue mezclada con 90 mL de agua peptona estéril (0.1% w/v), y a partir de esta, se prepararon diluciones seriadas de diez veces en agua peptona estéril para las siembras. Se utilizaron los siguientes medios de cultivo y condiciones para el conteo de las células microbianas: 1) recuento de bacterias aerobias mesófilas (DEV agar nutritivo, Merck), incubado (Memmert IN55<sup>plus</sup>) a 37 °C por 2 días; 2) mohos y levaduras (Sabouraud 4% dextrosa agar, Merck), incubado a 25 °C por 5 días; 3) coliformes fecales y totales (Chromocult medio agar, Merck), incubado a 37 °C for 2 días. Todos los análisis se realizaron por triplicado y los procedimientos se realizaron de acuerdo a la norma ISO 7218:2007. Los resultados se reportaron de acuerdo a la Ec4, donde:  $\sum C$  sumatoria de las dos diluciones sucesivas con conteo aceptable de colonias. **V** mL. del inoculo y **d** dilución seleccionada.

$$N = \sum C / (V * 1.1 * d) \quad \text{(Ec5)}$$

### **Quantificación de antocianinas y ácido elágico**

Las antocianinas se cuantificaron en función del contenido de Cyanidin-3-O-Glucoside (Cy3GI) y los elagitaninos en función del ácido elágico (ac.Ela). Para su extracción y de acuerdo al tipo de muestra, se utilizaron 3 mL de bebida formulada o 5 mL de permeado o 3 mL de retenido, los cuales se mezclaron con 10 mL de una solución de agua ácida (1.36% v/v HCl), methanol (MeOH) y dimethylsulfoxydo (DMSO) en una proporción 20/40/40 respectivamente, agitando en plancha durante 30 minutos a temperatura ambiente. Esta mezcla se centrifugó durante 10 minutos a 3000 rpm y 20 °C y posteriormente, el sobrenadante se filtró a través de una membrana PVDF (0,45µm Syringe Filter) (Rocio Garcia-Villalba, 2015). Se tomó una alícuota de 20 µL del sobrenadante filtrado y se inyectó al CLAR (Shimadzu Prominence 20) con detector PDA (Shimadzu SPD-M20A). Se empleó una columna C18(2) (Luna® 5µm 100A 250x4,6mm), utilizando una fase móvil que contenía una mezcla de acetonitrilo (CH<sub>3</sub>CN), ácido fórmico (H<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>) y acetona (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>) y usando un gradiente de elución de acuerdo a lo sugerido por (Mertz C. C., 2007). Los compuestos activos se cuantificaron a partir de curvas de calibración, utilizando como estándares Cy3GI Kuromanin chloride (44689-5MG

## MATERIALES Y MÉTODOS

lot # BCCC0843, Sigma, Merck, Darmstadt, Germany) y Ellagic acid (sigma aldrich analytical standard reference 14668). Siendo las lecturas de identificación a 515 y 254 nm y los tiempos de retención de 40.77 min y 59,67 min para el Cy3GI y el ac.Ela respectivamente. Los resultados en los productos se expresaron como mg/L.

### 3.2 Proceso y formulación de la bebida.

El jugo de mora se obtuvo de acuerdo a las siguientes etapas:

**Hidroprensado inicial (1).** Se utilizó una prensa hidráulica LT 80-160 ((Enotecnica PILLAN, Italia), constituida por una jaula cilíndrica perforada, una bolsa colapsible de material polimérico (caucho) ubicada en el centro de la jaula y una funda o tela filtrante ubicada sobre el perímetro interno de la jaula, que permite separar el jugo de las partículas sólidas (semillas y fibras). La bolsa colapsible cuenta con un control de presión, que permite que el agua potable bombeada en su interior alcance 30 psi y al mismo tiempo, expanda su volumen y comprima la carga de materia prima, obteniendo un primer jugo. Se utilizaron lotes o cargas de alimentación entre 40 y 55 kg de fruta seleccionada. Este primer hidroprensado se realizó durante 5 minutos; posteriormente, se descomprimó el agua de la bolsa colapsible y se retiró el material no filtrado para una molienda posterior.

**Proceso enzimático.** Inicialmente, el material retenido de la etapa anterior fue pasado por un molino Javar M32I con el objetivo de desintegrar y exponer los tejidos celulares a la acción enzimática y mejorar el rendimiento de la materia prima. Frascos con 200 g de muestra, se dispusieron en el baño de agitación Memmert controlado a 35°C, luego se adicionó la enzima (Pectinex® Ultra Pulp y Pectinex® Ultra SP-L Novozymes), manteniendo agitación constante durante el tiempo de proceso. Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado de tres factores, evaluado para los efectos principales y las interacciones entre los niveles, considerando las variables independientes: tipo de enzima, concentración enzimática (50, 100 y 150 ppm) y tiempo de proceso (30, 45, 60 min), y la variable dependiente fue la reducción de la  $\mu$  ( $\Delta\mu$ ) (triplicado/experimento) (tabla6). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, y un contraste de hipótesis mediante el test Tukey\_HSD. El análisis de datos se realizó utilizando el software estadístico gratuito R 3.6.2 2019 (Core Team). Los rangos de concentración y tiempos evaluados de la enzima se seleccionaron a partir de su aplicación en otros procesos realizados (Davoigniot, Vaillant, & Rodríguez, 2018) y por recomendación del fabricante (por 1.000 L de jugo es entre 50 -150 ml).

Tabla 6. Diseño factorial tratamiento enzimático

Tipo enzima	Tiempo (min)	Concentración (ppm)	Reducción de la viscosidad (%)
Pectinex® Ultra Pulp	30	50	se estudiaron los efectos principales, y las interacciones entre los niveles.
	45	100	
	60	150	
Pectinex® Ultra SP-L	30	50	
	45	100	
	60	150	

## MATERIALES Y MÉTODOS

La viscosidad fue determinada en un viscosímetro Brookfield DV-III Ultra (Brookfield, Engineering Laboratories, Middleboro, Massachusetts, EE. UU.), husillo RV3, temperatura 35°C y rampa de velocidad: 0-100 rpm cada 20 s, reportándose a 100 rpm (Tongkham, Juntasalay, Lasunon, & Sengkhampan, 2017). El proceso que se seleccionó fue aquel que presentó la mayor reducción de  $\mu$  en el jugo tratado enzimáticamente.

Para abastecer la línea de proceso de MFT, la etapa enzimática se realizó en una marmita a vapor donde se cargó bajo agitación el material molido y el jugo obtenido en el hidroprensado inicial, alcanzando a cubrir su capacidad mínima (50 L); luego se adicionó la enzima a concentración seleccionada, se calentó a 35 °C y se mantuvo durante el tiempo óptimo para favorecer la acción catalítica.

**Hidropresando 2 (principal)**. Un 2° prensado se realizó sobre el material total obtenido en el tratamiento enzimático anterior, separándose el material insoluble (semillas, fibras, receptáculos, entre otros) del líquido fino (jugo tratado), el cual es la base para la formulación de la alimentación al proceso de MFT.

**Formulación de alimentación al proceso de MFT**. Para la estandarización de la formulación de la bebida, se realizó una valoración sensorial, buscando el desarrollo de una memoria sensorial y de un léxico descriptivo relacionado con los atributos de sabor, aroma, apariencia, retrogusto y percepciones de la bebida microfiltrada de mora (UNE-EN ISO 5492:2010). Se conformó un panel sensorial con nueve jueces entrenados (ISO 8685:2014), evaluando mediante consenso en qué porcentaje de inclusión del jugo ajustado con azúcar hasta 10.5 °Bx, los atributos están bien optimizados o si, por el contrario, necesitan subir o bajar de intensidad. Para determinar esto, se tuvo una escala desde 7 (muy fuerte) hasta 0 (ausente), de acuerdo con las preferencias de cada panelista. Los valores de inclusión se consideraron conforme con los contenidos en la resolución 3929 Min Salud y en la norma técnica colombiana 5468.

La alimentación al proceso de MFT se diseñó a partir de la valoración sensorial, definió una relación de 40%p/p de hidroprensado 1 y 60%p/p agua incluida en el hidroprensado 2, ajustada esta mezcla con azúcar hasta alcanzar un contenido de sólidos solubles finales de 10.5°Brix. Esta cantidad de agua determinada a partir de balances de sólidos solubles, se utilizó para realizar nuevos lavados del material insoluble retenido, con el objetivo de recuperar más componentes activos de la matriz alimentaria. El rendimiento porcentual del prensado total se determinó como la relación entre los kg totales de jugo obtenido (sin agua adicionada) y kg de materia prima cargado en la marmita (kg primer prensado + kg material molido) multiplicado por 100.

$$100 * \left( \frac{\text{Kg obtenido jugo}}{\text{Kg fruta inicial}} \right)$$

EC6

**Proceso de Microfiltración Tangencial.** La línea de MFT consta de una zona de preparación de la materia prima en la que se obtiene el jugo a microfiltrar, luego de un proceso enzimático en marmita, seguido de un módulo formado por la membrana, las estructuras de soporte, la entrada para la alimentación y las salidas para el filtrado y el retenido. Al final se tiene acoplado un sistema de envasado aséptico. Se utilizó una unidad piloto de MFT (figura 10) con un módulo tubular membralox IC® con membranas  $\alpha$ -alumina (Ep4840), 1.8m<sup>2</sup> superficie de filtración y tamaño de poro de 0.2 $\mu$ m. La alimentación es impulsada a presión (rango 1 – 3 bar) desde el tanque de alimentación

## MATERIALES Y MÉTODOS

por un sistema de control de aire comprimido con bomba neumática (ARO Ingersoll rand). Una bomba centrífuga (Thomsen 69822-OA 10HP) provee el flujo tangencial que dirige la formulación hacia el módulo, el cual se mantuvo a un 70% de la capacidad de la bomba, para no incrementar el gasto energético (Vaillant F. , Millan, Dornier, Decloux, & Reynes, 2001.). Se utilizó un intercambiador de calor de tubo y carcasa para mantener constante la temperatura del proceso, la cual es medida con un termómetro de espiga ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) instalado en la salida del intercambiador de calor (línea del retenido). Las presiones de entrada y salida son medidas con dos manómetros ( $\pm 1\text{psi}$ ) instalados a la entrada y salida de la membrana. Finalmente, la línea de proceso cuenta con un sistema de adquisición de datos con flujómetro (SITRANS F M MAG 5000), que permite la supervisión del flujo de permeado.

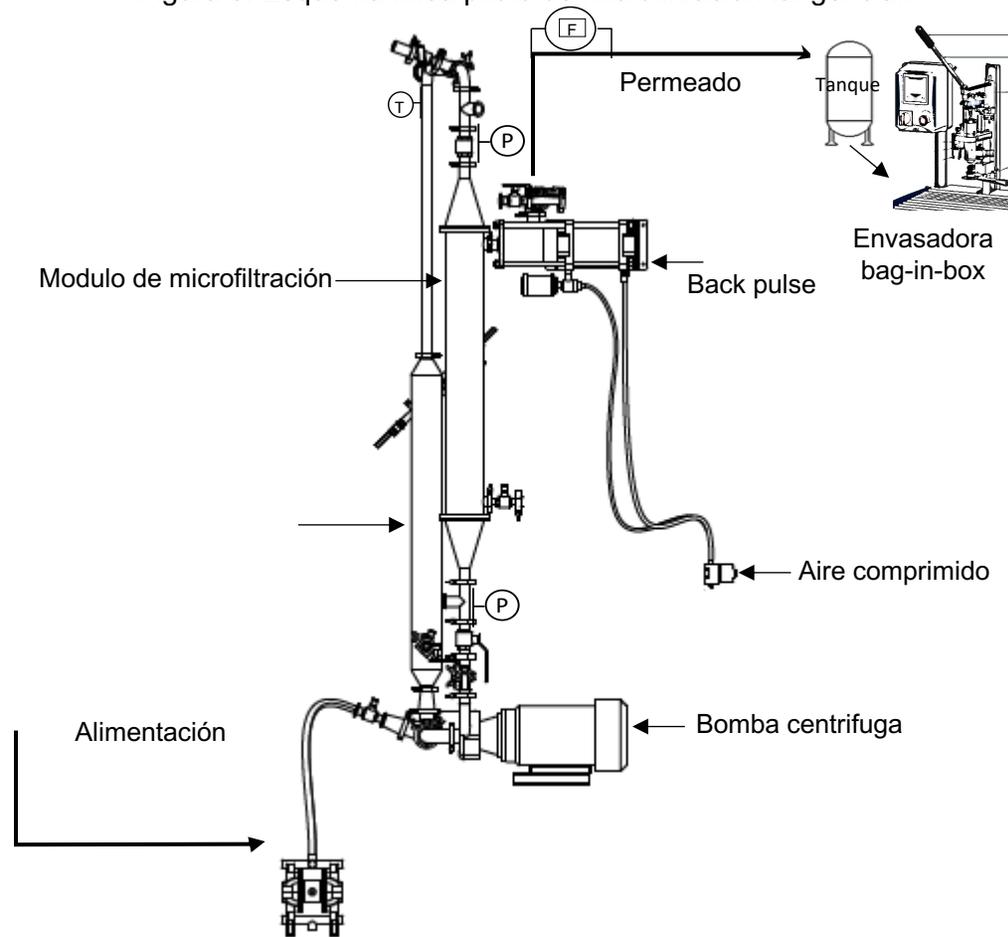


Figura 5. Unidad piloto de MFT

Para reducir la colmatación sobre los poros, se instaló a la salida de la membrana un sistema de pulsos de presión en contracorriente (back pulse pall BF700). El permeado o microfiltrado se recogió en un tanque vertical de acero inoxidable equipado con filtros estériles, desde el cual es bombeado hacia la llenadora semimanual (Technibag Sympaty® 2.0) que se encuentra dentro de una cámara de flujo laminar, esto con el objetivo de garantizar su envasado estéril.

Se ilustra en la figura 11, los componentes y partes de la línea MFT, formados por el sistema de alimentación, el módulo de membranas donde ocurre la separación, y un sistema de envasado aséptico.

Figura 6. Esquema línea piloto de microfiltración tangencial.



## MATERIALES Y MÉTODOS

La figura 12 presenta el diagrama de flujo que sigue la fruta durante el proceso de MFT en la planta piloto de la corporación Agrosavia.

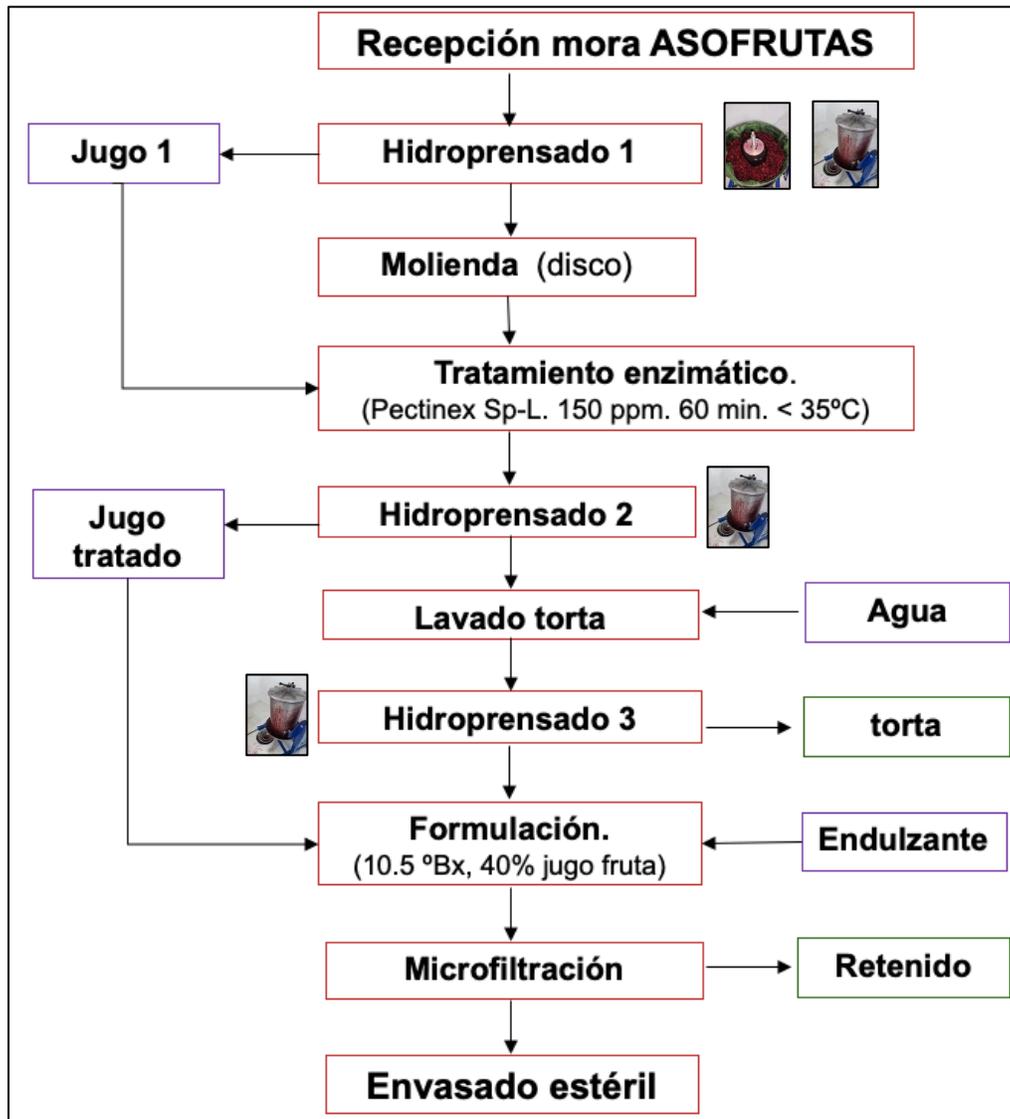


Figura 7. Flujograma del proceso de MFT para la obtención de una bebida de mora

Finalizada la operación de cada experimento, la línea piloto de MFT es sometida a un proceso de sanitización con solución de NaOH (150 ppm a 75°C); posteriormente, con agua a ebullición ( $\cong 96$  °C) y finalmente, para un lavado profundo de la membrana, con una solución de ácido nítrico (150 ppm, T = 75°C). Por otro lado, los equipos auxiliares del proceso (hidroprensa, molino de discos y marmita) son igualmente sanitizados en forma independiente, pasando agua a presión, agua caliente a ebullición y una solución desinfectante de amonio cuaternario. Para el arranque de un nuevo experimento, la línea nuevamente se sanitiza con solución de NaOH (150 ppm a 75°C), seguido con agua caliente a ebullición y finalmente con una solución de ácido peracético a 450 ppm (Manuel Dornier, 2018). Durante el proceso de sanitización en el arranque de la línea piloto, se

## MATERIALES Y MÉTODOS

verifica el pH de salida del agua, flujos y presiones en el módulo, para corroborar la permeabilidad de la membrana. Adicionalmente, el tanque recolector de jugos microfiltrados se esterilizó con vapor a 2 bar durante 20 minutos. La figura 13 ilustra la recta de calibración de la filtrabilidad del módulo en condiciones limpias, con el objetivo de corroborar una buena operación de la membrana de cerámica.

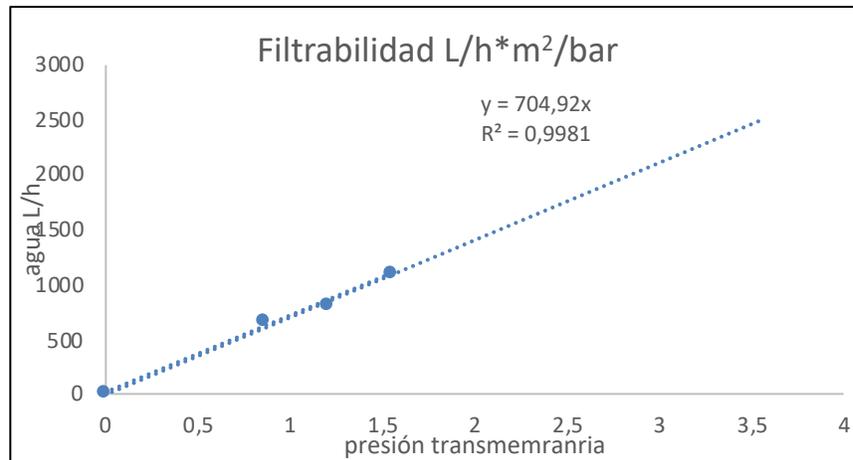


Figura 8. Recta de calibración de la filtrabilidad del agua en la membrana.

La figura 14 ilustra el ensuciamiento de la membrana con remanentes de la bebida de fruta luego de la filtración.



Figura 9. Colmatantes obstruyendo canales

### 3.3 Proceso de microfiltración tangencial.

El proceso de microfiltración tangencial se realizó en dos etapas. Inicialmente se realizaron experimentos que permitieron evaluar el efecto de la DPTM (1.0; 1.5; 2.5 y 3.5 bar) sobre el flujo de permeado (**jp**). Todos los procesos se realizaron con alimentación continua y recolección constante de permeado y sin extracción de retenido. A partir de esta experimentación, se seleccionó la DPTM que maximizó el **Jp**. Posteriormente se evaluó el efecto de la aplicación del BP sobre el **jp**. La aplicación de los pulsos se realizó manteniendo constante la amplitud (4 bar) y el tiempo de duración de la amplitud aplicada (0.2 s), evaluándose el efecto de la frecuencia de impacto (1.0 y 2.0 min). La eficiencia del

## MATERIALES Y MÉTODOS

proceso ( $\eta$ ) se determinó para cada lote y se expresó como la relación entre el volumen de alimentación ( $V_a$ ) y el volumen de permeado ( $V_p$ ) ( $\eta = ((V_p/V_a) \times 100)$ ) (Manuel Dornier, 2018). Las variables dependientes del proceso fueron **jp**, FCV y R; mientras que, las variables SST,  $T^\circ$  y porcentaje de capacidad de la bomba se mantuvieron constantes (10,5°Brix, 35°C y 70% respectivamente). La DPTM se determinó como el promedio de la presión aplicada sobre el módulo de membranas (Ec5) (Vaillant F. , Millan, Dornier, Decloux, & Reynes, 2001.), donde  $P_f$  es la presión del lado de la alimentación de la formulación y  $P_p$  es la presión del lado del permeado.

$$PTM = ((P_f + P_p)/2) \quad Ec7$$

Las variables dependientes del proceso o variables de respuesta fueron **jp**, FCV y R, y se determinaron como sigue:

**El volumen de filtración por la membrana (jp)**, se evalúa midiendo el filtrado (permeado) por unidad de área de membrana y el tiempo de operación:

$$jp = V_p / (A * t) \quad Ec8.$$

Donde  $j_p$  ( $L/m^2 \cdot h$ ) es el volumen  $\bar{x}$  de permeado en L ( $V_p$ ) recolectado en un tiempo  $t$  (h) a través de la superficie de la membrana  $A$  ( $m^2$ ) (Cassano, Castro-Muñoz, Conidi, & Drioli, 2020).

Para el análisis de los resultados obtenidos en los procesos con BP, se buscó una expresión matemática que describiera el comportamiento del flux. Los valores de **jp** experimentales se ajustaron al modelo de polarización de la concentración (Ec7) (Vaillant F. , Pérez, Acosta, & Dornier, 2008), obteniéndose un  $j_p$  del modelo ( $j_p$  modelo), donde  $K_c$  representa el coeficiente global de transferencia de masa,  $(C_g/C_b)$  es la relación de la constante de concentración en la capa de gel polarizada y la fracción volumétrica de las partículas de la solución circulante que han sido retenidas.

$$j_p (\text{modelo}) = K_c LN(C_g/C_b) \quad Ec9.$$

**Factor de concentración volumétrica (FCV)**. Representa la relación entre el volumen total de la bebida alimentada y el volumen retenido al interior del sistema ( $V_r$ ) (volumen constante = 8L) (Vaillant F. , Pérez, Acosta, & Dornier, 2008) (Ec9), donde  $V_a$ ,  $V_p$  y  $V_r$  son volumen de alimentación de la formulación, del permeado y del retenido, respectivamente.

$$FCV = \frac{V_a}{V_r} = 1 + \left( \frac{V_p}{V_r} \right) \quad Ec10.$$

**Tasa de retención (R)**. Representa la proporción de soluto retenido por la membrana al final del proceso (Ec10), donde  $C_p$  y  $C_r$  son las concentraciones del soluto en el permeado y en el retenido respectivamente, expresándose en mg/L. (Castro-Muñoz, Boczkaj, Gontarek, Cassano, & Fíla., 2019).

$$R = 100 * ((C_r * V_r)/(C_p * V_p)) \% \quad Ec11$$

### 3.4 Estabilidad durante el almacenamiento en refrigeración.

La bebida de mora permeada se envasó en bolsas tipo Bag in box preirradiadas esterilizadas de 5L de capacidad, marca sumurfit kappa, con múltiple barrera (NY/VMPET/PE 80 $\mu$ m), una tasa de transmisión de oxígeno promedio  $\approx 0.1 \text{ cm}^3$  y

## MATERIALES Y MÉTODOS

provista de una válvula Vitop®. Las muestras se almacenaron bajo refrigeración (4°C) y se utilizó un diseño unifactorial, considerando la variable independiente tiempo, monitoreado cada 15 días hasta la identificación del punto de fallo de la bebida. Las variables dependientes o parámetros de calidad fueron °Bx, acidez, pH, colorimetría, microbiología, contenido de CBA. Por otro lado, se estableció el tiempo de vida medio ( $t^{1/2}$ ) en función de la reducción del 50% de las concentraciones iniciales de ANC y EGTs referidos a los estándares para Cy3GI y ac.Ela, respectivamente, (Ec12 y Ec13) (Swier & Chauhan., 2019), donde  $C_0$  son los contenidos de los CBA a  $t_0$ ,  $C_t$  son los contenidos de los CBA a tiempo  $t$  días. El gráfico del  $\ln C_t$  Vs  $t$ , permitió obtener la pendiente de la gráfica ( $k$ ) ( $\text{día}^{-1}$ ) y la determinación del  $t^{1/2}$ .

$$C_t = C_0 * \exp(-kt) \quad \text{Ec12.}$$

$$t_{1/2} = \ln 2/k \quad \text{Ec13.}$$

### 3.5 Análisis sensorial de las bebidas durante el almacenamiento.

La evaluación sensorial se realizó mediante pruebas triangulares en las que los panelistas ( $n=9$ ), identificaron si existía una diferencia global entre tres muestras, dos de las cuales correspondían con el tiempo de almacenamiento en refrigeración (4°C) y la 3ª muestra era la bebida fresca almacenada en congelación durante el mismo tiempo de preparación que las otras dos (control). Las muestras fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos y las sesiones se realizaron bajo condiciones controladas de iluminación, donde cada muestra de las bebidas (70 mL) fue suministrada a la misma temperatura (10°C). El punto de fallo se estableció a partir de la distribución binomial basado en el número de respuestas coincidentes (100%) (Tabla 7); además, se adoptó el nivel de riesgo  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 7. Interpretación estadística de la prueba triangular según nivel de significancia.

Cantidad de jueces	Cantidad de respuestas coincidentes para que la prueba triangular sea significativa		
	5%	1%	0.1%
6	5	6	-
7	5	6	7
8	6	7	8
9	6	7	8
10	7	8	9

(INTA., 2007)

El perfil sensorial se realizó a las muestras almacenadas y en el punto de fallo, comparándose con un permeado fresco obtenido a tiempo cero del mismo lote. Los atributos evaluados en el perfil sensorial fueron: olor tipicidad, olor fermentado, color típico mora, translucidez, precipitados, sabor típico mora, sabor dulzor, sabor acidez, sabor amargo, sabor fermentado, sensación astringencia, persistencia astringencia, residual ácido y aceptación global. Para cuantificar la aceptación global de las muestras almacenadas, se utilizó una escala hedónica de 7 puntos (ver tabla 8). Finalmente, las pruebas discriminativas, así como las afectivas se realizaron por triplicado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 8. Escala de medición del perfil sensorial y la aceptación global de las bebidas

Atributo	Escala	Características
Apariencia	< 2,5	Muy diferente al color normal. Apariencia poco agradable, demasiada presencia de materiales extraños.
	2,5 – 4,0	Perdida de la tonalidad. Leve presencia de precipitados identificables.
	4,0 - 5,5	Mínima variación en el color. Moderada claridad sin precipitados u otros defectos.
	5,5 – 7,0	Color característico de la fruta fresca. Apariencia homogénea y brillante.
Sabor/Aroma	< 2,5	Mínimo aroma, acentuado sabor extraño
	2,5 – 4,0	Mínima presencia de algún aroma y/o sabor extraño.
	4,0 - 5,5	Moderada semejanza con la fruta fresca, acidez marcada.
	5,5 – 7,0	Característico de la fruta fresca, adecuado balance dulce ácido.
Sensaciones	< 2,5	Muy leve
	2,5 – 4,0	Moderado
	4,0 - 5,5	Marcado
	5,5 – 7,0	Muy marcado

### **Análisis estadístico.**

Para cada uno de los atributos sensoriales se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y se aplicó el Test Least Significant Difference (LSD) de Fisher para estimar las diferencias significativas para un 95%.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 Caracterización de la materia prima.

Los valores medios y desviaciones estándar de los atributos de calidad de la mora fresca fueron: %H =  $85.9 \pm 2.1\%$ , pH =  $2.9 \pm 0.1$ ; acidez =  $2.9 \pm 0.3\%$ , °Bx =  $6.7 \pm 1.5\%$ . El valor promedio de humedad hallado en la mora ( $86 \pm 2.1\%$ ), indica un bajo contenido de sólidos totales que influyen en aspectos como la firmeza y los fenómenos de deterioro que ocurren en el fruto, y que es relevante para la agroindustria debido, a que esto está relacionado con el rendimiento. Los valores de pH son acordes con el establecido en la norma colombiana NTC 4106 (ICONTEC, 1997) y similares a los reportados por (Vergara, Vargas, & Acuña, 2016) en productos cosechados en Cundinamarca, y por (Córdoba & Londoño, 1998) en seis variedades de mora evaluadas durante la madurez fisiológica en clima frío en Antioquia. El valor de °Bx ubica al fruto en el rango medio de dulzor frente a lo descrito para materiales dulces con un nivel promedio por encima a  $11^\circ\text{Bx}$ . Valores próximos a  $8.2^\circ\text{Bx}$  son reportados en especies silvestres de los andes en Colombia; en el cual señalan los autores, que el fruto acumula la mayor cantidad de SST en la madurez fisiológica (estado 5) (Barrero Meneses, 2009). Por otro lado, en variedades provenientes de los municipios de Envigado y Guarne (Antioquia, Colombia), se encontraron que los valores de SST aumentaron de 5.02, a 10.06% y la acidez decayó de 3.2 a 2.5 en los índices de madurez más altos (Carvalho & Betancur, 2015).

### 4.2 Proceso y formulación de la bebida.

#### Proceso enzimático.

La figura 15 ilustra el efecto del tipo y concentración de las enzimas utilizadas y del tiempo de acción de estas sobre la  $\Delta\mu$  de la bebida de mora. Teniendo en cuenta la viscosidad inicial de la bebida (sin tratamiento) (14.75 cP), la  $\Delta\mu$  mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con respecto a las 3 variables independientes evaluadas en el proceso enzimático (tipo de enzima, concentración de enzima y tiempo de aplicación); adicionalmente con la interacción positiva concentración-tiempo. Los comportamientos observados en la bebida de mora identifican a la enzima Pectinex® Ultra Sp-L con una mayor acción sobre la  $\Delta\mu$ , que la enzima Pectinex® Ultra Pulp; adicionalmente, la  $\Delta\mu$  fue mayor con el incremento de la concentración de las enzimas y con el tiempo de aplicación del tratamiento enzimático. Los resultados identificaron que el tratamiento más efectivo fue trabajar con la enzima Sp-L a concentraciones de 150 ppm y tiempo de aplicación de 60 minutos, alcanzando un  $\Delta\mu$  aproximadamente del 86% (2.46 cP), lo cual favorecerá al proceso posterior de MFT.

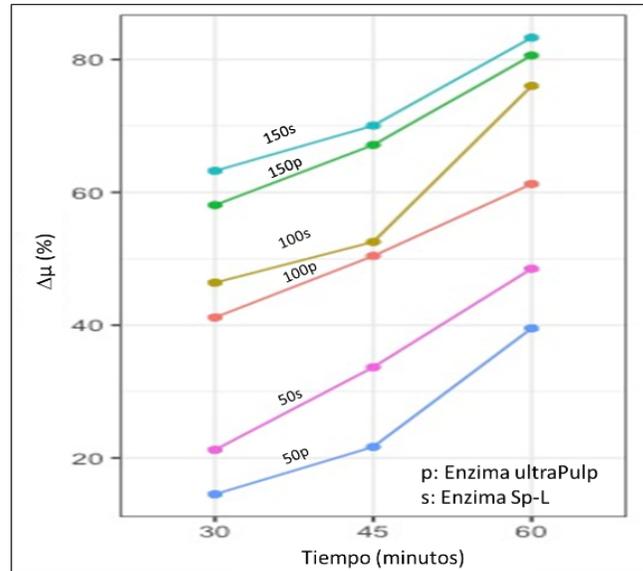


Figura 10. Influencia del tipo de enzima pectinex (ultraPulp (p) y Sp-L (s)), tiempo de acción (30, 45, 60 min) y la concentración (50, 100, 150 ppm), sobre la reducción de la viscosidad del jugo hidropresado.

La  $\Delta\mu$  de las muestras sometidas al tratamiento enzimático, presentó en general una tendencia significativa a disminuir (Figura 15), tanto con la adición de Pectinex<sup>®</sup> Ultra Pulp (>3800 PGNU/ml (mezcla de pectinasas, hemicelulasas y betaglucanasas) así como con Pectinex<sup>®</sup> SP-L (>5000 PGNU/ml mezcla de poligalacturonasas, pectintranseliminasa y pectinesterasas), lo cual se asocia principalmente a la acción de estas sobre componentes estructurales de las paredes celulares de la mora, resaltándose fibras o polímeros como pectina, hemicelulosa, celulosa, lignina y otras fibras insolubles (Zhuangsheng, Pattathil, Hahne, & Wickerf, 2019), (Ayala, Valenzuela, & Bohórquez, 2013.). De acuerdo a lo descrito en las fichas técnicas, ambas son poligalacturonasas, producidas a partir de *Aspergillus culeatus*. La actividad enzimática reportada es mayor para Pectinex<sup>®</sup> Ultra SP-L. Esta última se obtiene a partir de una cepa mejorada, por lo cual se espera que la pureza y el rendimiento de la enzima sean superiores, así como una rápida reducción de la viscosidad. Los resultados concluyen una mayor  $\Delta\mu$  en las muestras tratadas con esta enzima Pectinex<sup>®</sup> SP-L en comparación con lo obtenido para la ultra Pulp que sugiere un espectro enzimático más amplio en relación con la composición de la matriz, para la cual se ha descrito, que la enzima actúa sobre los enlaces  $\alpha$ -(1-4) de las cadenas largas de pectina y celulosa, que se descomponen simultáneamente catalizando la hidrólisis de los ésteres metílicos de la pectina de bajo metoxilo de la mora y despolimerizando el ácido galacturónico (Ribeiro, Henrique, Oliveira, Macedo, & Fleuri, 2010). Se considera que la acción de las enzimas es de mucha importancia en la obtención de jugos por la tecnología de MFT; ya que, la concentración de material péctico durante el proceso forma una capa de gel en la superficie de la membrana, reduciendo la eficacia de la filtración en el tiempo (< volumen de filtración) (Siddiq M. , Dolan, Perkins-Veazie, & Collins, 2018.), (Lachowicz, Oszmiański, & Kolniak, 2018.).

Los reportes bibliográficos del efecto de pretratamientos enzimáticos sobre las propiedades del jugo de mora son diversos. Algunos autores han reportado que el mix

Pectinex Ultra Sp-L aplicado sobre el macerado de la mora (*Rubus fruticosus* L.) presenta una mayor actividad de las pectinasas y celulasas sobre la  $\Delta\mu$ , permitiendo la liberación de más compuestos en el jugo (Wang, Xu, & Jin, 2009). Soto y colaboradores (2016) reportaron que, con la degradación de la pectina en la mora (*R. adenotrichos*) por acción de las enzimas (Klerzyme 150), se facilita la liberación de componentes nativos de la pulpa macerada, incrementando significativamente las cantidades de ANC's y polifenoles (Soto M. , Acosta, Vaillant, & Pérez, 2016). Siddiq, et al, 2018 reportaron un aumento significativo del rendimiento de jugo de *Vaccinium corymbosum* L., menor turbidez y acidez titulable, incremento en el contenido de las ANC's y un descenso en la capacidad antioxidante del jugo con respecto a la baya fresca (Siddiq M. , Dolan, Perkins-Veazie, & Collins, 2018), por efecto del tratamiento enzimático con Cellubrix, Pectinex Ultra SPL, y Crystalzyme, entre otras.

### **Proceso MFT de jugo de mora**

La tabla 9 presenta el rendimiento del proceso de hidroprensado 2 y la  $\eta$  de cada lote de formulación microfiltrada para la obtención de la bebida de mora.

Tabla 9. Resultados experimentales en la formulación de la bebida MFT(10,5°Bx, 40%fruta).

Lote	Hidroprensado 2			Proceso MFT			
	Carga (kg)	Volumen hidroprensado (L)	Rendimiento (%)	Va (L)	Vp (L)	Vr (L)	$\eta$ (%)
1	50.00	40.30	80.60	105.85	90	8.00	89.3
2	50.00	37.00	74.00	97.52	83	8.0	89.7
3	46.00	38.00	82.61	100.05	85	8.0	89.5
4	48.00	32.72	68.17	87.12	74	8.0	85.2
5	44.00	36.00	81.82	94.84	82	8.0	86.5
6	40.00	31.30	78.25	82.99	74	6.0	89.4
7	55.00	37.20	67.64	97.30	85	8.0	87.1
8	38.00	29.00	76.32	77.20	69	6.0	89.3
9	48.00	34.00	70.83	89.63	79	6.0	90.2
10	50.80	37.30	73.43	97.76	86	8.0	90.0

Estos resultados muestran que el rendimiento promedio y la desviación estándar del jugo hidroprensado fue de  $76.7 \pm 4.1\%$ , correspondiente a una torta de 23,3%. Comúnmente, el rendimiento de los jugos prensados se notifica en los rangos de 65-77 78.9% (Landbo & Meyer., 2004), (Pap, Mahosenaho; M, Pongrácz; E. et al., 2012). Este subproducto presenta un potencial de aprovechamiento como ingrediente alimentario menor, alimento animal, fertilizante, combustible, medios de fermentación, etc.; además, se caracterizan por una alta demanda química y biológica de oxígeno, no siendo recomendable su desecho directo en el medio ambiente (Ioannis & Theodoros, 2008 ).

Los resultados obtenidos del jugo hidroprensado indican que, para obtener 40 L de jugo hidroprensado de mora tratado enzimáticamente, se requiere una alimentación de carga al proceso de aproximadamente 52 kg de fruta de mora (materia prima). El prensado hidráulico realizado a la mora se considera un método delicado que ofrece diversas

ventajas: 1) no exposición de las macromoléculas para la liberación de los contenidos celulares; 2) aireación mínima, lo cual favorece una baja actividad enzimática y disminuye el grado de oxidación; 3) recuperación de un extracto libre de impurezas, entre otras. Los niveles del rendimiento en el hidroprensado 2 están influenciados por la calidad de la mora procesada, por su grado de madurez fisiológica y por el contenido de sólidos solubles, coincidiendo los menores rendimientos de prensado con contenidos de humedad baja y mayores aportes de sólidos solubles. Las formulaciones se ajustaron a la normatividad colombiana, NTC 5468 (ICONTEC, 2007) y la Resolución 3929 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección social, la cual establece un mínimo del 14% de pulpa de fruta en la formulación; además, un mínimo de sólidos solubles aportados por la fruta del 1,17%. Las formulaciones desarrolladas del néctar (10,5° Bx) en la presente investigación, se diseñaron con 40% de jugo hidroprensado de mora y un aporte de sólidos solubles de la fruta del 2,68%. Estos criterios en la formulación del prototipo de producto, ofrecen un potencial amplio de incursión en el mercado.

Se observa que la  $\eta$  del proceso de MFT osciló entre 85.2 y 90.0% ( $88.70 \pm 1.9\%$ ), lo cual representa un buen valor para el proceso frente a los reportados por otras investigaciones: jugo de piña hidrolizado (62.5%) (Lucia Carneiro, 2002); bebida de feijoa 70 – 75% (Schmidt, y otros, 2022), mora 84.62 (Monteiro, Viotto, & Cabral, 2011). El  $V_r$  en el proceso de MFT fue aproximadamente de  $7.4 \pm 0.9\%$ ; sin embargo, si consideramos que el equipo de MFT presenta aproximadamente un volumen muerto de 5 L, este valor se incrementa hasta  $8.4 \pm 0.7\%$ . La bibliografía normalmente no menciona sobre el volumen muerto y su cambio sobre el  $V_r$ ; sin embargo, este valor es más representativo para el proceso.

### 4.3 Atributos de calidad para la bebida de mora.

La tabla 10 resume la caracterización fisicoquímica, física y de los componentes activos en la formulación de alimentación al proceso MFT, en la bebida microfiltrada (permeado) y en el material retenido.

Tabla 10. Atributos de calidad de la formulación y los productos del proceso de MFT.

Variable	Formulación	Permeado*	Retenido
Xw (g/100g bh)	87.3 $\pm$ 0.13%	-	-
°Bx (%)	10.5 $\pm$ 0.1	10.2 $\pm$ 0.0	11.1 $\pm$ 0.1
SIS (%)	0.8 $\pm$ 0.0	-	2.6 $\pm$ 0.1
Acidez(mg/L)**	2.0 $\pm$ 0.0	1.7 $\pm$ 0.1	2.21 $\pm$ 0.0
pH	3.1 $\pm$ 0.1	3.0 $\pm$ 0.0	3.1 $\pm$ 0.1
L*	11.3 $\pm$ 0.6	16.4 $\pm$ 0.4	16.0 $\pm$ 0.4
a*	27.1 $\pm$ 0.1	33.5 $\pm$ 0.3	37.7 $\pm$ 0.3
b*	16.5 $\pm$ 0.9	18.8 $\pm$ 1.3	14.4 $\pm$ 1.2
C	31,7 $\pm$ 0.4	38,4 $\pm$ 1.0	40.4 $\pm$ 1.0
$\Delta E$	-----	8.4 $\pm$ 0.7	15.9 $\pm$ 0.7
* Cyanidin 3-O-glucoside (mg/L)	368.3 $\pm$ 3.4	358.5 $\pm$ 1.4	344.9 $\pm$ 5.0

(mg/100g)		87.0±0.4	
* Cyanidin 3-O-rutinoside (mg/L) (mg/100g)	292.0±6.6	289.1±1.4 75.5±0.5	248.9±7.9
* Cyanidin 3-Malonil-glucoside) (mg/L) (mg/100g)	106.4±0.5	102.3±0.8 26.7±1.3	100.5±1.6
**Lambertianin_C (mg/L) (mg/100g)	306.6±3.9	284.9±4.04 57.7±0.6	488.9±8.1
**Sanguiin H6 (mg/L) (mg/100g)	333.7±6.61	298.7±5.7 77.9±0.5	533.9±9.0
* mg equivalentes Cy3Gl ** mg equivalentes ac.Ela			

♥ Atributos de calidad de la bebida de mora recién procesada por MFT (permeado) (tiempo 0).

♥♥ Acidez expresada como ácido málico.

Se observan diferencias importantes en cada uno de los productos, resaltando la excelente clarificación del producto permeado, el cual no evidencia presencia de SIS. El contenido de los SST en la bebida de mora MFT (permeado) presenta una leve disminución ( $10.5 \pm 0.08 \rightarrow 10.1 \pm 0.0$  %), como consecuencia de la fracción líquida de la bebida formulada que acompaña al material insoluble que se remueve al final del proceso (Bhattacharjee & et al., 2017). Esta fracción líquida contiene principalmente azúcares y ácidos nativos; además de, azúcar adicionada. Esta situación ha sido reportada por diferentes autores en diferentes bebidas MFT: bebida de marañón ( $13.2 \rightarrow 11.5\%$ ) (Mai., 2017), del orden del 10% en bebida de opuntia (Cassano, Conidi, Timpone, D'Avella, & Drioli., 2007) y bebida de naranja (Abd-Razak, Chew, & Bird, 2019.), y una retención de azúcares del 25.79% en bebida de piña (Carvalho, Castro, & Silva., 2008). Bajo este contexto, los resultados de °Bx alcanzados en el material retenido ( $11.1 \pm 0.1\%$ ) durante el proceso de MFT de la bebida de mora son coherentes. Por otro lado, los productos presentaron niveles de acidez y pH entre (1.7 – 2.2%) y (3.0 – 3,1%) respectivamente, siendo estos valores coherentes a los encontrados en la fruta fresca acidez =  $2.9 \pm 0.3\%$  y pH =  $2.9 \pm 0.1$ ).

La L\* no fue una variable que presentó mayor afectación entre el permeado y retenido; mientras que, la cromaticidad a\* fue el parámetro de color de mayor relevancia en el proceso MFT, observándose un incremento de su valor desde  $27.1 \pm 0.1$  (bebida formulada) hasta  $33.5 \pm 0.3$  (permeado) y  $36.7 \pm 0.3$  (retenido). Esta situación es coherente con los valores de croma o saturación obtenidos para el permeado y retenido, que igualmente fueron mayores que en la bebida formulada, denotando una mayor intensidad de color rojizo.

Por otro lado, los valores del  $\Delta E$  presentaron diferencias significativas entre el permeado y el retenido, comportando como 2 grupos no homogéneos, siendo esto atribuible a los mayores contenidos de pigmentos rojizos (ANCs) en el permeado, principalmente aportadas por Cyanidin 3-O-glucosido y Cyanidin 3-O-rutinoside) (B.K. Tiwari et al., 2009), (Albuquerque & Costa., 2018) y a los mayores contenidos de Lambertianin C y Sanguiin H6 en el retenido. Esta concentración de EGTs confiere una tonalidad rosa parduzca en el producto retenido (Arozarena, y otros, 2012). La presencia de los CBA cuantificados en el permeado y retenido, confieren valor agregado a los productos, tal como lo reportan otros investigadores (Monteiro, Viotto, & Cabral, 2011), (Valverde C, 2011).

La mora andina es reconocida por ser buena fuente de ANCs, promediando un contenido de 67 - 230 mg/100g (Robinson et al., 2020).

En la presente investigación, los cromatogramas de la bebida MFT (permeado) identificaron a 515 nm algunos picos principales de ANCs (figura 16). El pico 1, es atribuido al Cianidin-3-O-Glucoside, reportado como la antocianina principal en la especie *Rubus glaucus*; mientras que, los picos 2 y 3 se atribuyen a los contenidos de Cianidin-3-O-rutinoside y a Cianidin-3-Malonilglucoside, respectivamente (Mertz, Cheynier, Günata, & Brat, 2007), (F.Van de Velde et al., 2016), (Jakobek, Medvidović-Kosanović, & Šeruga., 2007). Por otro lado, otros autores han reportado otros componentes como ácidos fenólicos, compuestos derivados de kaempferol y flavonas (Ho-Ju & y Ronald-E, 2010).

De igual manera, en los cromatogramas obtenidos a 254nm se identificaron los picos 4 y 5, correspondientes a Lambertianin C y Sanguiin H6 respectivamente (Mertz, Cheynier, Günata, & Brat, 2007). Otros EGTs (pedunculagin, casuarictin/potentillin, castalagin/vescalagin y lambertianin D) han sido reportados por otros autores (J-Hager, R-Howard, Liyanage, O-Lay, & L-Prior, 2008,)

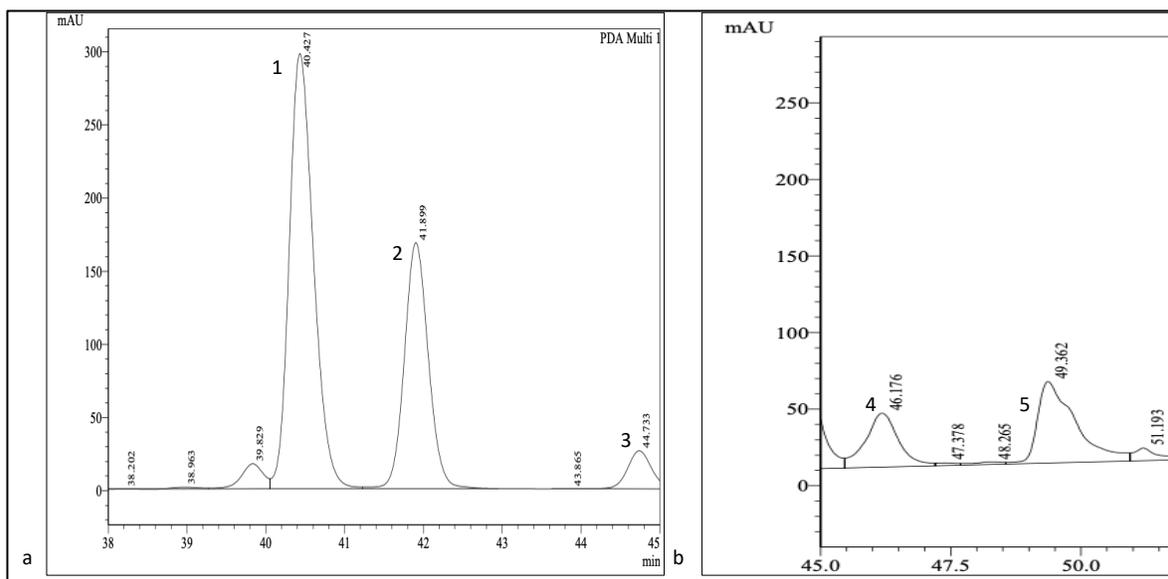


Figura 11. Perfil de ANCs (a) y EGTs (b) en el permeado, obtenido por HPLC.

Los niveles de ANCs encontrados en el permeado ( $358.53 \pm 1.43$  mg Cy-3-Gl/L,  $289.12 \pm 1.39$  mg Cy-3-Rut/L y  $102.3 \pm 0.51$  mg Cy3-MGI/L) (picos 1, 2 y 3 respectivamente), fueron diferentes a los reportados por otros autores en bebida de mora pura o sin diluir: 1189 mg Cy-3-Gl equivalentes/L (Cisse M., Vaillant, Acosta, Dhuique, & Dornier, 2009.); 900.6 mg Cy-3-Gl equivalentes/L (B.K. Tiwari et al., 2009) y 943.5 mg Cy-3-Gl equivalentes/L (Jakobek, Medvidović-Kosanović, & Šeruga., 2007).

Para el caso de los EGTs, los resultados encontrados ( $135.7 \pm 0.54$  mg ac.Ela equivalentes mg/100g bs), fueron igualmente menores frente a los reportados por otros autores en una bebida mora MFT variedad *adenotrichos* ( $685 \pm 114$  mg ac.Ela equivalentes mg/100g bs) (Soto M., Acosta, Vaillant, & Pérez, 2016); en bebidas comerciales de mora (*Rubus sp.*) ( $260$  mg ac.gálico equivalentes/100 g (Koponen, Happonen, Mattila, & Törrönen., 2007).

Otros autores reportan menores valores en jugo concentrado de mora reconstituido Variedad *laciniatus* L. (51.1 – 68.2 mg ac.Ela equivalentes /100g) (Siriwoharn, Wrolstad, & Durst, 2007). Esta variación entre el contenido reportado para las bebidas de mora puede relacionarse además de los aspectos del procesamiento, con el suelo de origen de la materia prima, las condiciones de cultivo y las prácticas de manipulación previas a su industrialización (Ali L. , y otros, 2012.), (Vergara, Vargas, & Acuña, 2016.).

Por otro lado, se resalta que los niveles de retención durante la MFT para Cy-3-GI, Cy-3-Rut) y Cy3-MGI fueron del 12, 12 y 10% respectivamente; mientras que, para los EGTs evaluados Sng H6 y el Lamb\_C fueron 25 y 29% respectivamente. Investigaciones realizadas por otros autores, reportan en los procesos de MFT pérdidas de ANC's del orden del 14.3% (Kelly, Kelly, & O'Mahony, 2019.), 17%. (Camille Rouquié, 2019), hasta el 27% (Soto M. , Acosta, Vaillant, & Pérez, 2016) y entre 13.3 y 33.4% (Bubans, Hamerski, Pinto, y daSilva., 2021). Para los EGTs, otros autores reportan niveles de retención del 34% (Howard, Prior, Liyanag, & Lay, 2012.) y (Kelly, Kelly, & O'Mahony, 2019.).

La estabilidad de las ANC's durante el proceso MFT ( $T \cong 35^{\circ}\text{C}$ ) es mayor comparativamente con los procesos clásicos de pasteurización ( $T \cong 70^{\circ}\text{C}$ ), la cual reduce su contenido entre el 40% al 80%, causando daños moleculares y afectando su biodisponibilidad, (Zhang, y otros, 2012), (Putnik, y otros, 2019), (Oancea., 2021). Por otro lado, (Vladislavljevic, Vukosavljevic, & Veljovic, 2013) y (B.Orhan Dereli y otros., 2023) reportan una menor pérdida de ANC's (9%) en el permeado con procesos de MFT; mientras que, con procesos de clarificación utilizando agentes floculantes (gelatina, bentonita, Kiesesol) la pérdida alcanza aproximadamente un 25%.

La cantidad de CBA en la bebida de mora lista para consumir obtenida por MFT podría ser un determinante positivo para los consumidores interesados en comprar productos saludables. La ingesta de ANC's y EGTs en la dieta, se ha asociado con efectos hipoglucémicos, hipolipemiantes, antioxidantes, antiinflamatorios, neuroprotectores, cardioprotectores y anticancerígenos (Ceci, y otros, 2018.), (Vahapoglu B. , Erskine, Gultekin, & Capanoglu, 2022.).

## 4.4 Optimización del proceso de MFT.

### 4.4.1 Efecto del nivel de DPTM sobre el flux de permeado (jp).

En la figura 17, se presentan los flujos hallados durante el proceso MFT de la bebida a distintas DPTM (1.0, 1.5, 2.5, 3.5 bar). En general, se observa un comportamiento típico de los procesos de MFT, identificando una 1ª zona donde el **jp** es controlada por la presión y donde se observa la mayor tasa de cambio de **jp** en función del FCV, lo cual es correspondiente a la polarización de la concentración entre el fluido circulante y una capa activa (boundary layer), que disminuye el coeficiente de transferencia de masa (Ramírez & otros., 2011). En la 2ª zona, los valores de **jp** reflejan una disminución exponencialmente para todos los DPTM, siendo más pronunciado a DPTM = 3.5 bar, lo que confiere un descenso en la capacidad filtrante dado un mayor ensuciamiento de la membrana, que se hace más crítica en la medida que avanza el FCV. En la 3ª zona, los procesos que operaron a DPTM de 1.0 y 3.5 presentan un comportamiento asintótico, alcanzando un estado semi-estable en la que la transferencia de masa está determinada por las interacciones entre la membrana y los constituyentes de la solución circulante

(Mulder., 1996). Por otro lado, para los procesos que operaron a DPTM de 1.5 y 2.5 bar, la disminución continúa siendo progresiva, denotando un retraso en la aparición del estado semi-estable o flujo crítico para el proceso ( $j_p$  mínimo).

La figura igualmente refleja un  $j_p$  mínimo de aproximadamente  $57 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ , cuando el DPTM correspondió a 1.0 bar; esto puede ser debido a que, la fuerza motriz entre el permeado y la alimentación es tan baja que el gradiente de filtración se ve limitado (Rouquié, Dahdouh, Ricci, Wisniewski, & Delalonde., 2019). Así mismo, se observa que el comportamiento de  $j_p$  a DPTM de 1.5 y 2.5 bar fue relativamente similar hasta que el proceso alcanzó un valor de FCV = 6.0, donde todavía se sostienen un alto volumen de filtración.

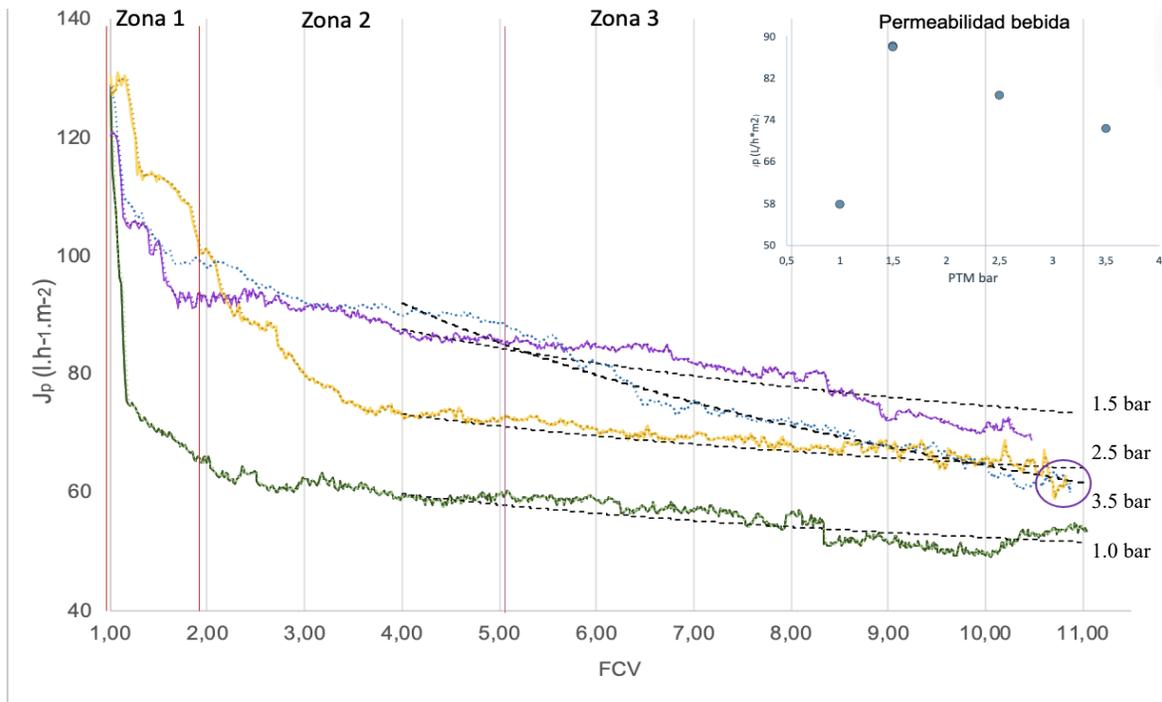


Figura 12. Comportamiento del  $j_p$  para la bebida de mora MFT a diferentes niveles de DPTM. (1.0, 1.5, 2.5 y 3.5 bar).

Posteriormente, el  $j_p$  a DPTM de 2.5 presenta una mayor reducción que a DPTM de 1.5, siendo este último la condición más favorable para el proceso, donde se alcanza la mayor tasa de flujo ( $j_p = 88 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ ); además, la diferencia de flujo entre ambas condiciones fluctuó aproximadamente entre 10 y  $5 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ , siendo la tendencia de disminuir con el incremento del FCV debido a la reducción de la capacidad filtrante de la membrana. Ambos comportamientos, finalmente tienden a alcanzar valores de  $j_p$  similares a lo obtenido para un DPTM de 3.5 bar. En general, a medida que avanza el proceso ( $> \text{FCV}$ ), el aumento de la concentración de macromoléculas en la interfaz, promueve a su vez la aparición de una capa de gel irreversible sobre la superficie de la membrana, ejerciendo un efecto de resistencia adicional al flujo de permeado, (Foley, 2013), (Field & Wu, 2022). La aplicación de altas presiones aumenta la presión hidráulica, llevando a una pronta acumulación de los componentes rechazados del jugo dando lugar a un aumento del espesor de la capa límite, lo que a su vez bloquea el área de filtración y reduce el coeficiente de transferencia de masa (Qin, y otros, 2015.), (Mai., 2017). Según los resultados, se puede afirmar que un mayor nivel de entrada para DPTM no implica necesariamente un efecto benéfico en la tasa de filtración. En consecuencia, y tal como

se mencionó anteriormente, el proceso operado a un DPTM de 1.5 bar es el que permite operar bajo las condiciones ideales para MFT, lo cual está relacionado con la menor tasa de declive y el promedio constante más prolongado del flujo de permeado (Lu, Yiwen, & Jen-Yi, 2021.).

De acuerdo con lo reportado por otros autores en procesos de MFT, los jugos poseen por su composición, una propensión para colmatar la membrana que causa un declive progresivo en el  $j_p$  (Demoulin, Wisniewski, Ricci, Delalonde, & Dahdouh., 2022), fenómeno fuertemente influenciado por la acumulación de constituyentes celulares, principalmente pectinas, fracciones de material hemicelulósico y celulósico, fibras, y otras partículas de gran tamaño (Lina Z. , Pattathil, Hahne, & Wickerf, 2019). Esta situación conduce a un incremento en la concentración de los SIS: 0.83% en la formulación y hasta 2.65% en el producto retenido, los cuales, con el correr del proceso van formando la capa de gel, alcanzando una espesor crítico ( $C_b$ ) por encima del cual parte de la membrana pierde su permeabilidad y muestra un comportamiento menos proporcional a la fuerza aplicada (Vaillant F. , Pérez, Acosta, & Dornier, 2008).

Para la presente investigación el flujo promedio alcanzado para los DPTM de 1.0; 1.5; 2.5 y 3.5 bar (**FCV 10**) fueron 57, 88, 78, 72  $Lh^{-1}m^{-2}$  respectivamente. Se reportan valores de flujo ( $j_p$ ) promedio para jugos MFT de mora que contrastan con los encontrados en el presente estudio: 1) aproximadamente 70  $Lh^{-1}m^{-2}$  a un FCV de equilibrio entre 3.5 a 5 (Vaillant F. , Millan, Dornier, Decloux, & Reynes, 2001.); 2) de 108  $Lh^{-1}m^{-2}$  utilizando membrana cerámica, durante 75 min de operación hasta alcanzar un FCV de 8 (Bubans, Hamerski, Pinto, & daSilva., 2021 ). En otros procesos de MFT con una bebida de mora (Monteiro, Viotto, & Cabral, 2011) registraron el  $j_p$  de 22  $Lh^{-1}m^{-2}$  a un FCV de 4, valores que son inferiores a los alcanzados en los ensayos realizados.

#### 4.4.2 Efecto de la aplicación de Back Pulse sobre el flux de permeado.

La figura 18 presenta el comportamiento del  $j_p$  frente al FCV a un DPTM de 1.5Bar, sin y con BP (SBP y CBP respectivamente) y frecuencias de 1 min y 2 min; adicionalmente, se trazan trayectorias de su modelización según la ecuación 7. Se evidencia que, la aplicación frecuente de los BP con una presión media de entrada (4 bar amplitud), permite alcanzar un mayor  $j_p$  de bebida permeada para un mismo valor de DPTM (1.5bar). Por otro lado, desde que inicia la filtración CBP, la tendencia observada denota una menor pendiente en la evolución del  $j_p$  (Zonas 1+2) frente al proceso SBP, lo cual resulta favorable ya que se alcanzan valores mayores de  $J_p$  CBP ( $\cong 105 Lh^{-1}m^{-2}$  y  $FCV \cong 3$ ) frente a los alcanzados SBP ( $\cong 90 Lh^{-1}m^{-2}$  y  $FCV \cong 2$ ). En la medida que continúa el proceso CBP, la pendiente disminuye; sin embargo, el comportamiento sigue siendo con un  $j_p$  mayor que SBP y el valor de  $j_p$  superior cuando el sistema opera con una frecuencia de 2 min (BP2min).

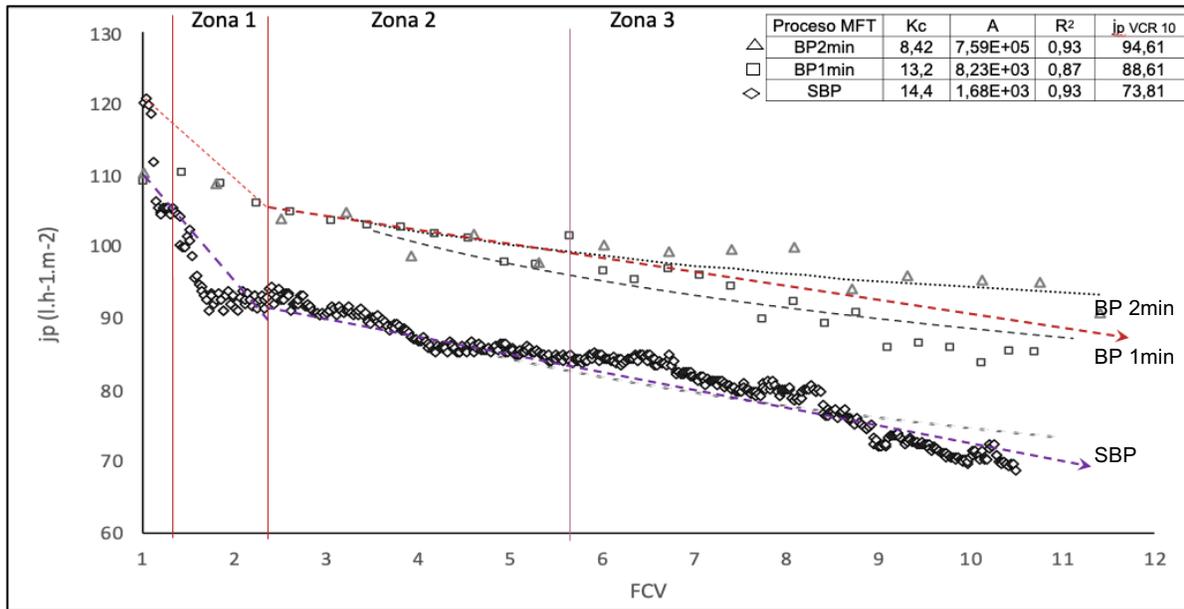


Figura 13. Comportamiento del  $j_p$  vs FCV a un DPTM de 1.5Bar, sin y con BP (SBP y CBP respectivamente) y frecuencias de 1 min y 2 min. Se ilustran los datos de  $J_p$  experimentales frente a los modelados (línea punteada).

(Gao, Qin, Wang, & Østerhus, 2019.) reportaron comportamientos similares a escala de laboratorio, indicando que el proceso CBP disminuye la formación de grandes concentraciones de partículas que polarizan la interfaz alrededor de la membrana, limitando o retardando a su vez el incremento del espesor de la capa de colmataje; por lo cual, la resistencia a la filtración no aumenta en proporción a la producción total de permeado. En este sentido, los valores presentados en la tabla de la figura 18 describen que los procesos realizados con la aplicación de BP presentan menores valores del coeficiente de colmatación  $K_c$ , mostrando una menor velocidad en la retención de solutos en el sistema de filtración, siendo la condición de BP2min la que más favoreció la permeabilidad durante el proceso de MFT, previniendo la formación de una mayor capa de colmataje ( $> A$ ); lo cual es coherente dado que  $K_c$  depende de  $C_g$  (M.A. Kazemi et al., 2013. ) (Field & Wu, 2022). Sin embargo, se observa que el efecto del BP llega a ser menos influyente sobre el  $j_p$  conforme el FCV se incrementa.

Este comportamiento ha sido reportado por otros autores (Gonzales, Vaillant, & Tapia, 2019), lo que revalida que el proceso CBP no detiene la formación de la capa de gel y no siempre se logra remover los colmatantes internos de los poros, aunque con la aplicación de este tipo de técnicas se logran mantener altos volúmenes de filtración (Vladislavjevic, Vukosavljevic, & Veljovic, 2013); por otro lado, se retrasa la disminución del flujo que hace que el proceso no sea técnica y/o económicamente viable (Perkins, Saksena, & R. van\_Reis, 1999), (Vaillant F. , Pérez, Acosta, & Dornier, 2008).

En general, los resultados CBP muestran un  $j_p$  superior en todas las corridas; por lo que, para maximizar el estado estacionario y el flujo promedio de la bebida permeada, el proceso debe empezarse con inter-pulsos cortos (o alta frecuencia BP1min) para minimizar la formación de la capa de colmataje en la Zona 2, y luego incrementar la frecuencia a 2 min (BP2min) cuando la capa de colmataje está establecida (Zona 3). Es de considerar que, la aplicación de BP a una mayor frecuencia durante el proceso afecta el valor neto de flujo permeado, ya que está relacionado con las pérdidas de volumen

cuando ocurre el flujo inverso (Gan, et al., 2001). Las especificaciones técnicas de la bomba CBP pall BF700, indican un volumen de 0.7L que se desplaza por cada impacto del pistón en contra flujo. Por otro lado, se asocia en previos estudios condiciones de BP como una frecuencia demasiado baja, una amplitud demasiado débil o una duración demasiado corta, con un declive del volumen de permeado, ya que no son eficaces para agitar los colmatantes que van acumulándose sobre la superficie, ni logran remover el material que bloquea los poros de la membrana, (D-Mores & H-Davis., 2002), (Gao, Qin, Wang, & Østerhus, 2019.)

#### 4.4.2.1 Efecto de Back Pulse en la Retención de Compuestos bioactivos

La figura 19 presenta la retención de CBA en función de los procesos de MFT SBP y BP1 (1 min) y BP2 (2 min). En general, se aprecia que el proceso de MFT a 1.5 bar confiere un mayor contenido de CBA cuando se opera SBP para todos los CBA; además, los procesos BP1 y BP2 son relativamente similares, identificando que el tiempo de aplicación de los pulsos no ejerce una influencia importante sobre el contenido de los CBA.

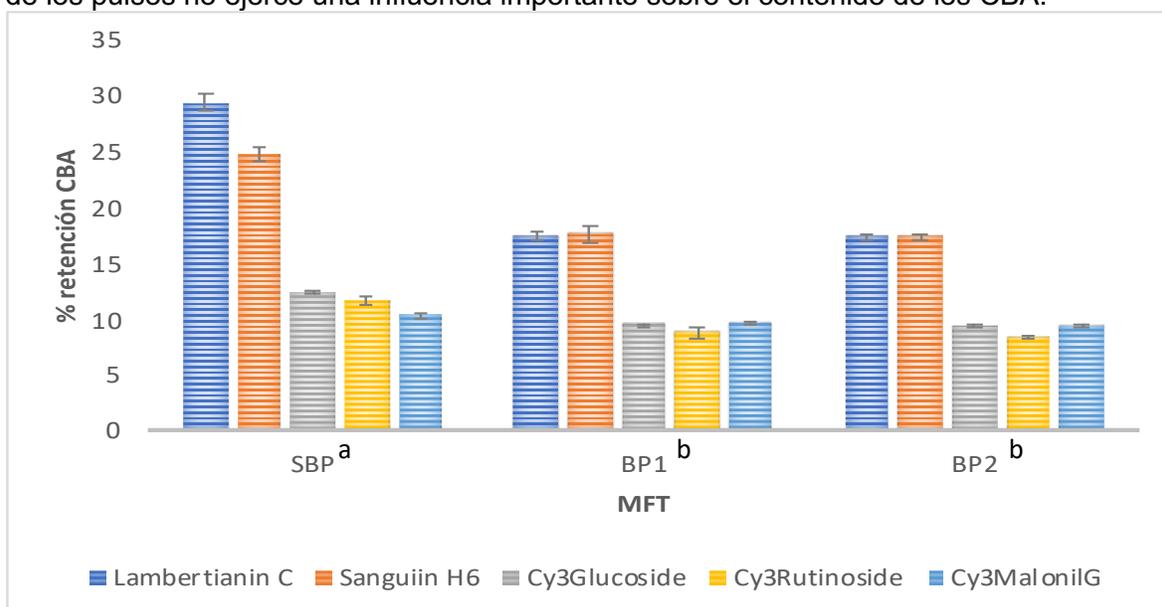


Figura 14. Retención de CBA en función de los procesos de MFT SBP, BP1 (1min) y BP2 (2 min). Letras diferentes indican diferencia significativa entre grupos.

Los resultados obtenidos de los contenidos de ANCs o CBA muestran una buena transferencia a través de la membrana de cerámica empleada, debido a su alta hidrofiliidad (Stebbins, 2017); por otro lado, algunos autores han reportado que el tamaño molecular (MWCO) de los CBA determina mayoritariamente su retención total durante el proceso de MFT (Lachowicz, Oszmiański, Kolniak-Ostek, & Stokłosa, 2019), (Madrigal-Gamboa, y otros, 2021). En este sentido, los resultados para los procesos SBP y CBP fueron coherentes, mostrando que el nivel de retención es inversamente proporcional al peso molecular (PM): Cy3GI (PM = 484.8g/mol), Cy3MGI (PM = 535.4g/mol), Cy3Rut (PM = 595.5g/mol), y Sng H6 (PM = 1871.3g/mol), Lamb\_C (PM = 2749.9/mol).

Entre los CBA mencionados, son considerados como componentes de alto peso molecular los taninos. Por otro lado, se consideran como compuestos de bajo peso molecular, las ANCs que en su mayoría penetran a través de la membrana; aunque,

alguna cantidad queda adherida en la capa de gel enlazadas con polisacáridos/ proteínas y/o formando complejos con minerales y otras macromoléculas retenidas (Prommajak, Leksawasdi, & Rattanapanone, 2020), (Bernjak B., 2021). Además de la exclusión directa de los componentes del jugo, estos pueden presentar una ligera retención por estar vinculados a la capa de gel o por estar adsorbidos en la superficie de la membrana, debido a la acción de diversas fuerzas electroquímicas (Sarode, Verma, & Bhattacharya, 2001) (Bubans, Hamerski, Pinto, & daSilva., 2021 ). Es importante tener en cuenta que, por la naturaleza de los compuestos todos ellos están fuertemente vinculados a las paredes celulares cuyos contenidos han sido reportados como los principales colmatantes en procesos de microfiltración de jugos (Li, et al., 2017), (Shi, et al., 2018).

Se observa así mismo en la figura 19, que en los procesos realizados con la aplicación de BP, la retención para las ANC's se reduce en un 23%, 27% y 8% respectivamente para la Cy3GI, Cy3R, Cy3MGI y, entre 40% y 30% respectivamente para la lamb C y Sng H6. Esta condición puede explicarse; entre otras, mecánicamente, ya que después del pulso, el pistón se mueve hacia atrás causando una retro-difusión desde la superficie de la membrana, limpiando las partículas que se habían adherido en ella, perturbando los perfiles químicos de los componentes adsorbidos, y liberando polifenoles a la corriente de alimentación (Gan, et al., 2001). Bajo este contexto, algunas de las macromoléculas removidas de la membrana pueden entrar en el permeado, contribuyendo al incremento en su tasa de transmisión durante el proceso de MFT de la bebida.

## 4.5 Estabilidad de la bebida durante el almacenamiento.

### 4.5.1 Calidad microbiana.

Los análisis microbiológicos demostraron que la MFT es comparable a los tratamientos térmicos para garantizar la pasterización de la bebida de mora, previniendo el deterioro del producto final; además, cumpliendo con la normativa de la FDA en cuanto a la reducción de 5 log de MO patógenos, requerida como muestra de efectividad para los jugos de frutas obtenidos con tecnologías no térmicas (Tiwari, O'Donnell, & Cullen., 2009). La tabla 11 presenta el recuento **N** obtenido para microorganismos causantes de deterioro y para bacterias entéricas indicadores de contaminación.

Tabla 11. Cambios en la calidad microbiana durante el almacenamiento.

<b>Producto</b>	<b>Bebida de mora sin microfiltrar</b>				<b>Permeado</b>	<b>**Punto de rechazo</b>	
	RMYL		Rac			Todos	RMYL
<i>Microorganismo</i>					Coliformes totales		
<i>Dilución</i>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>
<i>Promedio</i>	107	24	183	44	2	0	54
<i>Log</i>	7		4		0	---	1
<i>N*</i>	1,0x10 <sup>7</sup>		2,0x10 <sup>4</sup>		2,0x10 <sup>1</sup>	No detectable	5,0x10 <sup>1</sup>

RMYL: recuento de mohos, hongos y levaduras, Rac: Recuento de areobios mesófilos,

\* Promedio ponderado en las diluciones N (microorganismos/mL) (n = 4 placas).

\*\* Incumplimiento sanitario y no aceptación sensorial

Los recuentos en los medios para el permeado fresco no evidenciaron crecimiento de colonias de microorganismos causantes de deterioro. La tecnología de membranas muestra efectividad para la reducción en 7 unidades logarítmicas UFC /mL de hongos y levaduras, de 4 log para aerobios mesófilos y una retención total en *E. Coli* con respecto al nivel inicial del lote de formulación. Estos resultados demuestran la efectividad del proceso de MFT utilización membranas con un tamaño de poros por debajo de 0.2  $\mu\text{m}$ , lo cual es equivalente a un proceso de pasteurización que garantizará la estabilidad de la bebida lista para consumir (Chaparro & Soraya Castillo, 2016). El conocimiento de la concentración inicial de MO asociados a alteración es relevante en el establecimiento de los parámetros de operación para los procesos de esterilización, ya que causan alteración en algunos atributos del producto haciéndolo inaceptable para el mercado (Ribeiro, et al., 2018). La carga microbiológica inicial del jugo crudo depende de factores asociados al cultivo, a la manipulación de los frutos, a las condiciones de procesamiento de lavado y sanitización, entre otros. El origen de estos agentes puede ser el suelo, el agua de riego, abonos orgánicos o plagas vectores. Durante el transporte y almacenamiento; la contaminación con MO puede adquirirse desde los equipos, utensilios o manipuladores (Oliveira, Martins y Teixeira 2019).

Está poco documentada la presencia potencial de bacterias patógenas en jugos comerciales, la mayoría de los casos han sido relacionados con trastornos gastrointestinales. Sin embargo, existen reportes de alteraciones asociadas a malas prácticas en el manejo durante la cadena de transformación de frutas y vegetales frescos de varios hongos incluyendo algunos de los géneros productores de micotoxinas de *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Aspergillus* y cepas serológicas de *E. coli*, *Salmonella sp*, *Campilobacter*, *Listeria monocytogenes*, que son altamente mórbidas y que tienen la habilidad de adaptarse a temperaturas de refrigeración y pH bajo (Strawn, Schneider, & Danyluk., 2011.), (Salomão, 2018).

#### **4.5.2 Parámetros fisicoquímicos.**

La concentración de antioxidantes proveniente de la fruta fresca que se conserva en la bebida depende principalmente del tratamiento tecnológico aplicado, los parámetros de almacenamiento extrínsecos y los parámetros intrínsecos del producto (Tiwari, O'Donnell, & Cullen., 2009) (Madrigal, y otros, 2021.). Los resultados de estabilidad de la bebida en refrigeración, para los parámetros de calidad (pH, °Bx, acidez titulable, comportamiento en el espacio de color) se presentan en la figura 20.

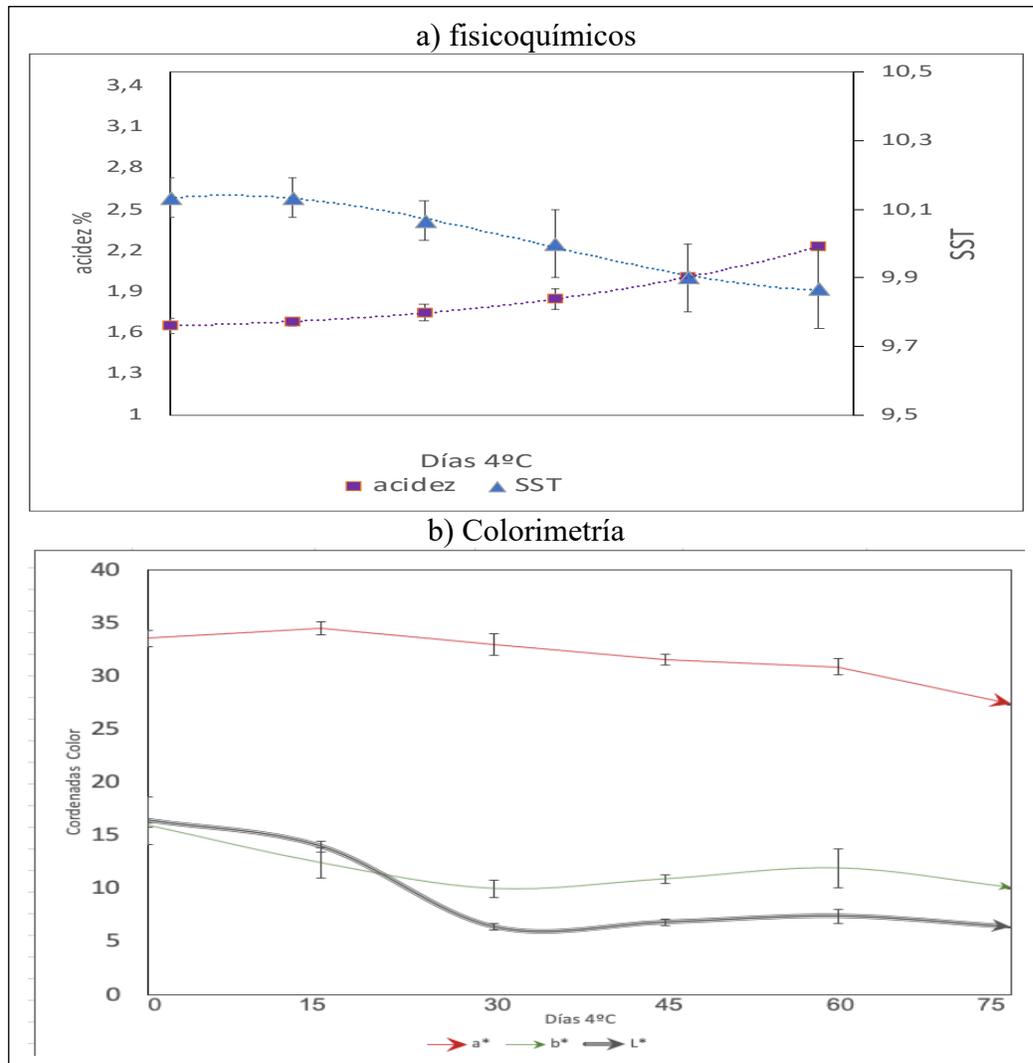


Figura 15. Evolución de parámetros de calidad de la bebida de mora almacenada a 4°C.

Se observa en la figura 20, una reducción en los valores de calidad de la bebida para SST  $\cong 5\%$  ( $10.1 \pm 0.06 \rightarrow 9.9 \pm 0.1$ , así como, un aumento de la acidez  $\cong 46.2\%$  ( $1.6 \pm 0.05 \rightarrow 2.1 \pm 0.02$  mg/100g) desde T0 hasta los 75 días de almacenamiento. Este incremento de la acidez al final del almacenamiento puede asociarse, bajo condiciones favorables de anaerobiosis, con crecimiento microbiano que convierte los sólidos solubles como fuente de energía generando la acumulación de ácidos orgánicos, influyendo a su vez en la variación del pH ( $2.9 \pm 0.03 \rightarrow 2.6 \pm 0.06$ ) (Rodríguez, y otros, 2020). Los valores de acidez observados se asocian con una menor aceptación sensorial de los jugos. Así mismo, el color desempeña un papel importante para la aceptación del consumidor, el cual, ve ligada su apariencia con su calidad nutricional (Ferreira, y otros, 2021). El  $\Delta E$  fueron de 3.15 (15 días), 10.26 (30 días), 9.74 (45 días), 9.25 (60 días), 10.73 (75 días), respecto a los valores para la bebida refrigerada inicial. En general, todos los parámetros de color presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con respecto al tiempo de almacenamiento, observándose una disminución con el tiempo: cromaticidad a\* ( $54,0 \pm 7.9 \rightarrow 34 \pm 3.2$ ), cromaticidad b\* ( $18.8 \pm 0.6 \rightarrow 10.1 \pm 0.04$ ) y en la L\* ( $16 \pm 0.5 \rightarrow 6 \pm 0.03$ ) (figura 20). La

disminución de la cromaticidad  $a^*$  se ha relacionado con la inestabilidad de las antocianinas monoméricas como resultado de sus propiedades de co-pigmentación intra e intermolecular (Sinela, y otros, 2017). La evolución en los parámetros denota un oscurecimiento de la bebida MFT. Dicho comportamiento ha sido observado igualmente, durante el almacenamiento de bebidas formuladas con frutos de altos contenidos de antocianinas no tratadas térmicamente (Howard, 2016), (Xiaonan, Solène, & Zhou, 2016).

### 4.5.3 Estabilidad de los CBA (ANCs y EGts).

La figura 21 muestra la evolución de los CBA (mg/L) durante el almacenamiento a 4°C. En general, todos los CBA presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con respecto a la variable independiente tiempo, denotando una disminución del contenido de estos con el incremento del tiempo de almacenamiento.

La degradación que experimentan las ANCs puede explicarse desde dos mecanismos, sea por escisión de la molécula, o bien por oxidación. Las reacciones de escisión implican hidrólisis de enlaces glucosídicos como un primer paso, con la posterior formación de la forma aglicona que es más inestable, la cual puede degradarse en ácido fenólico y aldehído fenólico como subproductos de deterioro (Lachowicz, Oszmiański, Kolniak-Ostek, & Stokłosa, 2019). De igual manera, los diferentes metales (Cu, Fe y Mn) actúan como catalizadores potenciales de la reacción de oxidación no enzimática de compuestos fenólicos, describiendo como los productos primarios a las quinonas, que son inestables y pueden sufrir nuevas reacciones de condensación de la hidroxiquinona, formando los productos finales del pardeamiento (Sinela, y otros, 2017).

Se resalta qué, los valores de las ANCs en el tiempo de fallo (75 días) presentaron un importante nivel de pérdidas, con respecto al contenido en el inicio del almacenamiento ( $t=0$ ): Cy-3-GI (36%), Cy-3-Rut (39%), Cy-3-MGI (9%); sin embargo, la bebida de mora aún conserva altos niveles de los CBA: Cy-3-GI ( $225 \pm 2$  mg/L), Cy-3-Rut ( $176 \pm 0.7$  mg/L), Cy-3-MGI ( $92 \pm 0.5$  mg/L).

Para los EGts, las pérdidas encontradas entre el punto de fallo (75 días) y el inicio de almacenamiento fueron: Lamb\_C (34%) y Sng\_H6 (41%), conservándose los siguientes niveles: Lamb\_C ( $185 \pm 1$  mg/L) y Sng\_H6 ( $181 \pm 2$  mg/L). En estudios cinéticos relacionados en jugos clarificados, sugieren la formación de productos de la polimerización que se dan por reacciones de adición y condensación de taninos, las cuales pueden acelerar la formación de turbiedad (haze) (Tajchakavit, Boye, Bélanger, & Couture., 2001), (Siebert, 2006). Adicionalmente, se ha relacionado la disminución en el contenido de EGts con la presencia de una cantidad sustancial del complejo ácido elágico-proteína en el sedimento de jugos clarificados con alto contenido de polifenoles (Siriwoharn, Wrolstad, & Durst, 2007), (Casati, et al., 2012).

Estos resultados permiten concluir que, en condiciones de refrigeración el contenido de polifenoles con propiedades biológicas atribuidas a su capacidad antioxidante en la bebida de mora, permanece en niveles aceptables. Por lo tanto, su consumo puede tener efectos ampliamente beneficiosos de protección, alivio y curación de muchas enfermedades crónico degenerativas del organismo humano (Vahapoglu B. , Erskine, Gultekin Subasi, & Capanoglu, 2022).

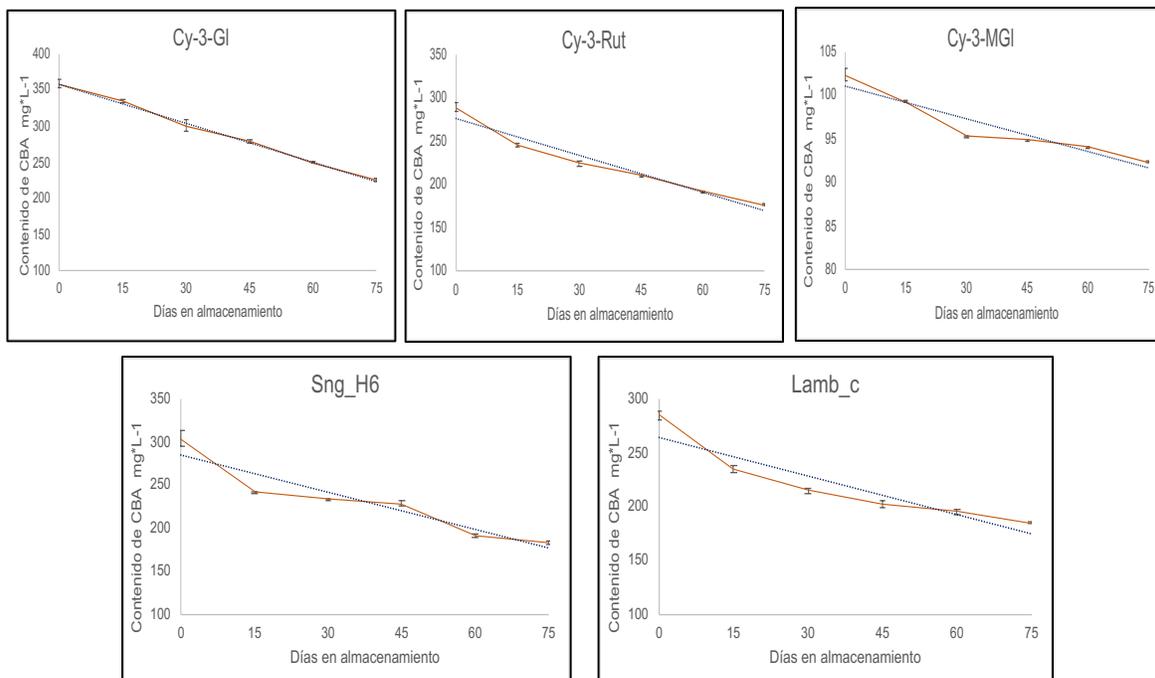


Figura 16. Evolución de los CBA (mg/L) durante el almacenamiento.

La evolución del contenido de cada CBA se evaluó en el tiempo a partir de cinéticas de reacción de orden 0 y 1 (Tabla 12). En general, los coeficientes de regresión ( $R^2$ ) para las ANC's presentaron mejor ajuste para cinéticas de orden 1 ( $R^2$  entre 0,991 y 0,901) frente a la cinética de orden 0 ( $R^2$  entre 0,991 y 0,896); de igual forma, los EGT's presentaron mejor ajuste para cinéticas de orden 1 ( $R^2$  entre 0,900 y 0,906) frente a la cinética de orden 0 ( $R^2$  entre 0,853 y 0,874). Estos resultados coinciden con lo reportado por (Zapata, y otros, 2016) durante el almacenamiento de una bebida de arándanos pasteurizada.

Los valores menores ( $K_v$ ) indican una mejor estabilidad de los CBA durante el almacenamiento de la bebida refrigerada, en este sentido, los CBA más estable fueron Cy-3-MGI > Lamb\_C > Sng\_H6 > Cy-3-Rut > Cy-3-Gl. El valor de AT refleja que Cy3GI fue el compuesto más reactivo. Teniendo en cuenta esto, el tiempo de vida medio, equivalente a una degradación del 50% de los CBA en la bebida considerando el CY3GI, Cy3Rut y Cy3MGI fueron aproximadamente de 15 meses, 4 meses y 3 meses respectivamente. Algunos estudios han relacionado la vulnerabilidad de las moléculas de azúcar a su escisión con la estabilidad de las ANC's (B.Orhan Dereli y otros., 2023). Esto dado a la conformación estérica y a el tamaño de la molécula, los cuales determinarían la fuerza de los enlaces químicos en la formación del estado de transición reactivo del ion flavilium (Santos, Paraíso, & Madrona, 2020) (Fan, y otros, 2019). Por su parte, la concentración de Lamb\_C y SngH6 en la bebida se mantiene en un nivel aceptable al menos durante  $\cong 4$  meses.

Tabla 12. Cinéticas de reacción de los CBA de la bebida de mora obtenida por MFT durante el almacenamiento a 4°C.

CBA		Orden de reacción	Intercepto	Kv	R <sup>2</sup>	AT (días)
Cy-3-GI	ANCs	0	359.43	1.81	0.991	99
Cy-3-Rut		0	276.44	1.41	0.944	102
Cy-3-MGI		0	101.16	0.13	0.896	403
Lamb_C	EGTs	0	265.27	1.21	0.853	117
Sng_H6		0	285.41	1.45	0.874	104
Cy-3-GI	ANCs	1	5.90	0.01	0.991	112
Cy-3-Rut		1	5.63	0.01	0.975	112
Cy-3-MGI		1	4.62	0.00	0.901	533
Lamb_C	EGTs	1	5.58	0.01	0.900	131
Sng_H6		1	5.66	0.01	0.906	112

En general, los resultados encontrados coinciden con lo reportado por (Zozio, Pallet, & Dornier, 2011) en extractos de mora (*Rubus glaucus* Benth.), açai (*Euterpe oleracea* Mart.) y Zanahoria (*Daucus carota* L.). De igual manera, en una bebida MFT de Acerola do mato (*Byrsonima ligustrifolia*) los autores reportan un cambio mínimo de color y la permanencia de más del 80% del contenido de ANCs incluso después de 60 días, y la vida media en refrigeración fue de 10 meses (Bubans, Hamerski, Pinto, & daSilva., 2021). Otras investigaciones han descrito cinéticas de degradación de orden 1 en jugo y concentrado de mora (Wang & Xu, 2007), jugo de mora reconstituido (Jiménez, et al., 2010), jugo y concentrado de agraz (Martínez, Rojas, Borda, Hastamorir, & Medina, 2011), en este último concluyeron los autores que la degradación se hace menor a valores de pH bajos. Por otro lado, la cinética de degradación de mora también ha sido evaluada utilizando los modelos de Arrhenius, Eyring, y Ball (Cisse M. , Vaillant, Acosta, Dhuique-Mayer, & Dornier., 2009).

## 4.6 Evaluación sensorial durante el almacenamiento

Las investigaciones en el procesamiento de bebidas obtenidas por MFT, han concluido que la aplicación de esta tecnología puede prolongar la vida útil sin afectar la seguridad microbiológica, ni las propiedades sensoriales ni las nutricionales (Sánchez et al., 2007), (Vieira A. , et al., 2020). Por otro lado, se resalta que el proceso de MFT le confiere a la bebida la remoción completa de los sólidos suspendidos, reduciendo su turbidez, y resultando en un sistema líquido visualmente limpio, de mejor color y claridad, con alta calidad sensorial y bien preservado (Bhattacharjee & et al., 2017). En el presente estudio, durante las sesiones realizadas con el panel de la planta postcosecha, se estableció por consenso que el proceso de MFT permite conservar los aromas (cítrico y floral) y el sabor típico de la mora fresca. Algunos autores han resaltado que, una valoración alta en la aceptación por parte del consumidor exige a menudo una correlación entre la palatabilidad y el alto contenido de compuestos bioactivos (kapska, y otros, 2020).

En las bebidas, la valoración sensorial depende principalmente de la relación entre acidez, dulzura y amargor, atributos determinados por los pigmentos predominantes que están vinculados ampliamente con la intensidad del sabor (mouthfeel) en el producto. Diversas investigaciones han reportado que ricos contenidos en polifenoles le confieren un sabor amargo y astringente a la bebida (Brunda, Kavyashree, Shetty, & Sharma, 2022)). Adicionalmente, el aroma característico de los frutos de mora ha sido relacionado en la literatura con los siguientes compuestos volátiles: Ethyl acetate, Methylbutanal, n-Propyl acetato, Hexanal, Heptanol, Undecanone, D-Limonene y Linalool (Vázquez-Araújo, K, & Carbonell-Barrachina, 2010). Otros autores reportaron previamente mediante panel seleccionado que el uso de membranas para clarificación de jugo de pera no afecta los atributos sensoriales del producto evaluado (Santin, Treichel, Valduga, Cabral, & Luccio, 2012).

La figura 22 relaciona el perfil sensorial de la bebida MFT de mora con un contenido equivalente al 40% de fruta al inicio del almacenamiento (línea continua) y en el tiempo de fallo (75 días) (línea discontinua).

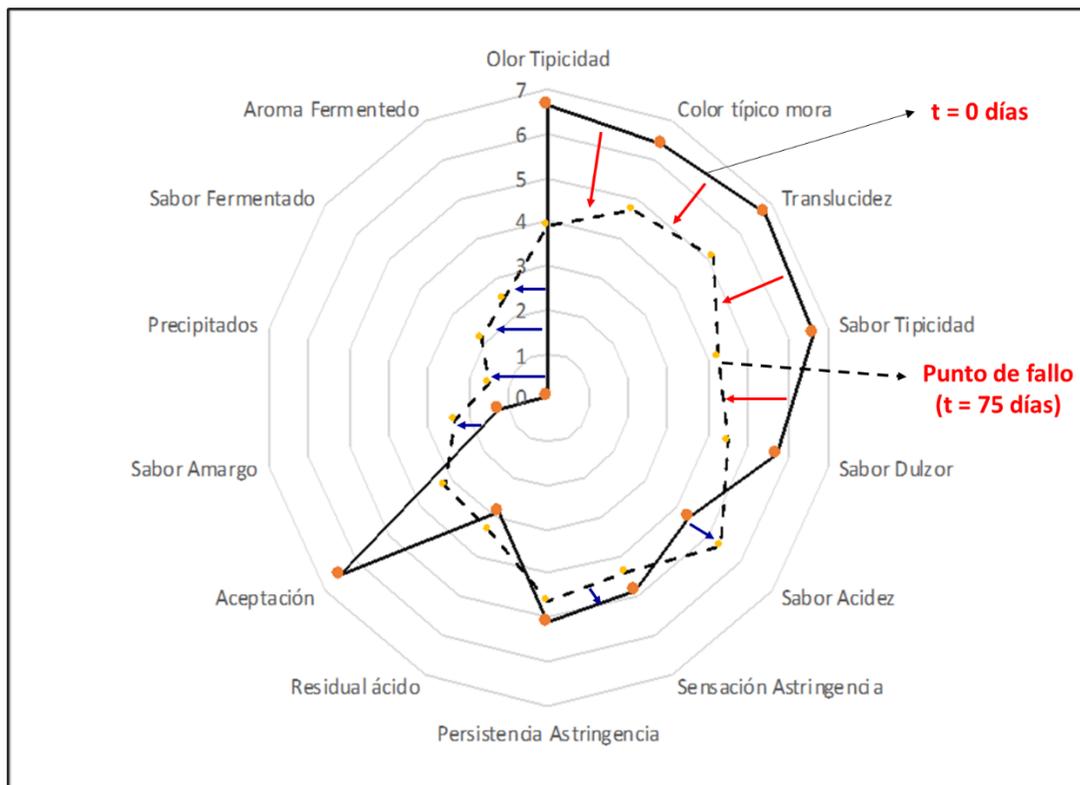


Figura 17. perfil sensorial para la bebida MFT de mora: inicio de almacenamiento (línea continua) y punto de fallo (línea discontinua).

La representación del perfil sensorial describe una disminución de la intensidad de algunos atributos de la calidad en la bebida MFT durante el almacenamiento: olor, color y sabor típico, la translucidez y el dulzor. El aroma, sabor y color característico a mora, son los atributos que presentaron mayores cambios, haciéndose menos intensa la percepción de la fruta. Esta situación, se atribuye principalmente a la degradación de las ANC descrita anteriormente, la cual puede relacionarse con diversos factores como la

presencia de copigmentos, contenido de oxígeno disuelto, variaciones de pH; así como, a la acción de sistemas enzimáticos (Huifang, Lianfei, Weilin, & ., 2019), (Putnik, y otros, 2019) Consecuentemente, la pérdida de la tonalidad rojiza fue coherente con la disminución de la cromaticidad  $a^*$ , la cual hace que la bebida se perciba menos traslucida asociado con la incorporación de algunas de las antocianinas (degradadas) como polímeros coloreados, dado que algunos polisacáridos se van hidrolizando, transformándose en azúcares reductores. La oxidación produce una insolubilización de la materia colorante por la presencia de alcoholes (quiebra de color o hidrolásica) que altera el color y la limpidez. (Esua, Chin, Yusof, & Sukor, 2017), (Chen, Du, Li, & Li., 2020). Así mismo, Pérdidas considerables en los niveles de ANC's han sido reportadas de manera dependiente con la concentración de SST y con una correlación inversa significativa en el porcentaje de color polimérico sobre el almacenamiento (Howard, 2016), (Song, Ji, Park, Kim, & Hogstrand., 2018).



Figura 18. Bebida mora MFT T0.

Por otro lado, el perfil sensorial describió la aparición del sabor y aroma fermentado durante el almacenamiento; además, el incremento del sabor amargo, la disminución de la sensación astringente en boca, siendo esta moderada. Finalmente, la acidez de la bebida MFT aumentó de moderada a marcada, muy correspondiente al incremento del sabor y aroma fermentado encontrado en punto de rechazo; así mismo, el dulzor presentó una disminución en su intensidad, coherente con la disminución de los SST. Estos cambios en la percepción de los atributos dependen del tiempo de almacenamiento y se relacionan con la calidad de la bebida; por lo que, la bebida describe una disminución de la aceptación general del producto en función del tiempo de almacenamiento. A continuación, se muestra en la figura 24, una descripción detallada de la aceptación global de la bebida MFT refrigerada en función del tiempo de almacenamiento.

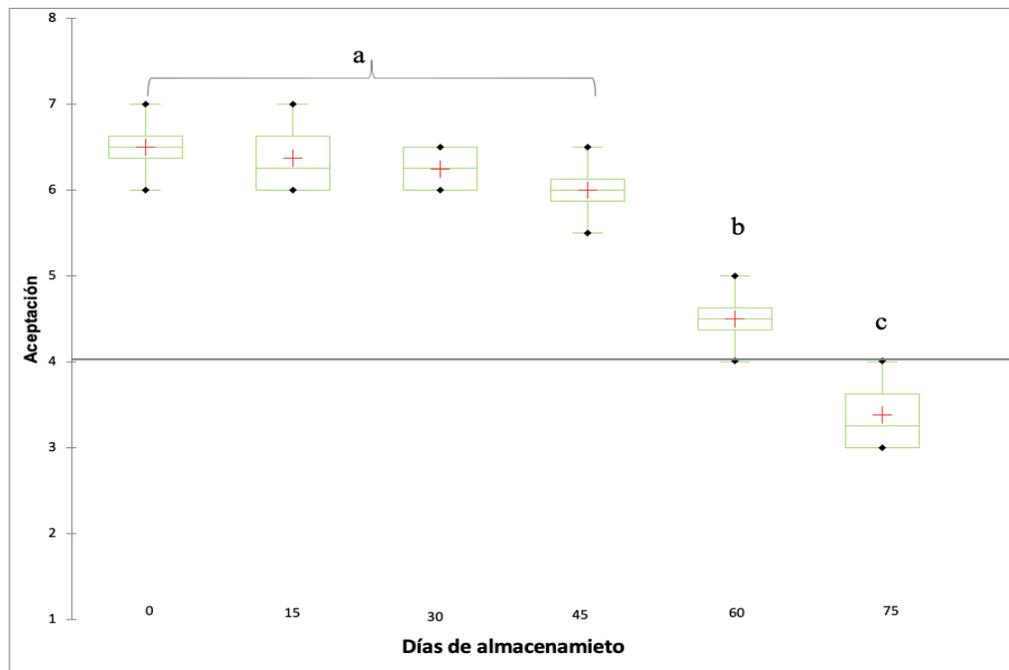


Figura 19. Variación en la aceptación de la bebida de mora en refrigeración. Escala 1: no me gusta; 4: indiferente. 7: me gusta extremadamente. Las letras indican grupos diferentes.

La aceptación global inicial dada por el panel para la bebida fresca fue de 6.5 en promedio (figura 22). Esta excelente percepción permanece en el mismo nivel hasta los 60 días, momento en el cual, los panelistas manifiestan una baja en la calidad de la bebida calificándola con un promedio de 4.5 como buena. La percepción sensorial se hizo inaceptable al final del almacenamiento, relacionada con el desarrollo de aromas anormales de deterioro, tanto como caracteres amargos y fermentados vinculados al crecimiento ambiental de levaduras y mohos que producen una amplia gama de compuestos que causan un gusto general desagradable (Cordero-Bueso, y otros 2017), (Pinto, Alice, & Fernanda, 2022.). Por otro lado, Se menciona por (Crispim, Silva, & Vieira, 2018) que la actividad residual de polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) puede degradar los pigmentos durante el almacenamiento de jugo de mora afectando al sabor y valor nutritivo.

## **5. Conclusiones.**

El proceso de microfiltración en membranas cerámicas a 35°C demostró ser capaz de retener los microorganismos presentes en la materia prima. Los resultados de rendimiento encontrados son prometedores pues muestran que es posible obtener un alto flujo de permeado y sostenerlo en el tiempo (88 L/h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>). El resultado de los parámetros evaluados proporcionó información significativa con respecto al efecto de las condiciones de operación sobre los factores de flujo y concentración. El jugo filtrado fue retenido un 12% del total de antocianinas, y un 25% del total de elagitaninos. Se logra con la aplicación frecuente de back pulses que los fenómenos de polarización de la concentración y colmatación de la membrana sean menos severos, incrementando hasta un volumen de 99 L/h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> y reduciendo la retención de los compuestos bioactivos. Es viable entonces el uso de la tecnología de microfiltración (MF) como mecanismo de pasteurización en frío en la elaboración de la bebida 40% fruta que resalta por su alta calidad funcional (CBA) y atributos sensoriales, que prometen estabilidad para un producto de alta rotación. En este estudio, bajo almacenamiento refrigerado, la vida útil estimada es de aproximadamente 75 días, tiempo en el que el producto comenzó a perder sus propiedades bioactivas y no tiene aceptación del consumidor.

### Recomendaciones.

La dinámica de la cadena agroindustrial genera en sus etapas una serie de transacciones comerciales entre actores privados que redundan en márgenes que no son rentables para el productor primario. Esta condición se ve agravada en el campo ante factores como la alta perecibilidad de las frutas, la dificultad técnica para su almacenamiento, la falta de tecnologías innovadoras aplicadas a una industria para la transformación y el envasado. Los costos de inversión de la planta MFT son la suma del costo de la unidad de membrana y otros como el terreno, la ingeniería, la construcción y las instalaciones. La decisión de transferir la tecnología MFT a nivel de agroindustrias rurales cercanas a los centros de producción, se sustenta **en el rendimiento del proceso** tanto como en **la bebida diferenciada** obtenida. Se incrementa el aprovechamiento de la materia prima generando utilidades que permiten ofrecer estabilidad de los precios de compra diversificando los canales de comercialización con un enfoque sostenible y asociativo. Se promueven condiciones de mejor competitividad de pequeños y medianos productores frutícolas tanto como el desarrollo industrial del sector, con un producto microbiológicamente seguro, nutritivo, libre de aditivos químicos, que logra satisfacer la creciente demanda por alimentos saludables, y accesibles para los consumidores y la industria. Sin embargo, aunque la bebida contiene cantidades considerables de compuestos bioactivos benéficos para la salud (antocianinas y elagitaninos), quedan por determinar qué porcentaje de la molécula y sus derivados consumidos se absorbe en el cuerpo humano, y si los diferentes compuestos son igualmente efectivos como antioxidantes.

### Bibliografía

Abd-Razak, N. H., Chew, Y. J., & Bird, M. R. (2019.). Membrane fouling during the fractionation of phytosterols isolated from orange juice. *Food and Bioproducts Processing.*, 113, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.005>.

Acosta-Ruales, M., Viera, W. F., Jackson, T., & Wilson, V.-C. (2020). Alternativas tecnológicas para el control de *Botrytis sp.* en mora de castilla (*Rubus glaucus*). *Enfoque UTE*, 11-20. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.521> .

Acosta, O., Vaillant, F., Pérez, A. M., & Dornier., M. (2014). Potential of ultrafiltration for separation and purification of ellagitannins in blackberry (*Rubus adenotrichus S.*) juice. *Separation and Purification Technology*, 120-125. DOI: 10.1016/j.seppur.2014.01.037.

Agudelo-martínez, P., luna-ramírez, J., & quintero-castaño., V. (2019). Formulación y evaluación fisicoquímica de jugo de mora (*Rubus glaucus Benth*) enriquecido con calcio y vitamina C . *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*,18(1). DOI:<http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1411>, 56-63.

Ahmed, I., Balkhair, K. S., Albeiruttye, M. H., & Amer, J. S. (2017). Importance and Significance of UF/MF Membrane Systems in Desalination Water Treatment. En T. Yonar, *Desalination* DOI: 10.5772/intechopen.68694.

Arikrishnan, D., & Keshav, A. (2023.). Pineapple juice clarification by continuous dead-end microfiltration using a low-cost ceramic membrane. *Food Measure* 17, , 863–881. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01634-5> .

Albuquerque, T., & Costa., H. (2018). analysis, identification, and quantification of anthocyanins in fruit juices. In *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis* (pp. 693-737). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00034-5>:

Ali, L., Alsanius, B., Rosberg, A., & et\_al. (2012). Effects of nutrition strategy on the levels of nutrients and bioactive compounds in blackberries. *Eur Food Res Technol.* 234(1), 33-44. DOI:10.1007/s00217-011-1604-8.

Altendorf, S. (2017). Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales." Perspectivas, retos y oportunidades a corto plazo en un mercado pujante. . FAO.

Álvarez, J., Fischer, G., & Vélez, J. (2016). Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 222-233.

Amit, J., & Sirshendu, D. (2019). Proccesing of beverages by membrane. En D. o. Engineering, Manufacturing of furit beverages and concentrate. Kharagpur, India: Indian Institute of Technology.

Araujo, M. C., Gouvêa, A. C., Couto, D. S., Cabral, L. M., Godoy, R. L., & Freitas., S. P. (2011). Effect of enzymatic treatment on the viscosity of raw juice and anthocyanins content in the microfiltrated blackberry juice. *Desalination and Water Treatment*, 27, 37-41.

Arozarena, Í., Ortiz, J., Hermosín-Gutiérrez, I., Urretavizcaya, I., Salvatierra, S., Córdova, I., Navarro., M. (2012). Color, Ellagitannins, Anthocyanins, and Antioxidant Activity of Andean Blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) Wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, 60, 7463-7473.

Asociación Argentina de Microbiología. (2017). *Manual de Microbiología aplicada a las Industrias Farmacéutica, Cosmética y de Productos Médicos*. Buenos Aires.: División de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos Subcomisión de Buenas Prácticas.

Ayala, L., Valenzuela, C., & Bohórquez, Y. (2013.). Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en siete estados de madurez. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Vol 11 No. 2 (10-18).*, 10-18. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/306>.

Ayala, L., Valenzuela, C., & Bohórquez, Y. (2013). Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* benth) en seis estados de madurez. *biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial vol 11 no. 2 (10-18)*.

Azofeifa, G., Quesada, S., Pérez, A. M., Vaillant, F., & Michel., A. (2015). Pasteurization of blackberry juice preserves polyphenol-dependent inhibition for lipid peroxidation and intracellular radicals. *Journal of Food Composition and Analysis*. 42, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.015>.

B.K. Tiwari et al. (2009). Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (2009), 10, 70–75.

B.Orhan Dereli et al. (2023). Clarification of pomegranate and strawberry juices: Effects of various clarification agents on turbidity, anthocyanins, colour, phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 413.

Badui Dregal, S. (2006). *Química de los alimentos*. Cuarta edición. México: Pearson Educación.

Barrero Meneses, L. S. (2009). Caracterización, evaluación y producción de material limpio de mora con alto valor agregado. *Compilación de archivos técnicos*. Colombia: CORPOICA. AGROSAVIA <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12870>.

Bendokas, V., Stanys, V., Mažeikiene, I., Trumbeckaite, S., & Liobika, R. B. (2020). Review Anthocyanins: From the Field to the Antioxidants in the Body. *MDPI-Antioxidants*, 1-17.

Bernjak B., & K. (2021). A Review of Tannins in Berries. *Agricultura*, 17(1-2), 27-36. DOI:10.18690/agricultura.17.1-2.27-36.2020

Bhattacharjee, C., Saxena, V., & Dutta, S. (2017). Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 43, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>.

Brito, B., Rodríguez, M., Samaniego, I., Jaramillo, I., & Vaillant, F. (2008). Characterising polysaccharides in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) purée and their enzymatic liquefaction. *European food research & technology*, 226., 355-361.

Brunda, G., Kavyashree, U., Shetty, S., & Sharma, K. (2022). Comparative study of not from concentrate and reconstituted from concentrate of pomegranate juices on nutritional and sensory profile. *Food Sci Technol Int*. 28(1):93-104.

Bubans, I., Hamerski, F., Pinto, C., & daSilva., V. (2021). Clarification of *Byrsonima ligustrifolia* Extract by Porous Membranes: Retention of Bioactive Compounds and Stability During Storage. *Food and Bioprocess Technology* (14), 518 - 529. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02597-z>.

Calderón, Luz\_Andrea, Grijalba, C., & Pérez, M. (2010). Rendimiento y calidad de la Fruta en Mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), con y sin espinas, cultivada en campo abierto en caJicá (cundinamarca, colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 6(1), 24-41. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2079>.

Camille Rouquié, L. D. (2019). Immersed membranes configuration for the microfiltration of fruit-based suspensions,. *Separation and Purification Technology*, 216, 25-33.

Carcamo, L., & ordoñez-santos., L. (2019). Cambios en los compuestos bioactivos del jugo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) pasteurizado. *Tecnológicas ITM*.

Cardona Buitrago Amalita (2016). Agricultura en el oriente antioqueño : oportunidad de desarrollo local y regional / Área geográfica de impacto Punto de partida Juego de actores Tiempo de ejecución Recursos financieros Recursos humanos Actividades realizadas Logros y resultados. 5–7.

Carrillo-Perdomo, Aller, E., Cruz-Quintana, A., M, S., Giampieri, F., & Alvarez-Suarez, J. M. (2015). Andean berries from Ecuador: A review on botany, agronomy, chemistry and health potential. *Journal of Berry Research*, 49-69. DOI:10.3233/JBR-140093

Carvalho, C. P., & Betancur, J. A. (2015). Caracterización de la calidad del fruto de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) en diferentes estados de madurez en Antioquia. *Agronomía Colombiana*, 74-83. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n1>.

Carvalho, L. d., Castro, I. M., & Silva., C. A. (2008). A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L.) by micro- and ultra-filtration. *Journal of Food Engineering*, 87, 447- 454. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.12.015

Casati, C. B., Sánchez, V., Baeza, R., Magnani, N., Evelson, P., & Zamora., M. C. (2012). Relationships between colour parameters, phenolic content and sensory changes of processed blueberry, elderberry and blackcurrant commercial juices. *International Journal of food science and technology*, 1728-1736. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.03027.x

Cassano, A., Conidi, C., Timpone, R., D'Avella, M., & Drioli., E. (2007). A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice,. *Journal of Food Engineering*, 80, 914-921. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.08.005>.

Castro-Muñoz, R., Boczkaj, G., Gontarek, E., Cassano, A., & Fíla., V. (2019). Membrane technologies assisting plant-based and agro-food by-products processing: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.003>

Ceci, C., Lacal, P., Tentori, L., De Martino, M., Miano, R., & Graziani, G. (2018.). Experimental Evidence of the Antitumor, Antimetastatic and Antiangiogenic Activity of Ellagic Acid. . *Nutrients*, 10(11),, <http://dx.doi.org/10.3390/nu10111756>.

Chaparro, L., & Soraya Castillo. (2016). Procesamiento de jugos de frutas empleando tecnología de membranas. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, 79-90.

Chen, J.-y., Du, J., Li, M.-l., & Li., C.-m. (2020). Degradation kinetics and pathways of red raspberry anthocyanins in model and juice systems and their correlation with color and antioxidant changes during storage. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109448>

Chew, J. W., Kilduffc, J., & Belfordt, G. (2020). The behavior of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration: An update. *Journal of Membrane Science*. 601, 1, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.117865>.

Cisse, M., Vaillant, F., Acosta, O., Dhuique, C., & Dornier, M. (2009.). Thermal degradation kinetics of anthocyanins from blood orange, blackberry, and roselle using the arrhenius, eyring, and ball models. *J Agric Food Chem.*, 6285-91. [doi.org/10.1021/jf900836b](https://doi.org/10.1021/jf900836b).

Conidi, C., Castro-Muñoz, R., & Cassano, A. (2020). Membrane-Based Operations in the Fruit Juice Processing Industry: A Review. *Beverages* 6(1), 18;, <https://doi.org/10.3390/beverages6010018>.

Constenla, D., & Crapiste., G. (1989). Propiedades Termofísicas de Jugos clarificados de fruta: Aplicación a jugo de manzana. *Food technology*, 663-668. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb04677.x>.

Cordero-Bueso, G., Mangieri, N., Maghradze, D., Foschino, R., Valdetara, F., Cantoral, J. M., & Vigentini, I. (2017). Wild Grape-Associated Yeasts as Promising Biocontrol Agents against *Vitis vinifera* Fungal Pathogens. *Frontiers in Microbiology* , 20-25. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02025>

Córdoba, O., & Londoño, J. (1998). Evaluación de seis materiales de Mora (*Rubus glaucus*) bajo condiciones de clima frío moderado. CORPOICA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17724>

CORNARE. (2016). Agricultura en el oriente antioqueño : oportunidad de desarrollo local y regional. CORNARE.

Crispim, J., Silva, N., & Vieira, R. (2018). Kinetics of anthocyanins thermal degradation in blackberry juice. Conference: Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Sao Pulo, Br. p. 737-740. DOI: 10.5151/cobeq2018-PT.0202

D-Mores, W., & H-Davis., R. (2002). Direct observation of membrane cleaning via rapid backpulsings. *Desalination*, 125-140.

Dahdouh, L., Delalonde, M., Ricci, J., Ruiz, E., & Wisnewski, C. (2018). Influence of high shear rate on particles size, rheological behavior and fouling propensity of fruit juices during crossflow microfiltration: Case of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 48, 304-312. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.006>.

Davoigniot, G., Vaillant, F., & Rodríguez, P. (2018). Création d'un atelier de fabrication de jus et nectar de mûre de haute qualité nutritionnelle dans le cadre d'un groupement de producteurs en Oriente Antioqueño. Rionegro: AGROSAVIA / CIRAD.

Delgado-Vargas, AR, J., & O., P.-L. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Food Science Nutrition*. DOI: 10.1080/10408690091189257

Díaz Diez, C. (2011). Categorización de la latencia en semillas de mora (*Rubus glaucus* Benth.), para el apoyo a programas de mejoramiento y conservación de la especie. Tesis. Medellín, Colombia: Universidad Nacional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8964>.

Díaz, C., Medina, C., & Saldarriaga., A. (2012). Aportes al conocimiento del sistema productivo del cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth) en Colombia. Revisión. CORPOICA.

Dincheva, v., Badjakov, I., & Kondakova., V. (2015). Metabolic engineering of bioactive compounds in berries. En V. K. Gupta, M. G. Tuohy, M. Lohani, & A. O'Donovan., *Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications*. (pág. 463.482). John Wiley & Sons, Ltd.

Donato, M., Natsumi, R., Peruchi, B., & Rodrigues, S. (2012). Effect of enzymatic treatment on the cross-flow microfiltration of açai pulp: Analysis of the fouling and recovery of phytochemicals. *Journal of Food Engineering*., 442-452. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.022>.

Echavarría Vélez, A. P., Torras, C., Pagán, J., & Ibarz, A. (2011). Fruit Juice Processing and Membrane Technology Application. *Food Engineering Reviews* 3, 136-158. DOI:10.1007/s12393-011-9039-3.

Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice. (2018). *Lwt food Science and Technology*, 47-53. DOI:10.1016/j.lwt.2017.08.059

Elejalde Guerra, J. (2001). Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *Anales de Medicina Interna*, 18(6), 50-59.

Enciso, B., & Gómez, C. (2004). Comparación de las respuestas de cuatro cultivares de mora (*Rubus* sp.) a las variaciones del factor luz. *Agronomía Colombiana*.22, 46-52.

Espinoza., C. L. (2017). Situación Actual y Perspectivas del Mercado de la Mora. Componente de Agronegocios. Programa MIDAS, 1–16.

Esua, J. O., Chin, N. L., Yusof, Y. A., & Sukor, R. (2017). Antioxidant Bioactive Compounds and Spoilage Microorganisms of Wax Apple (*Syzygium samarangense*) during Room Temperature Storage. *International Journal of Fruit Science*. 188-201, DOI:10.1080/15538362.2017.1285263

Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou., J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation,. *Food Chemistry*, 275., 299-308. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.09.103

Fabian, W., & Lena Rebecca, L. (2017). Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Research International*, 354-365. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.06.033

Ferreira, N., Azevedo, R., Alves, L., Nogueira, P., Evangelista, M., Rios, V., & PIO, R. (2021). Consumer profile: blackberry processing with different types of sugars. *Food Sci. Technol (Campinas)* 41 (3), <https://doi.org/10.1590/fst.23020>.

Field, R. (2010). *Fundamentals of Fouling*. En D. K.-V. Nunes, *Membrane Technology*. WILEY. DOI:10.1002/9783527631407.ch1

Field, R., & Wu, J. (2022). Ultrafiltration Processes-Understandings and Misunderstandings. *Membranes (Basel)*., 5;12(2):187. doi: 10.3390/membranes12020187.

Field, R., Wu, D., Howell, J., & B.B. Gupta. (1995). Critical flux concept for microfiltration fouling. *J. Membr. Sci.* 100, 259–272. [https://doi.org/10.1016/0376-7388\(94\)00265-Z](https://doi.org/10.1016/0376-7388(94)00265-Z)

Foley, G. (2013). Crossflow microfiltration. A Problem Solving Approach with MATLAB . *Membrane Filtration* pp. 48-87. doi:10.1017/CBO9781139236843.004

Franco, G., & Bernal, J. (1998). *Agronomía del cultivo de la mora*. (<http://hdl.handle.net/20.500.12324/21106>., Ed.) La Selva, Colombia: Corpoica.

Gan, Q., Howell, J., Field, R., England, R., Bird, M., O'Shaughnessy, C., & MeKechinie., M. (2001). Beer clarification by microfiltration — product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *Journal of Membrane Science*, 185-196. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(01\)00515-4](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00515-4).

F. Van de Velde et al. (2016). Quantitative comparison of phytochemical profile, antioxidant, and anti-inflammatory properties of blackberry fruits adapted to Argentina. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82–91. DOI:10.1016/j.jfca.2016.01.008.

Gancel, A., Feneuil, A., Acosta, O., Pérez, A., & Vaillant, F. (2011). Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). *Food Research International*. 44, 2243-2251. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.013>.

Gao, Y., Qin, J., Wang, Z., & Østerhus, S. (2019.). Backpulsing technology applied in MF and UF processes for membrane fouling mitigation. *Journal of Membrane Science*. 587., 117-136 .<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.05.060>.

Gonzales, C., Vaillant, F., & Tapia, M. (2019). Tangential Microfiltration of blackberry (*Rubus adenotrichus* Schltdl.) juice sweetened with stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Revista de Ciencias Agrícolas*. <https://doi.org/10.22267/rcia.193602.115>.

Guizard, C., & Pierre, A. (2008). Current status and prospects for ceramic membrane applications. En A. M. Sastre, S. A. Rizvi, & A. K. Pabby., *Handbook of membrane separations* (págs. 139-175). Boca ratón: Taylor Francis.

Gutierrez, J. B. (2000). *Ciencia Bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.

Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 2023–2044. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x

Ho-Ju, F.-C., & y Ronald-E, W. (2010). Anthocyanin Pigment Composition of Blackberries. *Food Chemistry and Toxicology*, 198-203. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb07125.x

Horvitz, S., & Chanaguano, D. (2020). Microbial and sensory quality of an Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth) cultivar. *Acta Horti*, 121-124. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1275.17

Horvitz, S., Chanaguano, D., & Iñigo, A. (2017). Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 293-301. DOI:10.1016/j.scienta.2017.09.002

Howard, L. R. (2016). Improved Stability of Blueberry Juice Anthocyanins by Acidification and Refrigeration. *Journal of Berry Research*, 189 – 201. DOI: 10.3233/JBR-160133

Huifang, Z., Lianfei, L., Weilin, L., & ., W. W. (2019). Effect of processing methods on quality of blackberry juice. *Acta Horti*., 63-72. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.9>

---

INTA. (2007). El análisis sensorial. En C. Catania, & S. Avagnina., Curso superior de degustación de vinos. Mendoza, Argentina.: INTA. Obtenido de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-29\\_\\_el\\_anlisis\\_sensorial.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-29__el_anlisis_sensorial.pdf)

Ioannis, A., & Theodoros, V. (2008 ). Treatment Methods and Potential Uses of Treated Waste. En *Waste Management for the Food Industries* (págs. 569-628,). Elsevier Inc.

J-Hager, T., R-Howard, L., Liyanage, R., O-Lay, J., & L-Prior, R. (2008,). Ellagitannin Composition of Blackberry As Determined by HPLC-ESI-MS and MALDI-TOF-MS. *J. Agric. Food Chem.* 56(3), 661–669. DOI: 10.1021/jf071990b.

Jakobek, L., Medvidović-Kosanović, M., & Šeruga., M. (2007). Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. *DLR. Zeitschrift für Lebensmittelkunde und Lebensmittelrecht.* 103 (2), 58-64.

Jiménez, N., Bohuon, P., Lima, J., Dornier, M., Vaillant, F., & Pérez., A. (2010). Kinetics of anthocyanin degradation and browning in reconstituted blackberry juice treated at high temperatures (100-180 degrees C). *J Agric Food Chem.*, 314-22. DOI: 10.1021/jf902381e

Jing, P., & Giusti, M. (2007). Effects of Extraction Conditions on Improving the Yield and Quality of an Anthocyanin-Rich Purple Corn (*Zea mays* L.) Color Extract. *Journal of food science*, 363-368. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00441.x

Kader, A. (2018). Flavor quality of fruits and vegetables. 88. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, p. 1863-1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>.

kąpska, S., Marszałek, K., Woźniak, Ł., Szczepańska, J., Danielczuk, J., & Zawada, K. (2020). The Development and Consumer Acceptance of Functional Fruit-Herbal Beverages. *Foods*, 9(12), 1819, Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/foods9121819>.

Kelly, N., Kelly, A., & O'Mahony., J. (2019,). Strategies for enrichment and purification of polyphenols from fruit-based materials, *Trends in Food Science & Technology*, 83, 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.010>

Kerdi, S. A. (2021). Biofilm removal efficacy using direct electric current in cross-flow ultrafiltration processes for water treatment. *Journal of Membrane Science*. DOI:10.1016/j.memsci.2020.118808

Khan, R. &. (2013). Functional food product development – Opportunities and challenges for food manufacturers. *Trends in Food Science & Technology.* 30., 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.11.004>

Koponen, J., Happonen, A., Mattila, P., & Törrönen., R. (2007). Contents of Anthocyanins and Ellagitannins in Selected Foods Consumed in Finland . *J. Agric. Food Chem.* 55, 4, , 1612–1619. <https://doi.org/10.1021/jf062897a>.

Lachowicz, S., Oszmiański, J., Kolniak\_Ostek, J., & . (2018.). Influence of different pectinolytic enzymes on bioactive compound content, antioxidant potency, colour and turbidity of chokeberry juice. *European Food Research and Technology.* (244), 1907-1920. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3103-7>.

Lachowicz, S., Oszmiański, J., Kolniak-Ostek, J., & Stokłosa, D. (2019). Effect of different sizes of ceramic membranes in the process of microfiltration on physicochemical parameters of chokeberry juice. *European Food Research and Technology.* (6), 1263-1275. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03246-8>.

Landbo, A.-K., & Meyer., A. S. (2004). Effects of different enzymatic maceration treatments on enhancement of anthocyanins and other phenolics in black currant juice,. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.*, 5, 503-516.  
DOI:10.1016/j.ifset.2004.08.003

Laorko, A., & otros, y. (2008). Effect of gas sparging on flux enhancement and phytochemical properties of clarified pineapple juice by microfiltration. *Separation and Purification Technology*, 445–451. DOI:10.1016/j.seppur.2011.05.024

Laorko, A., Tongchitpakdee, S., & Youravong., W. (2013). Storage quality of pineapple juice non-thermally pasteurized and clarified by microfiltration. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 554-561. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.033>

Lee, & Al, E. a. (2019). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC International.*, 1269-1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>.

Leong, S. Y., & Oey, I. (2017). Chapter 6: Berry Juices. En I. A.-A. Plaza, “Innovative Technologies in Beverage Processing” (págs. 431 - 508). Lleida, Catalonia, Spain: Wiley blackwell.

Li, F., Yan, H., Zhao, J., & Ming, J. (2019). A Comparative Study of the Effects of Ultrafiltration Membranes and Storage on Phytochemical and Color Properties of Mulberry Juice. *Journal of food science.* <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14935>

Li, Wen & otros (2017). Ceramic membrane fouling and cleaning during ultrafiltration of limed sugarcane juice. *Separation and Purification Technology.* DOI:10.1016/j.seppur.2017.08.046

- Lin, Yang & otros (2020). Ripening affects the physicochemical properties, phytochemicals and antioxidant capacities of two blueberry cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111097>.
- Lin, Z., Fischer, J., & ., L. W. (2016). Intermolecular binding of blueberry pectin-rich fractions and anthocyanin. *Food Chemistry*, 986–993. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.113>
- Lina, Z., Pattathil, S., Hahne, M. G., & Wickerf, L. (2019). Blueberry cell wall fractionation, characterization and glycome profiling. *Food Hydrocolloids*. 90, 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.051>.
- Lu, C., Yiwen, b., Jen-Yi, H., & . (2021.). Fouling in membrane filtration for juices processing. *Current Opinion in Food Science*. 42., 76-85. [doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.004](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.004).
- Lucia Carneiro, I. d. (2002). Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration,. *Desalination*,, 148, 93-98. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00659-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00659-8)
- M.A. Kazemi et al. (2013. ). Mathematical modeling of crossflow microfiltration of diluted malt extract suspension by tubular ceramic membranes. *Journal of Food Engineering* 116., 926–933. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.029>.
- Madrigal-Gamboa, V., Jiménez-Arias, J., Hidalgo, O., Quesada, S., Pérez, A., & Azofeifa., G. (2021). Membrane processing effect of blackberry (*Rubus adenotrichos*) on cytotoxic and pro-apoptotic activities against cancer cell lines. *Journal of Food Processing and Preservation*.
- Madrigal, V., Jiménez, J., Hidalgo, O., Quesada, S., Pérez, A., & Azofeifa, G. (2021.). Membrane processing effect of blackberry (*Rubus adenotrichos*) on cytotoxic and pro-apoptotic activities against cancer cell lines. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45., <https://doi.org/10.1111/jfpp.15575>.
- Mai, H. C. (2017). Application of Cross-Flow Filtration Technique in Purification and Concentration of Juice from Vietnamese Fruits. *Beverages*. 3(3), 44;, <https://doi.org/10.3390/beverages3030044>.
- Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., Baklouti, S., & Kechaou, N. (2022.). Bioactive compounds from *Cucumis melo* L. fruits as potential nutraceutical food ingredients and juice processing using membrane technology. *Food Science & Nutrition*, 10., 2922–2934. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2888>.
- Manganaris, G. A., Goulas, V., Vicente, A., & Terry, L. A. (2014). Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. *J Sci Food Agric*. 94, 825-833. DOI: 10.1002/jsfa.6432.

Manuel Dornier, M.-P. B. (2018). Chapter 8: Membrane Technologies for Fruit Juice Processing . En A. Rosenthal, R. Deliza, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. Welti-Chanes, Fruit preservation: novel and conventional technologies. New York: Food engineering series (Springer).

Martínez González, M. E., Balois Morales, R., Alia Tejacal, I., Cortes Cruz, M. A., Palomino Hermosillo, Y. A., & López Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , 4075-4087.

Martínez-Navarrete, N., Camacho-Vidal, M., & Martínez-Lahuerta., J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud, 2008, Pages 64-68, ISSN 1138-0322,. *Actividad Dietética*, 12 (2), 64-68. <https://doi.org/10.1016/>.

Martínez, J., Rojas, H., Borda, G., Hastamorir, A., & Medina, M. (2011). Estabilidad de Antocianinas en Jugo y Concentrado de Agraz (*Vaccinium meridionale* Sw.). *Fac. Nac. Agron. Medellín*, 6015-6022.

Mertz, C., Cheynier, V., Günata, Z., & Brat, P. (2007). Analysis of phenolic compounds in two blackberry species (*Rubus glaucus* and *Rubus adenotrichus*) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ion trap mass spectrometry. *J. Agriculture.*, 8616–8624. <https://doi.org/10.1021/jf071475d>.

Monroy, D., Cardona, W., García, C., & Bolaños, M. (2019). Relationship between variable doses of N, P, K and Ca and the physicochemical and proximal characteristics of andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth.). *Scientia Horticulturae*. 256, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.055>.

Monteiro, F., Viotto, L., & Cabral, L. (2011). Evaluation of anthocyanin content on blackberry juice (*Rubus* spp.) processed by microfiltration. *Embrapa Agroindústria de Alimentos.*, Url: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54283/1/2011-113.pdf>.

Montero B, M. (2008). Tesis: Estudio del proceso para la elaboración de un jugo clarificado de mora por microfiltración tangencial. Universidad de Costa Rica. Escuela de tecnología de alimentos.

Moreno, B. L., & Deaquiz Oyola, Y. A. (2015). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). *Acta Agronómica*. Universidad Nacional.

Mulder., M. (1996). Membrane Processes. En M. Mulder., *Basic Principles of Membrane Technology* (págs. 280-415). <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1766-8>: Springer Dordrecht.

N.P. Kelly, A. K. (2019, ). Strategies for enrichment and purification of polyphenols from fruit-based materials,. *Trends in Food Science & Technology*,, 83, 248-258.

Nagy, E. (2019). Chapter 3 Mass Transport Through a Membrane Layer. En <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813722-2.00003-0>, *Basic Equations of Mass Transport Through a Membrane Layer*. (págs. 20-70). Elsevier Inc.

Tender coconut water processed by nonthermal two stage microfiltration technique. *LWT - Food Science and Technology*, 59., 1191-1195.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.040>.

Nile, S., & Park, S. (2014). Edible berries Bioactive components and their effect on human health. . *Nutrition*, 30, 134-144.DOI: 10.1016/j.nut.2013.04.007.

Norton, R. D. (2017). Chapter 10 - Colombia: Crop Competitiveness by Region Evaluated via Tracks 1 and 2. En *The Competitiveness of Tropical Agriculture* (págs. 231-305). Elsevier Inc.

Oancea., S. (2021). A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. *Antioxidant*, 1337.

Olivares-Tenorio, M.-L., Verkerk, R., Boekel, M. A., & Dekker., M. (2016). Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Functional Foods*, 46-57.

Oliveira, M., Martins, C., & Teixeira, P. (2019). Microbiological quality of raw berries and their products: A focus on foodborne pathogens. *Heliyon*.

Ortiz Jerez, M. J., Vélez Pasos, C. A., & Franco Mejía, E. (2008). Modelos matemáticos de la colmatación de membranas en microfiltración tangencial. *Revista ingeniería e investigación*, 123-132.

Oszmiański, J., Nowicka, P., Teleszko, M., Wojdyło, A., Cebulak, T., & Oklejewicz, K. (2015). Analysis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Wild Blackberry Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 553-553.

Overview of membrane science and technology. (2004). En R. W. Baker, *Membrane Technology and Applications* (págs. 1-14). California: John Wiley & Sons, Ltd.

Pall-Corporation. (2020). Modules Membralox® IC Ceramic Membranes. Obtenido de Innovaty industrials solution: <https://shop.pall.com/us/en/industrial-manufacturing/automotive/stamping/membralox-ic-ceramic-membranes-and-modules-zidgri78m4a>

---

Pap, Mahosenah; M, Pongrácz; E. et al. (2012). Effect of Ultrafiltration on Anthocyanin and Flavonol Content of Black Currant Juice (*Ribes nigrum* L.). *Food Bioprocess Technol* , 5, 921–928.

Pérez-Grijalva, B., Herrera-Sotero, M., Mora-Escobedo, R., Zebadúa-García, J., Silva-Hernández, E., Oliart-Ros, R., . . . Guzmán-Gerónimo., R. (2018). Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice. *LWT*. 87, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.059>.

Perfetti, J. J. (2017). Política comercial agrícola: nivel, costos y efectos de la protección en Colombia. *FEDESARROLLO*, 207p. <http://hdl.handle.net/11445/3443>.

Perkins, T., Saksena, S., & R. van\_Reis. (1999). A dynamic film model for ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 158. 1., 243-256. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(99\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00012-5).

Pinto, T., Alice, V., & Fernanda, C. (2022.). Chemical and Sensory Characteristics of Fruit Juice and Fruit Fermented Beverages and Their Consumer Acceptance. *Beverages*, 8, 33.

Prommajak, T., Leksawasdi, N., & Rattanapanone, N. (2020.). Tannins in Fruit Juices and their Removal. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 76-90. DOI:10.12982/CMUJNS.2020.0006.

Prommajak, T., Leksawasdi, N., & Rattanapanone, N. (2020). Tannins in Fruit Juices and their Removal. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*.

Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Jambrak, A.-R., Barba, F. J., Lorenzo, J.-M., . . . Kovačević., D.-B. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food Chemistry*, 150-161.

Qin, G. L., Wei, W., Li, J., Cui, R., & Hu, S. (2015.). Microfiltration of kiwifruit juice and fouling mechanism using fly-ash-based ceramic membranes. *Food and Bioprocess Processing*. 96., 278-284. [doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.006](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.006).

Quesada-Morua, M. S., Olman Hidalgo, J. M., Rojas, G., Perez, A. M., Vaillant, F., & Fonseca., L. (2020). Hypolipidaemic, hypoglycaemic and antioxidant effects of a tropical highland blackberry beverage consumption in healthy individuals on a high-fat, high-carbohydrate diet challenge. *Journal of berry research*. 10, no. 3., 459-474, DOI: 10.3233/JBR-190516.

R\_Howard, L., L\_Prior, R., Liyanag, R., & O\_Lay, J. (2012). Processing and Storage Effect on Berry Polyphenols: Challenges and Implications for Bioactive Properties. *Food Bioactives and the Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

- Ramírez, A., & otros., y. (2011). Optimización del proceso de microfiltración tangencial de jugo de araza (*Eugenia stipitata*) bajo diferentes modos de operación. *Vitae*. 18(2), 153-161.
- Reis, M. H., Madrona, G. S., BerbertFerreira, F., Magalhães, F. S., Binds, M. M., & Cardoso\*, V. L. (2019). Membrane Filtration Processes for the Treatment of Nonalcoholic Beverages. En *Engineering Tools in the Beverage Industry Volume 3: The Science of Beverages* (págs. 175-207). Brazil: Elsevier.
- Ribeiro, D., Henrique, S., Oliveira, L., Macedo, G., & Fleuri, L. (2010). Enzymes in juice processing: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 635-641. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02177.x>.
- Ribeiro, L., Costa, S., Silva, L., Ferreira, J., Freitas, S. P., & Matta, V. M. (2018). Bioactive compounds and shelf life of clarified umbu juice. *International Food Research Journal*.
- Ripperger, S., & Altmann., J. (2002). Crossflow microfiltration – state of the art. *Separation and Purification Technology*, 19–31.
- Robinson et al. (2020). Blackberry polyphenols: review of composition, quantity, and health impacts from in vitro and in vivo studies. *Journal of Food Bioactives*, 40-51.
- Rocio Garcia-Villalba, J. C.-B. (2015). A validated method for the characterization and quantification of extractable and non-extractable ellagitannins after acid hydrolysis in pomegranate fruits, juices, and extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 1-39.
- Rodríguez-Amaya, D. B. (2019). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, T anthocyanins, and betalains. *Food Res Int*. 124, 200-205. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.05.028.
- Rodríguez, L. B., & otros., y. (2021). Tecnologías postcosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 22(1), <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81367929004>.
- Rodríguez, R., Gabriela, L., Mendoza, L., Van-Nieuwenhove, Carina, Pescuma, M. M., & Fernanda, B. (2020). Fermentación de jugos y bebidas a base de Frutas. Instituto Danone.
- Rosero, M. C. (2017). La reestructuración agraria neoliberal en Colombia: Un cambio agrario para un nuevo régimen alimentario. (págs. 172-194). España: Universidad Cooperativa de Colombia Universidad Complutense de Madrid.

---

Rouquié, C., Dahdouh, L., Ricci, J., Wisniewski, C., & Delalonde., M. (2019). Immersed membranes configuration for the microfiltration of fruit-based suspensions,. *Separation and Purification Technology*,, 216, 25-33.

Salomão, B. d. (2018). Pathogens and Spoilage Microorganisms in Fruit Juice: An Overview,. *Fruit Juices*,, 291-308, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00016-3>.

Sánchez Velázquez, O. A., Montes Ávila, J., Milán Carrillo, J., Reyes Moreno, C., Mora Rochin, S., & Cuevas Rodríguez., E. O. (2019). Characterization of tannins from two wild blackberries (*Rubus* spp) by LC–ESI–MS/MS, NMR and antioxidant capacity. *ournal of Food Measurement and Characterization*.

Santin, M., Treichel, H., Valduga, E., Cabral, L., & Luccio, M. (2012). Sensory analysis of enzyme- and membrane-treated peach juices. *Fruits*, 451-461.

Santos, S., Paraíso, C., & Madrona, G. (2020). Blackberry pomace microspheres: An approach on anthocyanin degradation. *Ciência E Agrotecnologia*, 44,.

Sarode, A., Verma, N., & Bhattacharya, P. (2001). Analysis of retention and flux decline during ultrafiltration of limed sugarcane (clarified) juice. *Chemical Engineering Communications*. 188, 179-206.  
<https://doi.org/10.1080/00986440108912903>.

Savez, E., Miranda, W., Espinoza, D., Minchán, H., Mendoza, J., Yalta, J., . . . Ricse, D. (2021). Desarrollo de modelos matemáticos para el cálculo del tiempo de tratamiento térmico de conservas vegetales envasadas. *Savez Editorial*.

Schmidt, H. d., Rockett, F. C., Sartori, G. V., Rezzadori, K., Tischer, B., Rodrigues, E., Manfroi., V. (2022). Influence of processing conditions on the composition of feijoa (*Acca sellowiana*) juices during storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114.

Schulz, M., & Chim, J. (2019). Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. 31. *Food Science*, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>.

Seyed Mohsen, S., Shirley, G.-T., & Altaee., A. (2018). The application of pressure-driven ceramic membrane technology for the treatment of industrial wastewaters – A review. *Separation and Purification Technology*, 198-220.

Sharoba, A. M., & Ramadan, M. F. (2011). Rheological behavior and physicochemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana*) juice as affected by enzymatic treatment. *ournal of Food Processing and Preservation*, 201-2019.

- Shi, C., Rackemann, D., Moghaddam, L., Wei, B., Li, K., Lu, H., Doherty, W. (2018). Ceramic Membrane Filtration of Factory Sugarcane Juice: Effect of Pretreatment on Permeate Flux, Juice Quality and Fouling. *Journal of Food Engineering*.
- Shu, B. L. (2021). Chapter 4: Biosynthesis and Chemistry of Anthocyanins. En *Anthocyanins Chemistry, Processing & Bioactivity* (págs. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-7055-8> ). Singapore : Springer Nature .
- Siddiq, M., Dolan, K., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. (2018). Effect of pectinolytic and cellulytic enzymes on the physical, chemical, and antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice. *LWT - Food Science and Technology.*, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.008>.
- Siebert, K. J. (2006). Haze formation in beverages. *food science and technology*, 987–994.
- Sinela, A., Mertz, C., Achir, N., Rawat, N., Vidot, K., Fulcrand, H., & Dornier., M. (2017). Exploration of reaction mechanisms of anthocyanin degradation in a roselle extract through kinetic studies on formulated model media. *Food Chemistry.*, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.027>.
- Siriwoharn, T., Wrolstad, R., & Durst, R. (2007). Identification of Ellagic Acid in Blackberry Juice Sediment. *Journal of Food Science*, 70, 189-197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07124.x>.
- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., & Jurikova., T. (2015). Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries. *J. Int J Mol Sci.* 16, 673-706.[doi:10.3390/ijms161024673](https://doi.org/10.3390/ijms161024673).
- Solis, c., Velez, c., & Ramírez-Navas, J. (2016). Tecnología de membranas: desarrollo histórico. *Entre ciencia e ingeniería.* 19, 89-98. <https://www.researchgate.net/publication/304175336>.
- Song, H., Ji, S., Park, H., Kim, H., & Hogstrand., C. (2018). Impact of Various Factors on Color Stability of Fresh Blueberry Juice during Storage. *Prev Nutr Food Sci.*23(1), 46-51.
- Soto, M., Acosta, O., Vaillant, F., & Pérez, A. (2016). Effects of Mechanical and Enzymatic Pretreatments on Extraction of Polyphenols from Blackberry Fruits. *J Food Process Eng.* 39., 492-500. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12240>.
- Soto, M., Acosta, O., Vaillant, F., & Pérez., A. (2015). Effects of Mechanical and Enzymatic Pretreatments on Extraction of Polyphenols from Blackberry Fruits . *Journal of Food Process Engineering*.

- Stebbins, N. B. (2017). Characterization and Mechanisms of Anthocyanin Degradation and Stabilization. Graduate Theses and Dissertations . University of Arkansas, Fayetteville, Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/etd/2618>.
- Strawn, L., Schneider, K., & Danyluk., M. (2011.). Microbial safety of tropical fruits. *Rev Food Sci Nutr.* 51 (2)., 132-145. doi: 10.1080/10408390903502864.
- Swier, T. L., & Chauhan., K. (2019). Stability studies of enzyme aided anthocyanin extracts from *Prunus nepalensis* L., *LWT*, 102., 181-189, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.016>.
- Tajchakavit, S., Boye, J., Bélanger, D., & Couture., R. (2001). Kinetics of haze formation and factors influencing the development of haze in clarified apple juice., *Food Research International*,, 431-440.
- Tania, A., & Helena, C. (2018). analysis, identification, and quantification of anthocyanins in fruit juices. In G. R. Tiwari, *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis* (pp. 693-737). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00034-5>: Elsevier.
- Tiwari, B., O'Donnell, C., & Cullen., P. (2009). Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices., *Trends in Food Science & Technology*, 20 (4), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.01.058>.
- Tournas, V., & Katsoudas, E. (2005). Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. *International Journal of Food Microbiology*, 11-17.
- Uenojo, M., & Pastore, G. (2008). Pectinolytic enzymes: industrial applications and future perspectives. *Química Nova*, 388-394.
- Urošević, T., Povrenović, D., Vukosavljević, P., Urošević, I., & Stevanović., S. (2017). Recent developments in microfiltration and ultrafiltration of fruit juices., *Food and Bioproducts Processing*. 106., 147-161.
- Vahapoglu, B., Erskine, E., Gultekin, B., & Capanoglu, E. (2022). Recent Studies on Berry Bioactives and Their Health-Promoting Roles. *Molecules*. 24;27(1):108., 108. [10.3390/molecules27010108](https://doi.org/10.3390/molecules27010108).
- 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(1)., 83-90. DOI:10.1016/S0260-8774(00)00152-7.
- Vaillant, F., Millan, P., O'Brien, G., Dornier, M., Decloux, M., & M., R. (1999). Cross Flow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction.

---

Journal of Food Engineering., 215-224 [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00124-7).

Vaillant, F., Pérez, A., Acosta, O., & Dornier, M. (2008). Turbidity of pulpy fruit juice: a key factor for predicting cross-flow microfiltration performance. *J. Membr. Sci.* 325., 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.08.003>.

Valverde C, P. (2011). Tesis: Evaluación del efecto de la operación de microfiltración tangencial sobre la concentración de taninos del ácido elágico, antocianinas y capacidad antioxidante en un jugo de mora (*Rubus adenothricus*). Universidad de Costa Rica, escuela de tecnología de alimentos. .

Vázquez-Araújo, L., K, C., & Carbonell-Barrachina, Á. (2010). Sensory and physicochemical characterization of juices made with pomegranate and blueberries, blackberries, or raspberries. *J Food Sci.*, 398-404.

Vergara, M., Vargas, J., & Acuña, J. (2016). Características físicoquímicas de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) provenientes de cuatro zonas productoras de Cundinamarca, Colombia. *Agronomía colombiana.* 34, 336-345. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n3.62755>.

Viana, J., Ximenes, S., deSouza, A., de Abreu, F., & Petrus, J. (2021). Process optimization in the obtention of microfiltered banana (*Musa cavendish*) juice by response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45,, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15987>.

Vieira, A., Balthazar, C., Guimaraes, J., Rocha, R., Pagani, M. M., Esmerino, E., Cruz, A. (2020). Advantages of microfiltration processing of goat whey orange juice beverage. *Food Research International.* 132, 963-969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109060>.

Villareal, Y., & Osorio, O. (2013). Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de frutas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 11, 66-75. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a08.pdf>.

Vladisavljevic, G. T., Vukosavljevic, P., & Veljovic., M. S. (2013). Clarification of red raspberry juice using microfiltration with gas backwashing: A viable strategy to maximize permeate flux and minimize a loss of anthocyanins. *Food and Bioproducts Processing*, 473-480.

Wang, W.-D., Xu, S.-Y., & Jin, M.-K. (2009). Effects of different maceration enzymes on yield, clarity and anthocyanin and other polyphenol contents in blackberry juice. *International Journal of Food Science & Technology.*

---

Whittaker, & R., J. (2006). Enzimas. En O. R. Fenemma, *Química de los Alimentos* (págs. 515-625).

Xiaonan, S., Solène, B., & Zhou, W. (2016). Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage,. *Food Chemistry*, 192., 516-524,.

Zapata, M., Manuel, J., Fabio, C., Evelin, Mariana, & Cecilia., a. (2016). Estabilidad De Antocianinas Durante El Almacenamiento De Jugos De arándanos. *Vltae*, 23 (3), 173-83.

Zeb, A. (2021). Chapter 2 Chemistry of Phenolic Antioxidants. En Springer, *Phenolic Antioxidants in Foods Chemistry, Biochemistry and Analysis* (págs. 25-40). Pakistan: Department of Biochemistry University of Makaland Chakdara.

Zhang, L., Zhou, J., Liu, H., Ammar-Khan, M., Huang, K., & Gu, Z. (2012). Compositions of anthocyanins in blackberry juice and their thermal degradation in relation to antioxidant activity. *Euro Food Research Technol ogy*, 637–645.

Zhuangsheng, L., Pattathil, S., Hahne, M., & Wickerf, L. (2019). Blueberry cell wall fractionation, characterization and glycome profiling. *Food Hydrocolloids*, 385–393.

Zozio, S., Pallet, D., & Dornier, M. (2011). Evaluation of anthocyanin stability during storage of a coloured drink made from extracts of the Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth.), açai (*Euterpe oleracea* Mart.) and black carrot (*Daucus carota* L.). *Fruits*. 66 (3), 203-215. 10.1051/fruits/2011030.

**Anexos.**

## 1. Tabla. Legislación vigente para industrias productoras de jugos en Colombia 2019.

Norma		Descripción
RES. 719-2015	Clasificación del riesgo en alimentos para consumo humano	Los Jugos, Néctares, Zumos, Pulpas, son clasificados como alimentos de mayor riesgo para la salud.
NTC 4106	Mora de castilla, especificaciones	Establecen los estándares de calidad, buenas prácticas de manejo que permitan al consumidor adquirir un producto sano, con alto valor nutricional.
Res. 7992 - 1991	Productos derivados de frutas	Establecen valores límites y criterios de calidad fisicoquímica y microbiológica para jugos, zumos, pulpas, clarificados, que sean comercializados en el territorio nacional.
Res. 3929 - 2013	Requisitos técnico sanitarios bebidas de frutas	
Res. 2674 - 2013	Requisitos para registro sanitario	BPM para la operación y funcionamiento en la industria de alimentos orientadas a satisfacer las necesidades alimenticias, nutricionales y de salud en los consumidores.
Dec. 3075 - 1997	Manipulación De Alimentos Colombia	
Res. 5109 - 2005	Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado alimentos envasados	Define materiales y condiciones del envasado en alimentos en aras de contribuir a su estabilidad en anaquel al ser distribuido.
Res. 0333 - 2011	Nutrientes de declaración obligatoria.	Pautas para elaborar la tabla con cualquier tipo de información nutricional, propiedades nutricionales o efectos sobre la salud.
NTC-ISO-22000	Sistema de gestión de Inocuidad de los alimentos	Directrices para controlar los peligros relacionados con la inocuidad de los alimentos para consumo humano.

---

NTC 5468	Criterios para la producción de Néctares y Pulpas	Criterios de calidad para la formulación y procesamiento de bebidas de frutas.
Res. 683 - 2012	Requisitos sanitarios que deben cumplir los envases utilizados con alimentos.	Condiciones de fabricación y manipulación que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con bebidas para consumo humano.
Dec 4444 - 2005	Permiso sanitario para la fabricación y venta de alimentos elaborados por microempresarios.	Las microempresas dedicadas a la fabricación de derivados de frutas deberán cumplir con las condiciones básicas en higiene e instalaciones.

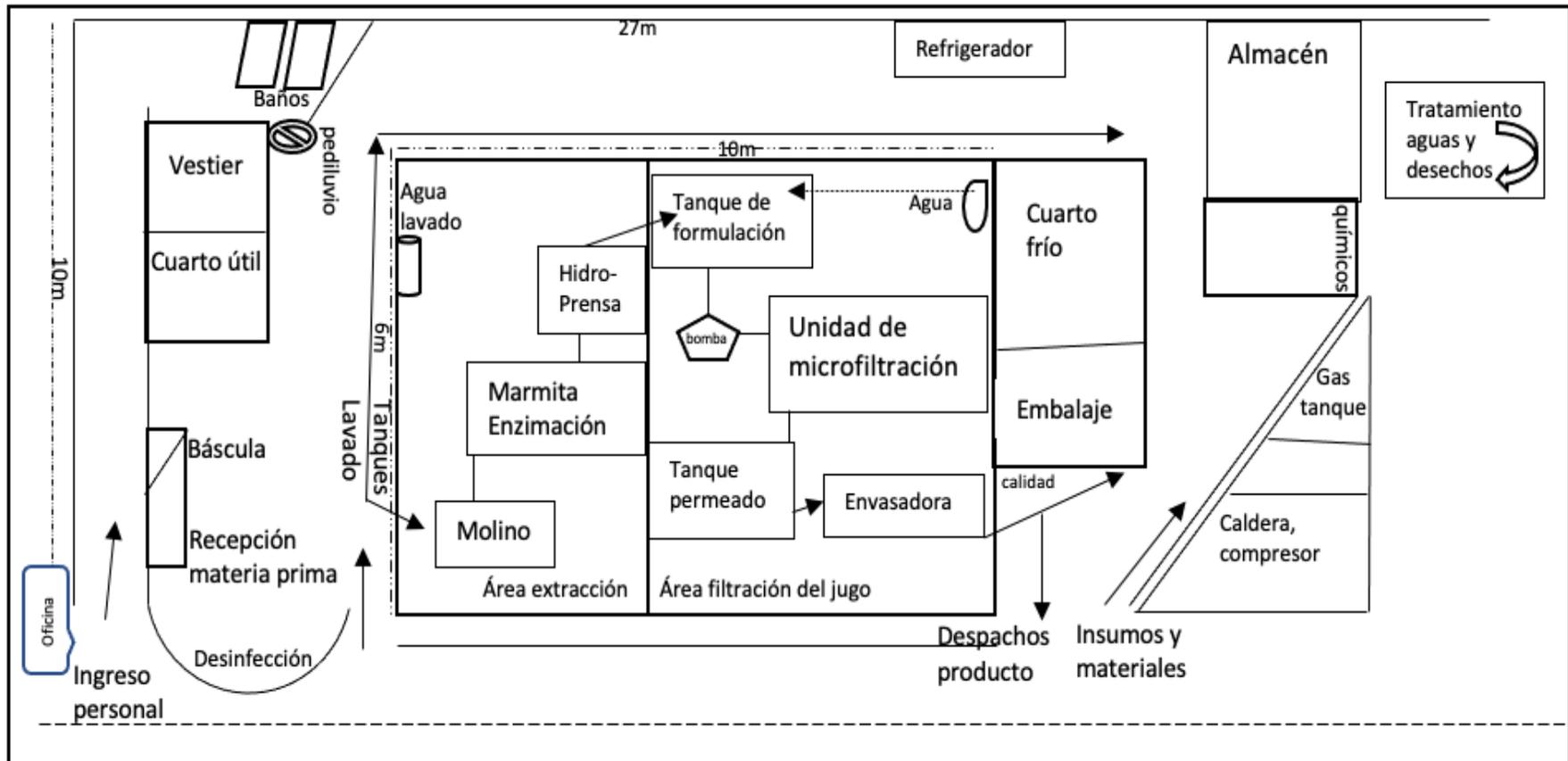
## 2. Tabla. Legislación vigente para industrias productoras de jugos en Colombia 2019.

Norma		Descripción
RES. 719-2015	Clasificación del riesgo en alimentos para consumo humano	Los Jugos, Néctares, Zumos, Pulpas, son clasificados como alimentos de mayor riesgo para la salud.
NTC 4106	Mora de castilla, especificaciones	Establecen los estándares de calidad, buenas prácticas de manejo que permitan al consumidor adquirir un producto sano, con alto valor nutricional.
Res. 7992 - 1991	Productos derivados de frutas	Establecen valores límites y criterios de calidad fisicoquímica y microbiológica para jugos, zumos, pulpas, clarificados, que sean comercializados en el territorio nacional.
Res. 3929 - 2013	Requisitos técnico sanitarios bebidas de frutas	
Res. 2674 - 2013	Requisitos para registro sanitario	BPM para la operación y funcionamiento en la industria de alimentos orientadas a satisfacer las necesidades alimenticias, nutricionales y de salud en los consumidores.
Dec. 3075 - 1997	Manipulación De Alimentos Colombia	
Res. 5109 - 2005	Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado alimentos envasados	Define materiales y condiciones del envasado en alimentos en aras de contribuir a su estabilidad en anaquel al ser distribuido.
Res. 0333 - 2011	Nutrientes de declaración obligatoria.	Pautas para elaborar la tabla con cualquier tipo de información nutricional, propiedades nutricionales o efectos sobre la salud.
NTC-ISO-22000	Sistema de gestión de Inocuidad de los alimentos	Directrices para controlar los peligros relacionados con la inocuidad de los alimentos para consumo humano.
NTC 5468	Criterios para la producción de Néctares y Pulpas	Criterios de calidad para la formulación y procesamiento de bebidas de frutas.
Res. 683 - 2012	Requisitos sanitarios que deben cumplir los envases utilizados con alimentos.	Condiciones de fabricación y manipulación que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con bebidas para consumo humano.

---

Dec 4444 - 2005	Permiso sanitario para la fabricación y venta de alimentos elaborados por microempresarios.	Las microempresas dedicadas a la fabricación de derivados de frutas deberán cumplir con las condiciones básicas en higiene e instalaciones.
--------------------	--	---

3. Esquema de distribución de la línea piloto de producción de jugo microfiltrado. ASOFRUTA.



4. Programación operaciones de planta y proceso para la obtención de jugos micro filtrados.

Actividad	8h	8:30h	9:00h	9:30h	10:00h	10:30h	11:00h	11:30h	12:00h	12:30h	13:00h	13:30h	14:00h	14:30h	15:00h	15:30h	16:00h	16:30h	
Alistamiento caldera y compresor	Yellow																		
Lavado de la Línea	Blue	Blue	Blue																
Preparación materia prima e insumos	Orange	Orange																	
Molienda		Yellow	Orange																
Condicionamiento enzimático			Yellow	Blue	Blue														
Esterilización de la unidad			Orange		Orange														
Hidro - Prensado					Yellow	Yellow	Yellow												
Formulación							Blue												
Microfiltración tangencial							Orange	Orange	Blue	Blue	Orange	Blue							
Disposición residuos y titulación agua									Yellow	Yellow		Yellow	Yellow						
Envasado													Blue	Blue				Blue	
Rotulado y embalaje													Orange	Orange	Orange			Orange	
Lavado planta y equipos								Blue							Blue	Blue			
Lavado químico membranas				Blue	Yellow									Yellow	Yellow	Yellow	Yellow		
Pausa					Orange														
Receso									Blue		Yellow								
Operario 1	Yellow		Filtración	Diagrama de flujo de actividades para una jornada laboral en la obtención de jugo por microfiltración tangencial															
Operario 2	Blue		Lavado																
Operario 3	Orange		Materia prima																

## 5. Identificación de peligros HACCP.

Formulario para análisis de peligros					
Etapa del proceso	Identifique peligros introducidos, controlados O mantenidos	¿Hay algún peligro potencial a la inocuidad del alimento que sea significativo?	Justificación	¿Qué medidas preventivas pueden aplicarse para evitar los peligros significativos?	¿Es un punto crítico de control?
<b>Recepción de la materia prima</b>	Biológicos	Si	Los patógenos en la fruta cruda causan enfermedades	Selección previo proceso	Si
	Químicos	Si	Residuos de plaguicidas son frecuentes y el impacto en la salud pública puede ser grave	BPA- Certificado Calidad	
	Físicos	No			
<b>Hidro-Prensado</b>	Biológicos	No			No
	Químicos	No			
	Físicos	No			
<b>Molido</b>	Biológicos	No			No
	Químicos	No			
	Físicos	No			
<b>Enzimado</b>	Biológicos	No	El tratamiento con enzimas es adecuado para obtener flujos óptimos en el procesado	Utilización de concentración adecuada	No
	Químicos	Si			
	Físicos	No			
<b>MFT</b>	Biológicos	Si	Sanitización se relaciona con carga Microbiana residual en el equipo	Seguir protocolo de esterilización	Si
	Químicos	Si	Residuos químicos por insumos de limpieza del módulo	Agua hasta pH 7,0	No-Si
	Físicos				
<b>Envasado</b>	Biológicos	Si	Bolsas no esterilizadas	Proveedor idóneo.	Si
	Químicos	No	Contaminación ambiental por microorganismos patógenos	Seguir protocolo de envasado estéril	
	Físicos	No			
<b>Almacenamiento</b>	Biológicos	Si	Contaminación cruzada O residual	Desinfección de refrigeradores	No
	Químicos	No			
	Físicos	Si	Presión excesiva por sobre-apilamiento	Seguir indicaciones de almacenamiento	
			Oscilaciones por encima del rango de control de la Temperatura	Registro de temperaturas	No-Si



## 6. Análisis de puntos críticos de control.

Hoja para el control de puntos críticos									
Punto crítico de control (CCP)	Peligros significativos	Límite crítico para cada medida preventiva	Monitoreo				Acciones correctivas	Verificación	Registros
			¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién?			
Recepción de la materia prima	Biológicos	Determinado por muestreo materia prima	Certificado	Visual			Fruta dañada por ej., hendiduras, podredumbres, moho en la cáscara.	Registro de muestras microbiológicas.	Registro de recepción de materia prima.
						Responsable de la recepción			
	Químicos	Pesticidas: Según lo estipulado por la legislación local vigente	LMR	Visual	cada lote recepcionado	Proveedor	Programa BPA productores	Certificado BPA de los proveedores. Programa de colecta de muestras para el análisis	Certificado del proveedor
Acción enzimática	Químicos	Pectinex Ultra Pulp: 150 ppm	Pesado del la enzima	Visual	cada lote recepcionado	Personal fruta pequeña	Retener O Reprocesar Lote	Cantidad pesada del aditivo en la balanza	Registro de producción insumos
		pH neutro en el agua del enjuague final del módulo	pH	Indicador Banda	Previo al proceso	Personal fruta pequeña	Neutralizar la membrana con agua abundante	Programa de limpieza membrana	Registro de limpieza
	Químicos	Esterilización con vapor de agua en el tanque 15' < 3Bar	Temperaturas	Manual			Repetir proceso Esterilización	Protocolo de esterilización unidad de MFT	
MFT + Envasado	Biológicos	contaminadas en el muestreo del producto	Bolsas deterioradas	Visual	Continuo	Personal en línea	Descarte de envases con alteraciones	Instructivo de operación Envasadora technibag	Registro de producción
	Físicos	4°C , frío positivo	T°	Visual	Continuo		Inspección microbiológica. Retener O Descartar Lote	Temperatura en el refrigerador	Registro de T°s planta poscosecha
Almacenamiento	Biológicos	cero muestras contaminadas en el registro	Muestreo microbiológico	Conteo en las placas	Cada lote producido	Personal fruta pequeña	Descarte de Lotes contaminados	Lectura de las muestras sembradas	Resultado recuento microbiológico





**AGROSAVIA**